

PAPER NAME

Buku Drainase Nanang.pdf

AUTHOR

Nanang Saiful Rizal 2

WORD COUNT

49833 Words

CHARACTER COUNT

278342 Characters

PAGE COUNT

243 Pages

FILE SIZE

17.5MB

SUBMISSION DATE

Nov 15, 2022 1:27 PM GMT+7

REPORT DATE

Nov 15, 2022 1:30 PM GMT+7

● 17% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 8% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 13% Submitted Works database

● Excluded from Similarity Report

- Bibliographic material
- Quoted material
- Cited material
- Small Matches (Less than 10 words)
- Manually excluded sources



Universitas
Muhammadiyah
Jember

PENERBIT



Lembaga Penelitian dan
Pengabdian kepada
Masyarakat

Jl. Kaifata No. 49 Jember, Telp. (0331) 336728, Fax. 337957 | Kotak Pos. 104 - Jember 68121
Website: <http://unmhjember.ac.id> | mail: kantorpusat@unmhjember.ac.id



Universitas
Muhammadiyah
Jember

No. ISBN. 978-602-6988-25-6



TEKNIK PENANGGULANGAN BANJIR PERKOTAAN

Nanang Saiful Rizal

PENERBIT

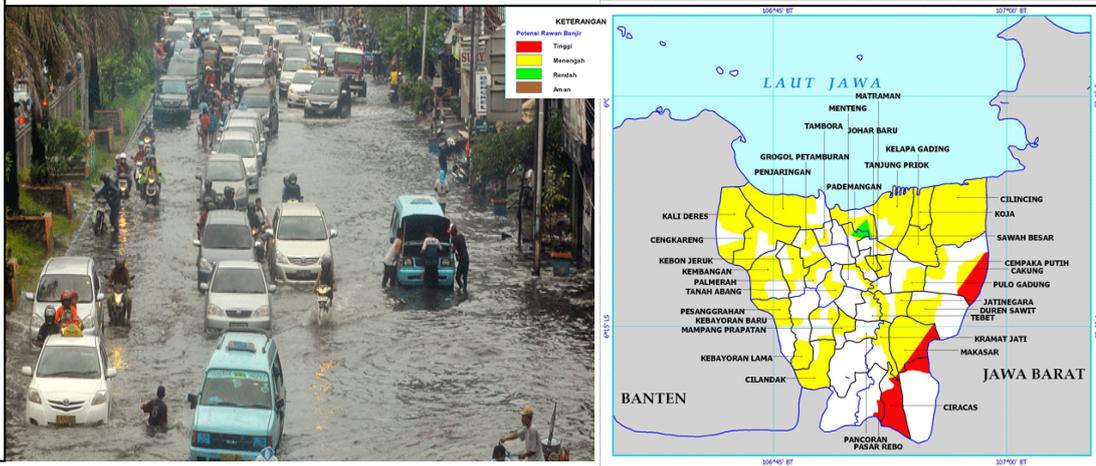


Lembaga Penelitian dan
Pengabdian kepada
Masyarakat

Jl. Kaifata No. 49 Jember, Telp. (0331) 336728, Fax. 337957 | Kotak Pos. 104 - Jember 68121
Website: <http://unmhjember.ac.id> | mail: kantorpusat@unmhjember.ac.id

TEKNIK PENANGGULANGAN BANJIR PERKOTAAN

TEKNIK PENANGGULANGAN BANJIR PERKOTAAN



Dr. Nanang Saiful Rizal, ST. MT.

TEKNIK PENANGGULANGAN BANJIR PERKOTAAN

Penulis :
Dr. Nanang Saiful Rizal, ST. MT.

ISBN : 978-602-6988-25-6

Editor :
Zaind

Penyunting :
Rahmat

Desain sampul dan tata letak :
Rahmat

Penerbit :
LPPM Unmuh Jember

Redaksi :
Jl. Karimata 49 Jember
Telp. (0331) 336728
Fax. (0331) 337957
email : lppm@unmuhjember.ac.id

Distributor Tunggal :
LPPM Unmuh Jember
Jl. Karimata 49 Jember
Telp. (0331) 336728
Fax. (0331) 337957
email : lppm@unmuhjember.ac.id

Cetakan Ketiga, November 2022

Hak cipta dilindung undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa
ijin tertulis dari penerbit

PRAKATA

Puji dan sanjungan hanya bagi Allah semata, yang melimpahkan semua Karunia-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku **Teknik Penggulangan Banjir Perkotaan**. Buku ini disusun dengan maksud untuk mempermudah mahasiswa dalam mengikuti kegiatan perkuliahan Sistem Drainase, Bangunan Air dan Pengelolaan Sumber Daya Air.

Penulisan buku ini berangkat dari pengalaman penulis selama membimbing mahasiswa yang mengalami kendala dalam memahami perkuliahan dan penyelesaian tugas yang terkait dengan drainase, bangunan air dan pengelolaan sumberdaya air. Selain itu buku-buku yang telah ada sebelumnya hanya membicarakan konsep-konsep dasar saja dalam pengelolaan drainase sehingga sangat berkurang referensi bagi mahasiswa dalam penyelesaian permasalahan perencanaan drainase dan bangunan air yang sifatnya aplikatif lapangan.

Buku ini tersusun dalam delapan bab dan setiap bab sudah disediakan standar kompetensi dan kompetensi dasar yang harus dikuasai oleh mahasiswa setelah mempelajari bab yang bersangkutan. Setelah diberikan penjelasan teori akan diberikan contoh-contoh soal penyelesaian dalam perencanaan drainase dan solusi-solusi penanganan banjir perkotaan. Contoh-contoh penyelesaian ini dikumpulkan oleh penulis berdasarkan pengalaman penulis selama ini dalam proses belajar mengajar, membimbing tugas mahasiswa dan aktivitas penelitian yang telah dilaksanakan dalam beberapa tahun.

Buku ini sangat berguna bagi para mahasiswa jurusan teknik sipil yang menempuh mata kuliah drainase, bangunan air dan PSDA maupun praktisi dibidang konsultan teknik bangunan khususnya bangunan air. Selanjutnya kami menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih terdapat kekurangan dan kami mohon masukan yang bersifat membangun. Akhirnya semoga buku ini dapat bermanfaat. Amien.

Jember, November 2022

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah segala puji hanya bagi Allah semata, hingga penyusunan buku **Teknik Penanggulangan Banjir Perkotaan** dapat diselesaikan oleh penulis.

110 Atas terselesaikannya penyusunan buku teks ini kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Muhammadiyah Jember
2. Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Jember.
3. Dekan beserta jajaran pimpinan di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.
4. Sejawat dosen di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.
5. Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.
6. Saudara-saudara dan keluargaku yang selalu memberikan *support* dan dukungan
- 153 7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu selama penyusunan buku ini.

Semoga Allah membalas kebaikan yang mereka berikan, yang tidak dapat kami uraikan satu persatu dengan kebaikan yang lebih baik dan lebih utama, Amien.

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
PRAKATA	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
SILABUS MATA KULIAH	xviii
BAB I. PERMASALAHAN BANJIR PERKOTAAN	1
1.1. Umum	2
1.2. Kondisi perkotaan saat ini	2
1.3. Solusi umum mengatasi perkotaan	4
1.4. Monitoring dan evaluasi banjir perkotaan	5
1.5. Aspek-aspek pengelolaan drainase perkotaan	6
1.5.1. Aspek Teknik	7
1.5.2. Aspek Ekonomi	7
1.5.3. Aspek Legalitas	8
1.5.4. Aspek Kelembagaan	9
BAB II .KAJIAN HIDROLOGI BANJIR PERKOTAAN	10
2.1. Umum	11
2.2. Siklus Hidrologi	11
2.3. Analisa Hidrologi	13
2.3.1. Memperkirakan Data Yang Hilang	14
2.3.2. Uji Konsistensi Data	15
2.3.3. Analisis Data Hujan	16
2.3.4. Curah Hujan Harian Maksimum	18
2.3.5. Analisa Frekuensi	19
2.3.6. Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi	28
2.3.7. Memperkirakan Laju ALiran Puncak	30

2.4. Contoh Perhitungan Limpasan Banjir Perkotaan	37
2.4.1. Analisa Curah Hujan Harian Maksimum	37
2.4.2. Analisa Frekuensi Dan Distribusi Hujan Data Rancangan	37
2.4.3. Uji Kecocokan Distribusi	40
2.4.4. Perhitungan Waktu Konsentrasi (tc)	42
2.4.5. Memperkirakan Limpasan Banjir Perkotaan	44
BAB III HIDROLIKA SALURAN DRAINASE	47
3.1. Alternatif Tata Letak saluran Drainase	48
3.2. Sifat-sifat aliran	50
3.3. Bentuk Saluran Yang paling Ekonomis	52
3.3.1. Bentuk Saluran Yang paling Ekonomis	52
3.3.2. Penampang Berbentuk Trapesium Yang Ekonomis	53
3.3.3. Penampang Berbentuk Segitiga Yang Ekonomis	55
3.4. Kecepatan Aliran	56
3.5. Kemiringan Dasar Saluran	57
3.6. Koefisien Kekasaran	57
3.7. Hidrolik Saluran	58
3.8. Aliran Melalui Gorong-gorong	59
3.9. Contoh Perhitungan	60
BAB IV. TEKNOLOGI BIO PORI	81
4.1. Umum	82
4.2. Peranan Biopori Bagi Kelestarian Tanah	83
4.3. Lubang Resapan Biopori	85
4.4. Lokasi pembuatan lubang Biopori	90
4.5. Teknik Pembuatan Lubang biopori	92
4.6. Contoh Perencanaan Lubang Biopori	94
BAB V SUMUR RESAPAN	108
5.1. Umum	109
5.2. Konsep Sumur Resapan	111
5.3. Sistem Drainase sumur Resapan	114
5.3.1. Volume Air Hujan Yang Hilang	117

5.4. Sumur Resapan Dipekarangan Rumah	123
5.5. Spesikasi Sumur Resapan	126
5.6. Konstruksi Sumur Resapan	129
5.7. Sumur Resapan Ramah Lingkungan	138
5.8. Sumur Resapan Dalam Penyediaan Air Iregesi	144
5.9. Sumur Resapan Dalam Mengatasi Masalah kekeringan	145
5.10. Tata cara Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan	
Untuk lahan Pekarangan SNI: 03-2453-2002	147
5.11. Permasalahan Dalam Pembuatan Sumur Resapan	149
BAB VI. SISTEM POLDER	155
6.1. Umum	156
6.2. Tahapan perencanaan Polder	158
6.3. Prasarana dan Sarana Polder	159
6.4. Macam-macam Drainase Polder	159
6.5. Operasi Pemeliharaan Pompa	160
6.5.1. Umum	160
6.5.2. Standar Operasi Pompa	160
6.5.3. Pemompaan Dari Waduk Ke Laut	161
6.5.4. Pemompaan Ke Kanal	161
6.5.5. Pemeliharaan Waduk	162
6.5.6. Pemeliharaan Instalasi Pompa	163
6.6. Contoh Perencanaan Polder	164
BAB VII MITIGASI BANJIR PERKOTAAN	171
7.1. Umum	172
7.2. Jenis Bencana Banjir	172
7.3. Manajemen Bencana Banjir	173
7.4. Strategi Pengendalian Banjir	174
7.5. Kesiapsiagaan Menghadapi Bencana Banjir	175
7.6. Penanggulangan Bencana Banjir Mitigasi	176
7.7. Sumber Daya Pendukung	178
7.8. Aspek-aspek Monitoring Dan Evaluasi Drainase Perkotaan	180

7.8.1. Aspek Teknik	181
7.8.2. Aspek Ekonomi	181
7.8.3. Aspek legalitas	182
7.8.4. Aspek Kelembagaan	182
7.8.5. Genangan Air	182
7.9. Analisa Aspek-aspek pengelolaan drainase perkotaan	184
7.9.1. Aspek Teknik	184
7.9.2. Aspek Ekonomi	185
7.9.3. Aspek Legalitas	186
7.9.4. Aspek Kelembagaan	186
7.10. Rekomendasi pengelolaan Drainase perkotaan	186
7.10.1. Rekomendasi Jangka Pendek	187
7.10.2. Rekomendasi Jangka Menengah	187
7.10.3. Rekomendasi jangka panjang	188
7.11. Rancangan Teknologi Mitigasi Bencana Banjir	190
BAB VIII KEBIJAKAN NASIONAL DAN SISTEM DRAINASE	
BEBERAPA NEGARA	202
8.1. Kebijakan umum	203
8.2. Pendekatan Penanggulangan bencana	203
8.3. Lingkup Program dan kegiatan Terpadu	205
8.4. Implementasi Kebijakan Nasional	207
8.5. Langkah-langkah yang sudah dilakukan	209
8.6. Kota-kota Dunia yang Sukses Menangani Bencana	211
DAFTAR PUSTAKA	217
LAMPIRAN	218
GLOSARIUM	230
BIODATA	232

SILABUS MATA KULIAH

IDENTITAS MATA KULIAH

1. Bidang Ilmu : Teknik Sipil
2. Status Mata Kuliah : Mata Kuliah Wajib
3. Mata kuliah Prasyarat : 1. Mekanika Fluida
2. Hidrologi
3. Hidrolika

171 TUJUAN MATA KULIAH

Setelah mempelajari mata kuliah ini diharapkan mahasiswa dapat memahami konsep drainase, fasilitas atau bangunan pelengkap dalam saluran drainase serta dapat merencanakan sebuah sistim perencanaan drainase, yang meliputi perencanaan saluran drainase, lubang bio pori, sumur resapan, sistim polder dan mamahami kebijakan nasional guna penanggulangan bencana banjir.

DESKRIPSI SINGKAT

Perencanaan sistim drainase merupakan bagian integral untuk menunjang pengelolaan kawasan khususnya perkotaan agar terbebas dari banjir yang dapat menghambat sendi-sendi kehidupan. Pada buku ini akan dibahas perencanaan sistim drainase secara runtun mulai dari perencanaan hidrologi, hidrolika, evaluasi sistim drainase sampai dengan perencanaan sumur resapan, biopori dan sistim polder.

KEGIATAN PEMBELAJARAN

Strategi pembelajaran mata kuliah ini menggunakan ceramah tanya jawab, diskusi kelompok kecil, simulasi, tugas perencanaan dan *field laboratorium*. Bentuk penugasan diberikan dalam bentuk tugas perencanaan kepada setiap individu mahasiswa dalam bentuk soal yang berbeda-beda dengan maksud lebih memudahkan mahasiswa memahami konsep perencanaan dan aplikasi dalam sebuah detail perencanaan. Waktu yang diperlukan untuk mempelajari seluruh

materi 400 jam/minggu. Dengan perincian waktu yang digunakan untuk pembelajaran tatap muka adalah 50 menit sedangkan diskusi dan simulasi 3 x 50 menit (150 menit), pembelajaran lapangan dan tugas perencanaan 3 x 50 menit (150 menit). Waktu efektif perkuliahan 14 minggu.

LATIHAN

Untuk mengevaluasi kemampuan mahasiswa dalam ¹⁷⁵ mencapai standar kompetensi dan kompetensi dasar yang telah ditetapkan maka setelah mempelajari tiap bab mahasiswa diharapkan mengerjakan tugas perencanaan yang diberikan oleh dosen pada setiap akhir bab.

UMPAN BALIK

Pada setiap akhir bab mahasiswa menyelesaikan tugas perencanaan, mahasiswa akan memperoleh umpan balik yang dicantumkan pada buku ini atau pada acuan yang dianjurkan saat tatap muka dan diskusi.

WAKTU BELAJAR

Untuk mempelajari buku ini, mahasiswa dihimbau untuk menyediakan waktu belajar sekitar 8 jam/minggu, waktu efektif yang digunakan untuk teks sekitar 2 jam dan 4 jam untuk latihan, 4 jam untuk simulasi dan tugas perencanaan, 2 jam untuk belajar mandiri.

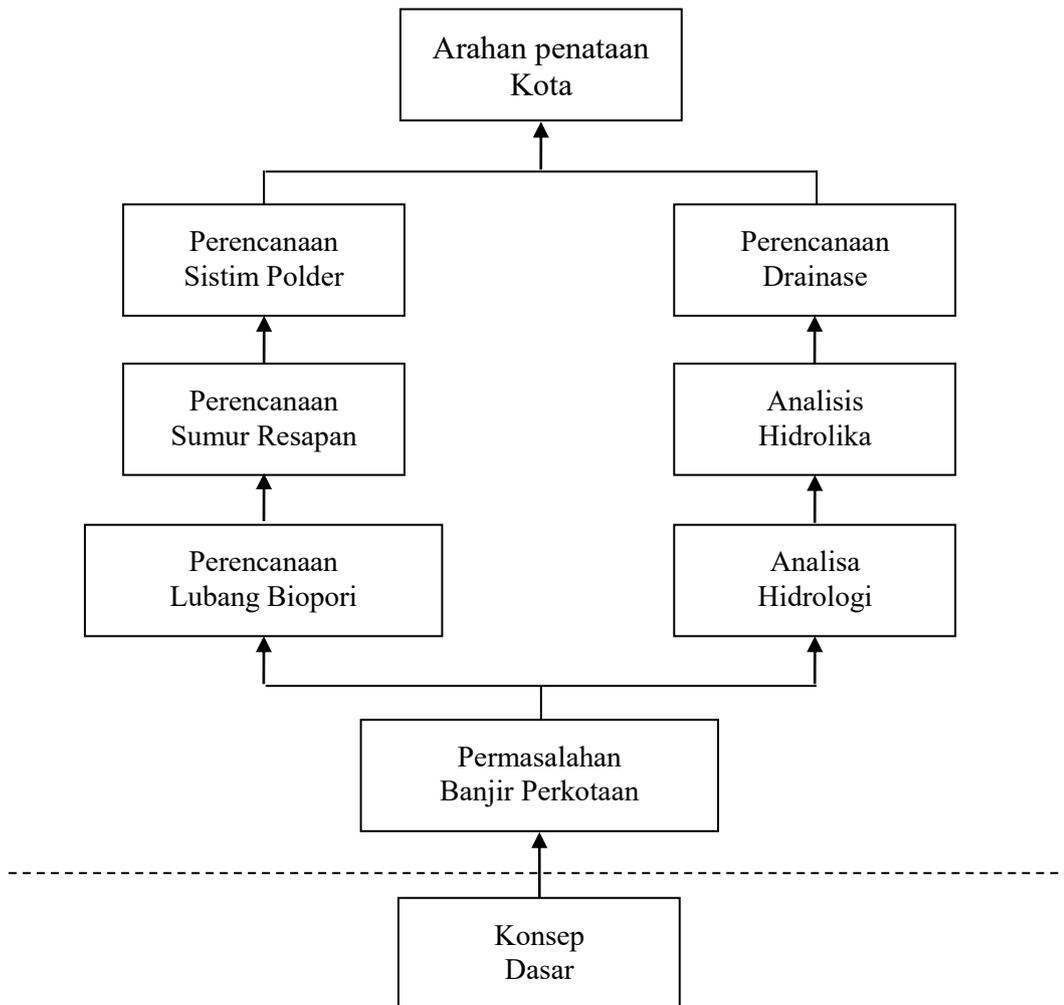
Dengan demikian apabila mahasiswa telah selesai mempelajari buku ini disertai dengan mengerjakan latihan dan diskusi saat tatap muka diharapkan mahasiswa dapat memahami teknik perencanaan sistem drainase.

MANFAAT

Buku ini bermanfaat untuk digunakan sebagai acuan dalam memberikan dasar-dasar dan aplikasi perencanaan sistem drainase untuk penanggulangan banjir perkotaan termasuk mengevaluasi kemampuan mahasiswa jurusan teknik sipil dalam pemahaman maupun penguasaan materi tentang perencanaan sistem drainase.

ORGANISASI MATERI

Organisasi materi didasarkan pada kompetensi yang akan dicapai dalam mata kuliah drainase. Adapun organisasi materi berdasarkan peta kompetensi mata kuliah dibawah ini :



Bab 1

Permasalahan Banjir Perkotaan

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang permasalahan umum banjir di perkotaan yang ada di Indonesia, kondisi perkotaan saat ini, solusi umum dalam mengatasi banjir perkotaan, aspek-aspek yang berpengaruh dalam pengelolaan drainase perkotaan dan monitoring dan evaluasi sistem drainase perkotaan.

Relevansi

Permasalahan banjir perkotaan merupakan sebuah masalah sistemik yang harus diatasi secara integral antar wilayah, tata ruang kota atau wilayah, perilaku masyarakat dan faktor-faktor lainnya.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami permasalahan banjir perkotaan saat ini serta aspek-aspek yang mempengaruhinya.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu

1. Memahami permasalahan banjir perkotaan
2. Memahami kondisi perkotaan saat ini
3. Memahami solusi umum mengatasi banjir perkotaan
4. Memahami tentang perlunya monitoring dan evaluasi drainase perkotaan
5. Mendefinisikan aspek-aspek yang mempengaruhi dalam pengelolaan drainase perkotaan

1.1. Umum

Sejalan dengan pertumbuhan perekonomian, banyak kenyataan yang harus dihadapi pemerintah baik pusat maupun daerah. Diantaranya adalah perlunya sarana prasarana penunjang kegiatan perekonomian. Salah satu diantaranya adalah kebutuhan akan sarana transportasi yang mudah, aman, nyaman, serta cepat. Namun sarana transportasi tidak akan sesuai dengan umur rencana apabila tidak dilengkapi dengan sistem drainase.

Drainase adalah salah satu fasilitas yang digunakan untuk mengalirkan air agar tidak mengakibatkan genangan yang dapat mengganggu aktifitas penduduk, perekonomian. Disebagian kawasan perkotaan terdapat permasalahan banjir yang ditimbulkan oleh curah hujan yang tinggi serta perubahan tata guna lahan yang signifikan. Perubahan tata guna lahan yang awalnya dari sawah atau lahan kosong menjadi permukiman. Adanya perubahan tata guna lahan tersebut mengakibatkan limpasan (runoff) akan bertambah besar. Disamping itu adanya pengendapan sedimen sehingga mengurangi luas penampang basah, akibatnya dimensi saluran drainase yang ada tidak dapat menampung debit banjir maksimum. Untuk mengantisipasi masalah-masalah yang terjadi karena, maka perlu suatu perencanaan dan evaluasi saluran drainase yang baik, terpadu dan menyeluruh sehingga kawasan perkotaan terbebas dari genangan air, banjir dan semua katifitas tidak terganggu terutama saat terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi.

1.2. Kondisi Perkotaan Saat Ini

Permasalahan banjir di Indonesia telah menjadi masalah nasional yang mempengaruhi seluruh aspek kehidupan masyarakat, baik sosial, ekonomi, politik, budaya lingkungan, kesehatan dan keamanan. Masalah banjir pada umumnya terjadi akibat adanya interaksi berbagai faktor penyebab, baik yang bersifat alamiah maupun beberapa faktor lain yang merupakan akibat atau pengaruh atau dampak kegiatan manusia.

Berbagai faktor yang bersifat alamiah:

1. Kondisi alam yang relatif statis antara lain: Kondisi fisiografi dan kondisi alur sungai (antara lain *meander*).
2. Peristiwa atau kejadian atau fenomena alam yang bersifat dinamis antara lain berupa curah hujan yang tinggi, aliran balik pasang air laut, aliran anak sungai, amblesan, sedimentasi (agradasi dasar sungai).

3. Berbagai gejala perubahan iklim antara lain: frekuensi terjadinya curah hujan yang tinggi (*heavy precipitation*) makin meningkat yang berpengaruh terhadap perhitungan debit banjir dan kenaikan permukaan air laut yang berdampak sangat buruk terhadap upaya mengatasi banjir di wilayah pesisir.

Dari gejala alam yang berupa perubahan iklim berkenaan dengan terjadinya pemanasan global tersebut dapat diperkirakan bahwa permasalahan banjir makin meningkat dan kerugian yang sangat besar akan dirasakan diperkotaan. Perubahan iklim tidak dapat dihindari tetapi harus dihadapi. Permasalahannya adalah bagaimana upaya beradaptasi atau menyesuaikan dengan perubahan tersebut, sangat tergantung pada faktor kegiatan manusia. Perkembangan kota memiliki andil yang cukup besar dalam permasalahan banjir sebagai berikut :

1. Seiring dengan pertumbuhan perkotaan yang amat pesat di Indonesia, permasalahan banjir di perkotaan menjadi semakin meningkat pula.
2. Pesatnya perkembangan kota selalu diikuti oleh pesatnya arus urbanisasi.
3. Pesatnya arus urbanisasi ke lahan yang terbatas memicu penggunaan dataran banjir sungai yang melaluinya dan lahan basah di sepanjang pantai.

Pengaruh kegiatan manusia terhadap terjadinya banjir pengaruh kegiatan manusia terhadap terjadinya banjir¹²¹ antara lain berupa pengembangan atau pembudidayaan dan penataan ruang di dataran banjir yang tidak atau kurang mempertimbangkan adanya ancaman atau resiko tergenang banjir.

Walaupun dataran banjir sebenarnya dapat memberikan manfaat bagi kehidupan manusia (kesuburan tanah), namun dataran banjir juga mengandung potensi yang merugikan sehubungan dengan terdapatnya ancaman berupa luapan dan genangan banjir yang dapat menimbulkan kerusakan dan bencana. Seiring dengan laju pertumbuhan kota-kota yang berada di dataran banjir maka potensi terjadinya kerusakan dan bencana tersebut mengalami peningkatan pula dari waktu ke waktu. Contohnya : dapat dilihat terjadinya banjir di kota-kota yang berada di dataran banjir sungai. Cara pengaliran ke saluran utama drainase dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Selama kondisi topografi memungkinkan diutamakan cara gravitasi.
2. Dalam daerah pantai cara gravitasi dapat diupayakan dengan membuat boezem dan pintu air.

1.3. Solusi Umum Mengatasi Banjir Perkotaan

Seperti telah dipaparkan diatas, seagain besar perkotaan setiap tahun mengalami permasalahan banjir, meski berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah namun belum mampu mengatasi permasalahan banjir ini. Sarana dan prasarana setiap tahun jumlahnya selalu ditingkatkan, termasuk upaya pemeliharaan dan optimasi operasionalnya. **Upaya mengatasi masalah banjir secara menyeluruh:**

Upaya struktur:

1. Mencegah meluapnya banjir sampai ketinggian tertentu dengan tanggul.
2. Merendahkan elevasi muka air banjir dengan: normalisasi, sudetan, banjir kanal, interkoneksi.
3. Memperkecil debit banjir dengan: waduk, waduk retensi banjir, banjir kanal interkoneksi.
4. Mengurangi genangan dengan: polder, pompa dan sistem drainase.

Upaya non struktur:

1. Perkiraan banjir dan peringatan dini.
2. Penanggulangan banjir, evakuasi.
3. Pemindahan atau relokasi.
4. Pengelolaan dataran banjir.
5. Flood proofing terhadap bangunan.
6. Tata ruang, penghijauan, reboisasi.
7. Retention dan detention ponds.
8. Penetapan sampah dan sungai.
9. Informasi publik dan penyuluhan.
10. Penegakkan hukum.
11. Pengentasan kemiskinan.
12. Manajemen sampah.

Belum optimalnya fungsi drainase sebagai pemutus air hujan yang mengakibatkan timbulnya genangan, merupakan permasalahan utama yang dihadapi dalam pembangunan drainase. Kelangkaan lokasi untuk pembuangan sampah serta rendahnya kesadaran masyarakat untuk membuang sampah pada tempatnya menjadikan saluran drainase sebagai tempat pembuangan sampah. Berdasarkan data survai Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) tahun 2007 sebanyak 11,34% rumah tangga masih membuang sampah ke

sungai atau selokan yang menyebabkan mampatnya saluran drainase sehingga menurunkan fungsi saluran drainase yang berimplikasi pada peningkatan luas kawasan tergenang. Di sisi lain banyak dijumpai pula bahwa fungsi saluran drainase tidak tegas, apakah untuk mengalirkan kelebihan air permukaan atau juga berfungsi sebagai saluran air limbah. Pembuangan air limbah rumah tangga dan air limbah industri rumah tangga ke dalam saluran drainase menyebabkan peningkatan debit air pada saluran drainase.

Perencanaan sistem pengolahan drainase belum disadari dengan adanya suatu rencana induk pengelolaan system drainase yang absah. Selain itu, perencanaan sistem drainase saat ini juga belum mengintegrasikan antara sistem drainase primer, sekunder, dan tersier. Sementara itu, ketidakjelasan pengelola sistem drainase, menyebabkan pengabaian kondisi saluran drainase dan minimnya alokasi dana yang dianggarkan untuk operasi dan pemeliharannya. Terbatasnya anggaran pemerintah baik untuk investasi, operasi dan pemeliharaan sistem drainase menjadikan pengelolaan drainase belum berjalan secara optimal (Renstra Direktorat Jenderal Cipta Karya 2010-2014).

1.4. Monitoring dan Evaluasi Banjir Perkotaan

Dalam pengelolaan perkotaan yang sering mengalami permasalahan banjir perkotaan, maka perlu untuk mendapatkan informasi yang akurat dan melakukan analisis serta evaluasi tentang pemanfaatan pembangunan prasarana dan keputusan di tingkat Kabupaten / Kota, Provinsi, dan Pemerintahan Pusat mengenai pemanfaatan prasarana-sarana drainase di kawasan perkotaan, melalui Satuan Kerja Khusus yang menanani permasalahan tersebut. Selanjutnya perlu dilakukan kegiatan **Monitoring dan Evaluasi Pemanfaatan Pembangunan Prasarana dan Sarana bidang Drainase Perkotaan**.

Adapun maksud dan tujuan dari kegiatan Monitoring dan Evaluasi Pemanfaatan Pembangunan Prasarana dan Sarana bidang Drainase adalah :

1. Untuk memperoleh gambaran umum dan mendetail tentang kondisi sarana dan prasarana drainasi.
2. Untuk memperoleh informasi terkait dengan kurang optimalnya fungsi sarana dan prasarana drainasi yang berdampak terhadap berbagai kegiatan masyarakat.
3. Untuk memperoleh informasi terkait dengan pengelolaan, kelembagaan dan partisipasi masyarakat terkait pengelolaan sarana dan prasarana drainasi.

Adapun ruang lingkup dari kegiatan Monitoring dan Evaluasi Pemanfaatan Pembangunan Prasarana dan Sarana bidang Drainase adalah :

1. Melakukan kajian terhadap studi-studi terdahulu, master plan drainasi yang terkait dengan pemanfaatan sarana dan prasarana drainase.
2. Melakukan kegiatan survey instansional dan lapangan guna mendapatkan gambaran secara mendetail terkait kondisi pemanfaatan sarana dan prasarana drainase.
3. Melakukan identifikasi masalah, analisa dan evaluasi yang meliputi aspek-aspek :
 - Aspek Teknis
 - Aspek Ekonomi
 - Aspek Legalitas
 - Aspek Kelembagaan
 - Aspek peran serta masyarakat
4. Memberikan rekomendasi terkait dengan pemanfaatan pembangunan sarana dan prasarana bidang drainase.

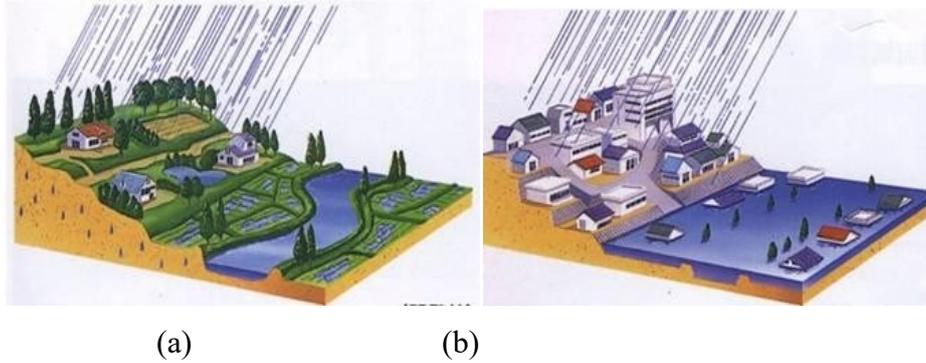
Adapun sasaran dari kegiatan Monitoring dan Evaluasi Pemanfaatan Pembangunan Prasarana dan Sarana bidang Drainase adalah :

1. Teridentifikasinya permasalahan-permasalahan terkait dengan pengelolaan sarana dan prasarana drainase dalam berbagai aspek tinjauan.
2. Diperolehnya arahan-arahan dalam pengelolaan sarana dan prasarana drainase secara berkelanjutan.
3. Tersusunnya skala prioritas dalam pengelolaan sarana dan prasarana drainase secara berkelanjutan.

1.5. Aspek-aspek Pengelolaan Drainase Perkotaan

Permasalahan-permasalahan umum yang berhubungan dengan pengelolaan sebuah sistem drainase perkotaan yang berdampak terhadap penurunan kinerja sebuah sistem drainase disebabkan oleh berbagai faktor. Permasalahan-permasalahan terkait dengan pengelolaan sistem drainase dapat ditinjau dari beberapa aspek, yaitu :

- a. Aspek Teknik
- b. Aspek Ekonomi
- c. Aspek Legalitas
- d. Aspek Kelembagaan



Gambar 1.1. Kondisi awal (a) dan kondisi saat ini (b)

1.5.1. Aspek Teknik

Permasalahan-permasalahan pengelolaan drainase secara teknis pada semua wilayah dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya :

a. Pada tahap perencanaan :

- Sebagian kota dan kabupaten **belum memiliki pola yang baku atau rancangan dalam pengelolaan sebuah sistim drainase** yang dituangkan dalam bentuk Rencana tata ruang kota (RTRK) dan **master plan drainase**.
- Pada sebagian kota dalam melakukan **kajian teknis perencanaan dan rivew desain sebuah saluran drainase kurang optimal**, seperti penentuan dimensi kurang memperhatikan aspek aliran dari hulu, kajian hidrologi dan hidrolika aliran.

b. Pada tahap pelaksanaan dan pemeliharaan :

- Jika pola baku berupa master plan drainase dan perencanaan teknis sudah disusun, terjadi **inkonsistensi dalam menjalankan aturan atau kriteria yang sudah ditetapkan**, seperti dimensi saluran yang dibangun tidak sesuai rencana, slope kemiringan saluran kurang.
- **Kualitas pekerjaan konstruksi kurang baik**, banyak terjadi kerusakan konstruksi belum pada waktunya.
- **Lemahnya kegiatan pengawasan atau supervisi** selama pekerjaan konstruksi.
- **Pemeliharaan rutin berupa normalisasi saluran** dari sedimentasi kurang dijalankan dengan baik.

1.5.2. Aspek Ekonomi

Permasalahan-permasalahan drainase yang berkaitan dengan ekonomi berupa tingkat pembiayaan yang dilakukan dalam pengelolaan sistim drainase. Pengelolaan yang

dimaksud disini dapat berupa pembangunan sebuah saluran drainase baru, perbaikan saluran drainase yang lama dan normalisasi saluran drainase. Pada sebagian besar pusat kota di Kota atau Kabupatendijumpai permasalahan-permasalahan sebagai berikut :

- Belum adanya **alokasi dana yang khusus (DAK)** oleh pemerintah baik pusat maupun daerah melalui instansi terkait dalam perencanaan, pembangunan, dan perbaikan sebuah saluran drainase terutama pada wilayah yang rawan mengalami genangan air.
- **Alokasi dana yang kurang berimbang** dalam pembangunan sebuah infrastruktur yang semestinya semakin banyak infrastruktur yang dibangun semakin bertambah pula anggaran pembangunan saluran drainase, sebab tutupan lahan semakin berkurang yang berarti limpasan permukaan akibat hujan semakin bertambah. Hal ini belum ditambah lagi dari limbah domestik rumah tangga maupun fasilitas sosial yang juga dibuang ke dalam saluran drainase.
- **Kemampuan anggaran dari pemerintah daerah yang cukup rendah** sebab sebagian anggarannya habis untuk pembelanjaan pegawai, pengadaan ATK dan sebagainya. Hal ini dapat terjadi di beberapa Kabupaten yang memiliki Pendapatan Asli Daerah (PAD) yang cukup rendah.

1.5.3. Aspek Legalitas

Aspek legalitas berhubungan dengan pembuatan produk-produk hukum yang terkait dengan pengelolaan jaringan drainase di perkotaan. Dari produk hukum yang sudah berbentuk peraturan-peraturan (PERDA) nantinya disosialisasikan kepada masyarakat. Beberapa permasalahan sistem drainase yang berhubungan dengan aspek legalitas, diantaranya :

- Pada sebagian besar Kota atau kabupaten, **masih kurang produk hukum berupa perda yang terkait dengan pengelolaan sistim drainase** maupun utilitas yang berhubungan dengan drainase, misalnya larangan membuang limbah cair ke dalam saluran drainase.
- **Minimnya sosialisasi tentang perda yang ada**, misalnya dilarang membuang sampah di sembarang tempat termasuk sanksi yang akan diberikan jika dilanggar.
- **Pemberlakuan sanksi masih belum dilaksanakan**, misalnya sebagian penduduk perkotaan menggunakan bantaran sungai sebagai pemukiman.

- **Belum adanya aturan baku dalam penerbitan IMB** mewajibkan ada *septic tank* pada setiap perumahan, pembuatan IPAL untuk fasilitas sosial dan industri skala kecil di perkotaan.

1.5.4. Aspek Kelembagaan

Aspek kelembagaan berhubungan dengan pengelolaan sistem drainase perkotaan dapat berupa :

- instansi pemerintah yang bertugas mengelola jaringan drainase dan baik satu instansi maupun lintas sektoral.
- Kelembagaan swasta yang merupakan bentukan masyarakat untuk pengelolaan sanitasi lingkungan, termasuk pengelolaan drainase.

Adapun permasalahan-permasalahan terkait dengan pengelolaan drainase perkotaan ditinjau dari aspek kelembagaan diantaranya :

- **Tumpah tindih dan belum adanya kejelasan instansi pemerintah yang bertugas mengelola jaringan drainase** yang ada, sebab saluran drainase sekunder dan primer awalnya merupakan saluran irigasi. Namun akibat perubahan tata guna lahan menjadi permukiman maka saluran irigasi berfungsi menjadi saluran drainase, sehingga instansi pengelola berpindah dari Dinas Pengairan ke Dinas Cipta Karya Kota maupun Kabupaten. dan baik satu instansi maupun lintas sektoral.
- **Lemahnya Koordinasi antar instansi dalam pengelolaan jaringan drainase.** Misalnya master plan yang sudah disusun oleh Bappedab/Bappeko, seharusnya dijalankan oleh dinas teknis dan pelaksanaannya dibawah koordinasi Bappedab/Bappeko.
- **Kelembagaan swasta** yang merupakan bentukan masyarakat untuk pengelolaan sanitasi lingkungan, termasuk pengelolaan drainase belum berjalan optimal.

Bab 2

Kajian Hidrologi Perkotaan

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang kajian hidrologi banjir perkotaan, siklus hidrologi, analisis hidrologi untuk mencari curah hujan rencana, penentuan faktor tata guna lahan, penentuan daerah pengaliran sungai (DPS) dan penentuan limpasan atau *run off* saat terjadi banjir perkotaan.

Relevansi

Permasalahan banjir perkotaan berawal dari terjadinya proses presipitasi atau hujan dengan intensitas yang tinggi kemudian mengalir dalam sebuah daerah pengaliran sungai (DPS) dengan tata guna lahan yang tidak mampu menyerap atau menginfiltrasi air.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami cara menghitung nilai limpasan permukaan (*run off*) saat terjadi banjir perkotaan.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

1. Memahami cara menghitung curah hujan rencana
2. Memahami cara menghitung intensitas hujan
3. Memahami cara menentukan daerah pengaliran sungai (DPS)
4. Memahami metode perhitungan debit banjir dengan metode rasional
5. Memahami metode perhitungan debit banjir dengan hidrograf satuan sintesis (HSS).

2.1. Umum

Hidrologi sangat diperlukan dalam rekayasa bangunan sipil. Analisa hidrologi tidak hanya diperlukan dalam perencanaan berbagai macam bangunan air, seperti bendung, bendungan, bangunan pengendali banjir, tetapi juga dalam perencanaan jalan raya, lapangan terbang, jembatan dan bangunan lainnya. Sebagai contoh, kegagalan dalam perhitungan drainase jalan raya dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan dini jalan raya, demikian juga pada lapangan terbang, lapangan olah raga dan sebagainya. Analisa hidrologi diperlukan juga untuk penentuan elevasi jembatan yang melintas sungai atau saluran. Komponen sistem transportasi lain juga memerlukan analisa hidrologi, seperti : areal parkir, landasan pacu (*runway*) dan apron lapangan udara, jalur kereta api serta jalur transportasi massal.

Berdasarkan uraian diatas, maka analisa hidrologi perlu dipertimbangkan dalam perencanaan di hampir semua bangunan sipil. Analisa hidrologi merupakan salah satu bidang yang sangat rumit dan kompleks. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya teori yang ada sifatnya pendekatan, data-data dan peta-peta untuk mendukung analisa hidrologi tidak selalu tersedia dengan baik. Demikian pula kondisi klimatologi seperti hujan, kecepatan angin, kelembapan, kecerahan matahari kejadiannya yang tidak dapat diprediksi secara baik.

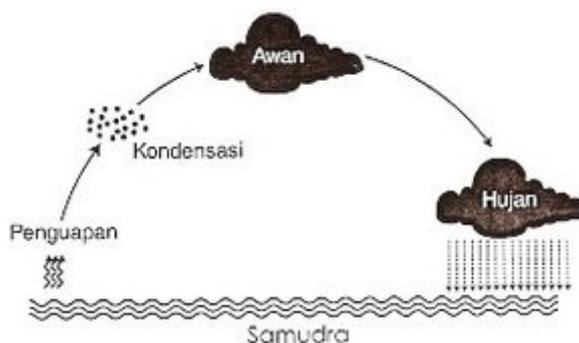
2.2. Siklus Hidrologi

Daur hidrologi sering istilahkan *water cycle* atau siklus air. Daur hidrologi meliputi gerakan air dari laut ke atmosfer, dari atmosfer ke tanah dan kembali ke laut lagi atau dengan arti lain siklus hidrologi merupakan rangkaian proses perpindahan air di permukaan bumi dari suatu tempat ke tempat lainnya hingga kembali ke tempat asalnya. Gerakan air naik ke udara dari permukaan laut atau dari daratan melalui proses evaporasi. Air di atmosfer dalam bentuk uap air atau awan bergerak dalam massa yang besar di atas benua dan dipanaskan oleh radiasi tanah. Akibat proses pemanasan membuat uap air lebih naik lagi sehingga cukup tinggi atau dingin yang menyebabkan terjadinya pendinginan atau kondensasi. Dalam proses kondensasi, uap air berubah jadi embun dan seterusnya jadi hujan atau salju. Curahan (*precipitation*) turun ke bawah, ke daratan atau langsung ke laut. Air yang tiba di daratan kemudian mengalir di atas permukaan (*run off*) menuju ke sungai, terus kembali ke laut. Dalam perjalanannya dari atmosfer ke luar, air mengalami banyak interupsi. Sebagian dari air hujan yang turun dari awan menguap sebelum tiba di

permukaan bumi, sebagian lagi jatuh di atas daun tumbuh-tumbuhan (*interception*) dan menguap dari permukaan daun-daun. Air yang tiba di tanah dapat mengalir terus ke laut, namun ada juga yang meresap dulu ke dalam tanah (*infiltration*) dan sampai ke lapisan batuan sebagai airtanah.

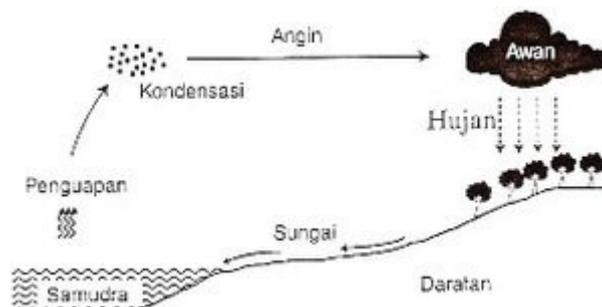
Sebagian dari air tanah dihisap oleh tumbuh-tumbuhan melalui daun-daunan, akibat proses pemanasan kemudian air yang ada di daun-daunan tersebut menguap ke udara (*transpiration*). Air yang mengalir di atas permukaan menuju sungai kemungkinan tertahan di bendungan, embung, kolam, selokan, dan sebagainya (*surface detention*) ada yang menguap namun sebagian air akhirnya mengalir di atas permukaan tanah melalui parit, sungai, hingga menuju ke laut (*surface run off*), sebagian lagi infiltrasi ke dasar bendungan, embung dan bergabung di dalam tanah sebagai air tanah yang pada akhirnya ke luar sebagai mata air. Siklus hidrologi dibedakan ke dalam tiga jenis yaitu :

1. Siklus Pendek : Air laut yang menguap kemudian mengalami proses kondensasi berubah menjadi butir-butir air yang halus atau awan dan selanjutnya turun menjadi hujan langsung jatuh ke laut (kembali berulang).



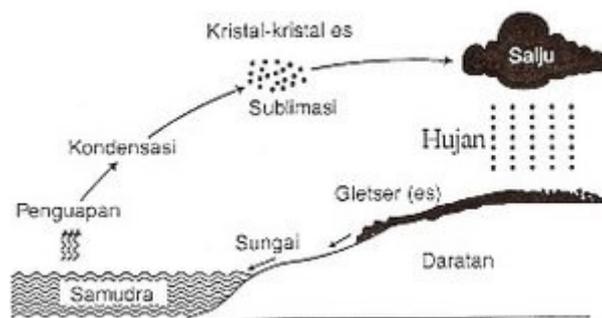
Gambar 2.1. Siklus hidrologi pendek

2. Siklus Sedang : Air laut yang menguap lalu dibawa oleh angin menuju daratan kemudian mengalami kondensasi berubah menjadi awan lalu jatuh sebagai hujan di daratan akhirnya meresap ke dalam tanah lalu kembali ke laut melalui sungai-sungai.



Gambar 2.2 Siklus hidrologi sedang

14. Siklus Panjang : Air laut yang menguap setelah menjadi awan melalui proses kondensasi terbawa oleh angin ke tempat yang lebih tinggi di daratan kemudian menjadi hujan salju atau es di pegunungan-pegunungan yang tinggi. Bongkah-bongkah es mengendap di puncak gunung dan karena gaya beratnya jatuh ke tempat yang lebih rendah kemudian mencair terbentuk gletser lalu mengalir melalui sungai-sungai kembali ke laut.



Gambar 2.3. Siklus hidrologi panjang

157. 2.3. Analisa Hidrologi

82. Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari tentang siklus air di alam. Secara khusus hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari sistem kejadian air di atas permukaan maupun di bawah permukaan tanah. Secara luas hidrologi meliputi pula berbagai bentuk cair, termasuk transformasi antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer di atas dan dibawah permukaan tanah (Soemarto, CD : 1995).

Analisa hidrologi dalam teknik sipil khususnya bangunan air diperlukan untuk perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan bangunan hidrolis, seperti perencanaan tenaga air, distribusi air, penanggulangan banjir, drainase, irigasi dan sebagainya. Selain itu 73 analisa hidrologi diperlukan juga untuk menentukan besarnya curah hujan rencana dan debit banjir

rencana dalam periode ulang tertentu (*return period*), misalnya curah hujan dengan periode ulang 50 tahun (R_{50}) dan debit banjir dengan periode ulang 50 tahun (Q_{50}).

2.3.1. Memperkirakan Data Yang Hilang

Data hujan yang diperoleh dan dikumpulkan dari sebuah instansi, tidak dapat langsung diolah sebab ada kemungkinan beberapa bagian dari data tersebut terdapat kesalahan atau kekurangan. Keadaan ini sangat menghambat proses perencanaan, misalnya pada saat perencanaan saluran drainase ternyata pada tahun tertentu data hujan pada satu atau beberapa stasiun tidak tersedia karena berbagai sebab. Berkaitan dengan hal ini, terdapat dua langkah yang dapat dilakukan :

1. Membiarkan saja data yang hilang tersebut, karena dengan cara apapun data tersebut tidak akan dapat diketahui dengan tepat.
2. Bila dipertimbangkan bahwa data tersebut mutlak diperlukan, maka perkiraan data tersebut dapat dilakukan dengan cara-cara yang dikenal.

Sampai saat ini paling tidak dua cara untuk memperkirakan data, yaitu dengan *normal ratio method* dan *reciprocal method* (Sri Harto, 1993).

2.3.1.1. Normal Ratio Method

Metode ini didasarkan pada persamaan :

$$P_X = 1/n [N_x \cdot P_A/N_A + N_x \cdot P_B/N_B + \dots + N_x \cdot P_n/N_n] \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan :

P_X = hujan pada stasiun X yang diperkirakan

N_X = hujan normal tahunan di stasiun X

N_A = hujan normal tahunan di stasiun A

P_A = hujan di stasiun A yang diketahui

n = jumlah stasiun referensi

Metode ini hanya boleh digunakan bila variasi ruang hujan (*spatial, areal variation*) yang tidak terlalu besar. Pengertian hujan normal adalah rata-rata hujan dengan jangka pengukuran antara 15-20 tahun. Hal tersebut tidak selalu dapat diperoleh. Dalam hal demikian, maka besaran tersebut dapat diturunkan dari besaran hujan selama jangka maksimum yang dapat tersedia. Jumlah stasiun acuan (*reference station*) yang dianjurkan umumnya paling tidak tiga buah (Sri Harto 1993 : 58).

2.3.1.2. *Reciprocal Method*

Metode hitungan yang dianggap lebih baik adalah *Reciprocal Method*, yang memanfaatkan jarak antar stasiun sebagai faktor koreksi (*weighting factor*). Hal ini dapat dimengerti, karena korelasi antara dua stasiun hujan menjadi makin kecil dengan makin besarnya jarak antar stasiun tersebut. Persamaan 2.1 dapat digunakan bila dalam DAS tersebut terdapat lebih dari dua stasiun hujan. Umumnya dianjurkan untuk menggunakan paling tidak tiga stasiun acuan (*Sri Harto 1993 : 58*).

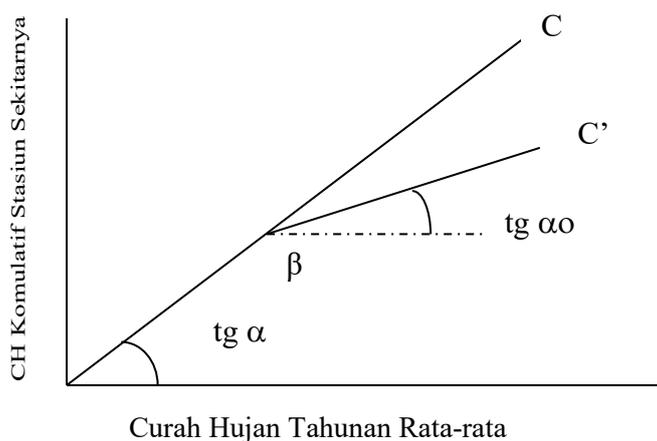
$$P_x = \frac{P_A/(d_{XA})^2 + P_B/(d_{XB})^2 + P_C/(d_{XC})^2}{1/(d_{XA})^2 + 1/(d_{XB})^2 + 1/(d_{XC})^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

d_{XA} = jarak antara stasiun X dan stasiun acuan A

2.3.2. Uji Konsistensi Data

Data hujan kadang-kadang tidak konsisten atau menyimpang dari trend semula. Hal ini dapat disebabkan oleh ¹²⁸berubahnya atau terganggunya lingkungan di sekitar tempat penakar hujan dipasang, misalnya terlindungi oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan metode pengukuran dan lain sebagainya. Untuk melakukan uji konsistensi data, maka dapat dilakukan analisa lengkung massa ganda seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Grafik lengkung massa ganda

Kalau tidak terdapat perubahan lingkungan maka akan didapatkan garis ABC, tetapi karena pada suatu tahun terjadi perubahan lingkungan maka akan didapat garis patah ABC'. Penyimpangan tiba-tiba dari garis semula menunjukkan adanya perubahan tiba-tiba dalam pengamatan. Jadi perubahan tersebut bukan disebabkan oleh perubahan iklim atau keadaan hidrologis yang dapat menyebabkan adanya perubahan trend (Soemarto, C D. 1995:56).

2.3.3. Analisis Data Hujan

Data hujan yang diperoleh dari alat penangkaran merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan yang sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas diperlukan lebih dari satu catatan hujan dari stasiun penakar hujan guna menggambarkan hujan wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penangkaran yang ada disekitar kawasan tersebut. Ada tiga macam cara untuk menghitung hujan rata-rata kawasan, yaitu Rata-rata Aljabar, *Polygon Thiessen*, dan *Isohyet* (Suripin, 2004 : 27).

2.3.3.1. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode ini merupakan metode yang sangat sederhana dalam perhitungan hujan rerata daerah. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua stasiun hujan mempunyai pengaruh yang seimbang dalam sebuah kawasan. Metode ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, letak stasiun hujan tersebar merata/hampir merata pada kawasan dan deviasi data hujan tidak terlalu berbeda besar dari harga rerata semua stasiun hujan. Hujan kawasan diperoleh dari persamaan berikut :

$$P = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

P = curah hujan rerata daerah (mm)

N = jumlah stasiun penakar hujan

P1, P2,..P3 = curah hujan di stasiun penakar hujan (mm)

2.3.3.2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini disebut juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak antar stasiun. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan

garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat (Gambar 2.5). Dalam metode ini dianggap bahwa variasi hujan antara stasiun yang satu dengan yang lainnya adalah linier dan sembarang stasiun dianggap dapat mewakili kawasan tersebut. Hasil Metode Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Metode ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 – 5.000 km² dan jumlah stasiun hujan terbatas dibandingkan luasannya.

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.4)$$

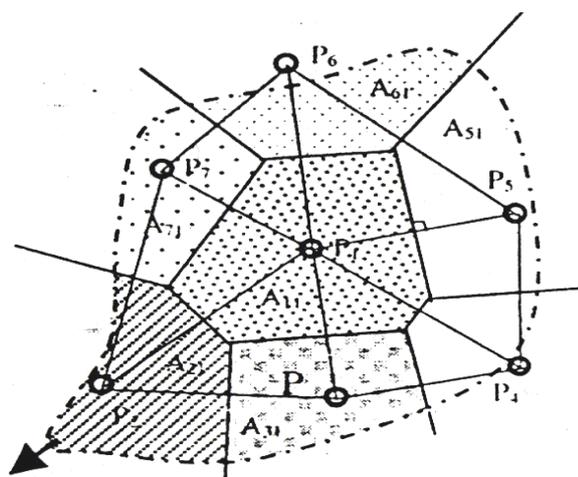
Dengan :

P = curah hujan daerah (mm)

P₁, P₂, P_n = curah hujan di stasiun penakar (mm)

A₁, A₂, A_n = luas areal polygon (km²)

n = jumlah stasiun penakar hujan



Gambar 2.5. Metode poligon thiessen

2.3.3.3. Metode Isohyet

Metode Isohyet merupakan metode yang paling akurat dalam menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian, pengalaman dan ketelitian. Metode ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap stasiun penakar hujan. Dengan mengacu pada uraian tersebut diatas, maka Metode Thiessen yang menganggap bahwa tiap-tiap stasiun penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

$$P = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} \quad \dots (2.5)$$

Dengan :

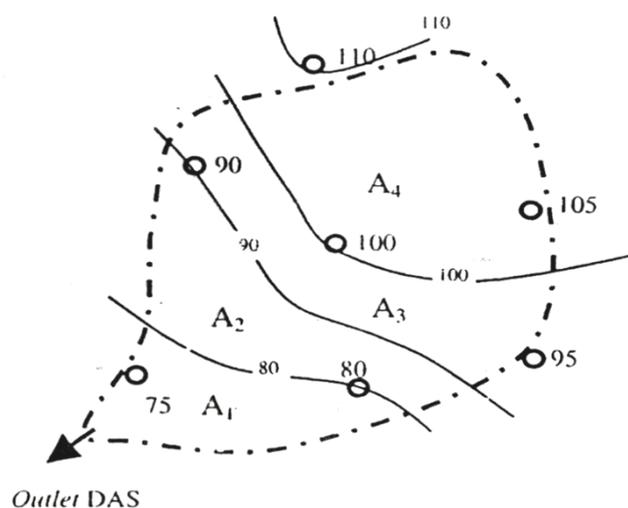
P = curah hujan daerah

P_1, P_2, P_n = curah hujan di stasiun penakar

A_1, A_2, A_n = luas area antar dua garis isohyet

n = jumlah stasiun penakar hujan

Metode Isohyet ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luasan DAS lebih dari 5.000 km² (Suripin, 2004 : 27).



Gambar 2.6. Metode Isohyet

2.3.4. Curah Hujan Harian Maksimum

Perhitungan data hujan maksimum harian rata-rata DAS harus dilakukan secara benar untuk analisa frekuensi data hujan. Dalam praktek sering kita jumpai perhitungan yang kurang pas, yaitu dengan cara mencari hujan maksimum harian setiap stasiun hujan dalam satu tahun kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan hujan DAS. Metode ini tidak logis karena rata-rata hujan dilakukan atas hujan dari masing-masing stasiun hujan yang terjadi pada hari yang berlainan. Hasilnya akan jauh menyimpang dari yang seharusnya.

Metode yang seharusnya ditempuh¹² untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata DAS adalah sebagai berikut:

1. Menentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu disalah satu stasiun hujan.
2. Menghitung besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk stasiun hujan yang lain.
3. Menghitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih.
4. Menentukan hujan maksimum harian seperti langkah 1 pada tahun yang sama untuk stasiun hujan yang lain.
5. Mengulangi untuk langkah 2 dan 3 untuk setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah stasiun hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun, hasilnya merupakan hujan maksimum harian DAS pada tahun yang bersangkutan (*Suripin, 2004 : 59*).

2.3.5. Analisa Frekuensi

²¹ Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa atau ekstrim, seperti banjir, hujan yang deras dan kekeringan.¹¹⁸ Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa ekstrim biasanya kejadiannya sangat langka. Tujuan analisa frekuensi data hidrologi adalah untuk penerapan distribusi kemungkinan yang berkaitan dengan peristiwa-peristiwa ekstrim. Data hidrologi¹¹ yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung atau *independent* dan terdistribusi secara acak.

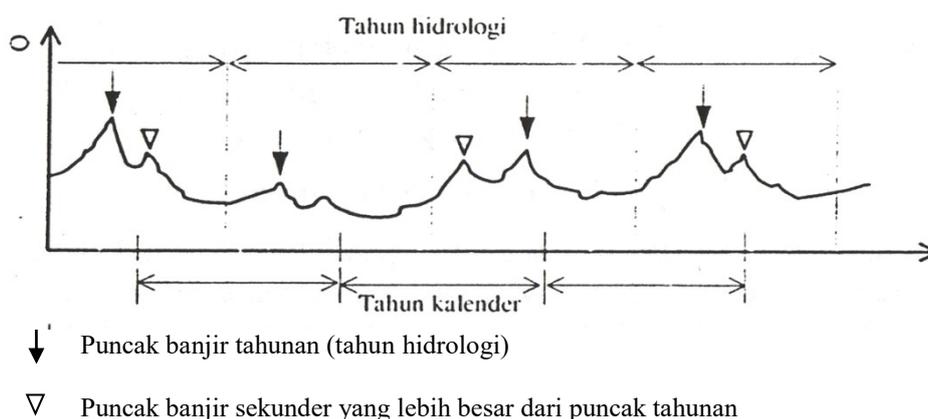
Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala-ulang atau *retrun period* adalah waktu hipotetik hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini tidak terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan kala-ulang 10 tahunan, tidak berarti akan terjadi sekali setiap kali 10 tahun akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10 tahun terjadi 10-tahunan lebih dari satu kali, atau sebaliknya tidak terjadi sama sekali.

Analisa frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari stasiun penakar hujan²¹ baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk diperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan

datang masih sama dengan sifat statistik kejadian masa lalu. Ada dua macam seri data yang diperlukan dalam analisa frekuensi, yaitu (Suripin, 2004 : 32):

a. Data maksimum tahunan

Tiap tahun diambil hanya satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisa selanjutnya. Seri data seperti ini dikenal dengan seri data maksimum (*maximum annual series*). Jumlah data dalam seri akan sama dengan panjang data yang tersedia. Dalam metode ini, besaran data maksimum kedua dalam satu tahun yang mungkin lebih besar dari besaran data maksimum dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis. Hal ini oleh beberapa pihak dianggap kurang realistis, apalagi jika diingat bahwa perhitungan permulaan tahun hidrologi tidak selalu seragam yaitu ada yang berdasar pada musim ada pula yang mengikuti kalender masehi. Oleh karena itu beberapa ahli menyarankan menggunakan cara seri parsial (Suripin, 2004 : 32).



Gambar 2.7. Kejadian-kejadian banjir seri durasi parsial dan durasi tahunan

b. Seri parsial

Dengan menetapkan suatu besaran tertentu sebagai batas bahwa, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis seperti biasa. Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat, dengan semua besaran data yang cukup besar diambil, kemudian diurutkan dari besar ke kecil. Data yang diambil untuk analisis selanjutnya adalah sesuai dengan panjang data dan diambil dari besaran data yang paling besar. Dalam hal ini dimungkinkan dalam satu tahun data yang diambil lebih dari satu data. Sementara tahun yang lain tidak akan data yang diambil (Suripin, 2004 : 33).

Dalam analisa frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah (Suripin, 2004 : 33):

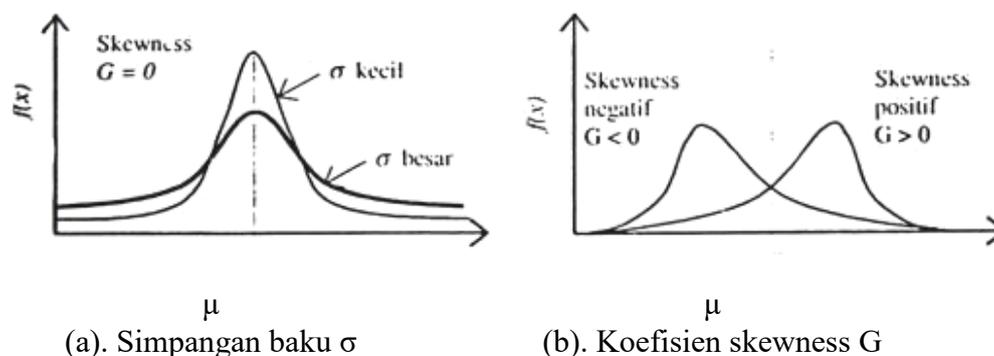
1. Distribusi Normal,
2. Distribusi Log Normal,
3. Distribusi Log Person III
4. Distribusi Gumbel.

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisa data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien skewness (kecondongan dan kemencengan).

Tabel 2.1 Parameter Statistik yang penting

Parameter	Sampel	Populasi
Rata-Rata	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$	$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$
Simpangan Baku	$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$\sigma = \{E[(x - \mu)^2]\}^{\frac{1}{2}}$
Koefisien Variasi	$CV = \frac{s}{x}$	$CV = \frac{\sigma}{\mu}$
Koefisien Skewness	$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log xi - \log \bar{xi})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$	$\gamma = \frac{E[(x - \mu)^2]}{\sigma^3}$

Sumber : Suripin, 2004 : 33



Gambar 2.8. Pengaruh perubahan simpangan baku σ dan koefisien skewness G pada *Probability Density Function* (PDF)

2.3.5.1. Distribusi Normal

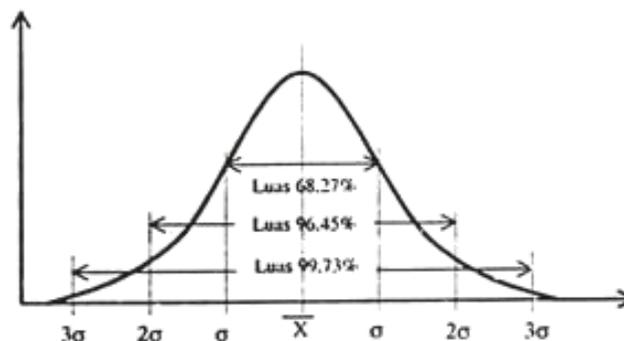
Distribusi normal atau kurva normal (PDF = *probability density function*) yang paling dikenal adalah bentuk bell dan dikenal sebagai distribusi normal. PDF distribusi normal dapat ditulis dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut (Suripin, 2004 : 35):

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- 24 $f(X)$ = fungsi densitas peluang normal (ordinat kurva normal)
- X = variabel acak kontinu
- μ = rata-rata nilai X
- σ = simpangan baku dari nilai X

Analisa kurva normal cukup menggunakan parameter statistik μ dan σ . Bentuk kurvanya simetris terhadap $X = \mu$, dan grafiknya selalu di atas sumbu datar X , serta mendekati (berasimut) sumbu datar X dan dimulai dari $X = \mu + 3\sigma$ dan $X = \mu - 3\sigma$. Nilai mean = median = modus. Nilai X mempunyai batas $-\infty < X < +\infty$. Apabila suatu populasi data hidrologi mempunyai distribusi berbentuk distribusi normal (Gambar 2.9) maka



Gambar 2.9. Kurva distribusi frekuensi normal

1. Kira-kira 68,27%, terletak di daerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - \sigma)$ dan $(\mu + \sigma)$.
2. Kira-kira 95,45%, terletak di daerah dua deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 2\sigma)$ dan $(\mu + 2\sigma)$.
3. Kira-kira 99,73%, terletak di daerah tiga deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara $(\mu - 3\sigma)$ dan $(\mu + 3\sigma)$.

Sedangkan, nilai 50%-nya terletak di daerah antara ($\mu - 0,6745\sigma$) dan ($\mu + 0,6745\sigma$). Luas kurva normal selalu sama dengan satu unit persegi, sehingga

$$P(-\infty \leq x \leq \infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \dots\dots\dots (2.7)$$

peluang nilai X antara $X = x_1$ dan $X = x_2$, adalah :

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \dots\dots\dots (2.8)$$

apabila nilai X adalah standar, nilai rata-rata $\mu = 0$ dan deviasi standar (simpangan baku) $\sigma = 1$, maka persamaan (1.8) dapat ditulis sebagai :

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}t^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$t = \frac{x - \mu}{\sigma} \dots\dots\dots (2.10)$$

dalam pemakaian praktis, umumnya rumus-rumus tersebut tidak digunakan secara langsung karena telah dibuat tabel untuk keperluan perhitungan, sebagaimana ditampilkan dalam Lampiran 1.

$$X_T = \mu + K_T \cdot \sigma \dots\dots\dots (2.11)$$

yang dapat didekati dengan

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan :

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \dots\dots\dots (2.13)$$

- x_1 = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan
- \bar{X} = nilai rata-rata hitung variat
- S = deviasi standar nilai variat
- K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisa peluang

Bentuk persamaan ini sama dengan bentuk variabel normal standart yang didefinisikan pada persamaan (2.10). Nilai faktor frekuensi K_T umumnya sudah tersedia dalam tabel untuk mempermudah perhitungan, seperti ditunjukkan dalam Lampiran 2 yang

umum disebut sebagai tabel nilai variabel reduksi Gauss (*Variable Reduced Gauss*) (Suripin, 2004 : 37).

2.3.5.2. Distribusi Log Normal

Jika variabel acak $Y = \log X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. PDF (*probability density fuction*) untuk distribusi Log Normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut :

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(Y - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right] x > 0 \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan :

- $P(X)$ = peluang log normal
- X = nilai varian pengamatan
- σ_Y = deviasi standar nilai varian Y
- μ_Y = nilai rata-rata populasi Y

apabila nilai $P(X)$ digambarkan pada kertas maka peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan :

$$Y_T = \mu + K_T \cdot \sigma \dots\dots\dots (2.15)$$

yang dapat didekati dengan

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \cdot S \dots\dots\dots (2.16)$$

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{Y}}{S} \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan :

- Y_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan
- \bar{Y} = nilai rata-rata hitung variat
- S = deviasi standar nilai variat
- K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode dan tipe model matematik distribusi peluang ulang digunakan untuk analisa peluang.

2.3.5.3. ³⁰ *Distribusi log-Person III*

Pada situasi tertentu, walaupun data yang diperkirakan mengikuti distribusi sudah dikonversi ke dalam bentuk logaritmis, ternyata kedekatan antara data dan teori tidak cukup kuat untuk menjustifikasi pemakaian distribusi Log Normal. Person telah mengembangkan serangkaian fungsi probabilitas yang dapat dipakai untuk hampir semua distribusi empiris. ⁷⁵ Tidak seperti konsep yang melatar belakangi pemakaian distribusi Log Normal untuk banjir puncak, maka distribusi probabilitas ini hampir tidak berbasis teori. Distribusi ini masih tetap dipakai karena fleksibilitasnya.

²⁴ Salah satu distribusi dari serangkaian distribusi yang dikembangkan Person yang menjadi perhatian ahli sumber daya air adalah Log-Person type III (LP. III). Tiga parameter penting dalam LP. III, yaitu (i) harga rata-rata; (ii) simpangan baku; dan (iii) koefisien kemencengan. Yang menarik, jika koefisien kemencengan sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log normal. Berikut ini langkah-langkah pengguna distribusi Log-Person Tipe III.

- Ubah data ke dalam bentuk logaritmis, $X = \log X$
- Hitung harga rata-rata

⁹⁸
$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x}{n} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Hitung harga simpangan baku

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Hitung koefisien kemencengan ¹³²

$$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.20)$$

- ⁹¹ Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\text{Log} X_T = \text{Log} \bar{x} + K \cdot S \dots\dots\dots (2.21)$$

K adalah variabel standar (*standardized variable*) untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G. Lampiran 3 memperlihatkan harga K untuk berbagai nilai kepercengan G. Hitung hujan atau banjir kala ulang T dengan menghitung antilog dari log X_T (Suripin, 2004 : 41).

2.3.5.4. ¹⁰⁶ *Distribusi Gumbel*

Gumbel menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda.

$$P(X) = e^{-e^{-a(x-b)}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Jika diambil $Y = a(X - b)$, dengan Y disebut *reduced varied*, maka persamaan (2.22) dapat ditulis

$$P(X) = e^{-e^{-Y}} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan e = bilangan eksponensial = 2,7182818

Bila diambil dua kali harga logaritma dengan bilangan dasar e terhadap persamaan (2.22) diperoleh persamaan berikut :

$$X = \frac{1}{a} [ab - \ln\{-\ln P(X)\}] \dots\dots\dots (2.24)$$

³⁷ Kala ulang (*return period*) merupakan nilai banyaknya tahun rata-rata dengan suatu besaran disamai atau dilampaui oleh suatu harga sebanyak satu kali. Hubungan antara periode ulang dan probabilitas dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$T_r(X) = \frac{1}{1 - P(X)} \dots\dots\dots (2.25)$$

substitusikan persamaan (1.25) ke dalam persamaan (1.22) akan diperoleh persamaan berikut :

$$X_{T_r} = b - \frac{1}{a} \ln\left\{-\ln \frac{T_r(X) - 1}{T_r(X)}\right\} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan $Y = a(X-b)$, maka diperoleh persamaan berikut :

$$Y_{T_r} = -\ln\left\{-\ln \frac{T_r(X) - 1}{T_r(X)}\right\} \dots\dots\dots (2.27)$$

dalam penggambaran pada kertas probabilitas, Chow (1964) menyarankan penggunaan rumus berikut :

$$X = \mu + \sigma \cdot K \dots\dots\dots (2.28)$$

³⁷ dengan :

- μ = harga rata-rata populasi
- σ = standar deviasi (*simpangan baku*)
- K = faktor probabilitas

Apabila jumlah populasi yang terbatas (sampel), maka persamaan (2.28) dapat didekati dengan persamaan

$$\bar{X} = \bar{X} + S \cdot K \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

X = harga rata-rata sampel

S = standar deviasi (*simpangan baku*) sampel

60 Faktor probabilitas K untuk harga-harga ektrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan

$$K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan :

Y_n = *reduced mean* yang tergantung jumlah sampel/data n (Lampiran 4)

S_n = *reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n (Lampiran 5)

Y_{T_r} = *reduced variate*, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Y_{T_r} = -In \left\{ -In \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Lampiran 6 memperlihatkan hubungan antara *reduced variate* dengan periode ulang. Substitusikan persamaan (2.29) ke dalam persamaan (2.30), maka akan didapat persamaan berikut (*Suripin, 2004 : 50*) :

$$X_{T_r} = \bar{X} + \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} S \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

$$= \bar{X} - \frac{Y_n S}{S_n} + \frac{Y_{T_r} S}{S_n} \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

atau

$$X_{T_r} = b + \frac{1}{a} Y_{T_r} \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

Dengan :

$$a = \frac{S_n}{S} \text{ dan } b = \bar{X} - \frac{Y_n S}{S_n} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

2.3.6. Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi

Data hidrologi yang dipakai untuk mengestimasi banjir rancangan (*design flood*) ataupun debit andalan (*dependable discharge*) menggunakan analisa frekuensi belum tentu sesuai dengan distribusi-distribusi yang dipilih. Untuk itu perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi (*testing of goodness of fit*). Karena pengeplotan data pada kertas distribusi didasarkan pada 2 sistem yang umumnya dikenal dengan peluang (%) sebagai absis (skala normal/logaritma) dan nilai ekstrim (banjir/hujan) sebagai ordinat (skala normal/logaritma), maka sebaran data ini diasumsi bisa mewakili oleh satu kurva teoritis (bisa berupa garis lurus/lengkung, bergantung pada jenis skala yang dipakai).

Untuk menjamin bahwa pendekatan empiris (berupa pengeplotan data) benar-benar bisa mewakili oleh kurva teoritis, perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi, yang biasa dikenal sebagai *Testing of Goodness of Fit*. Ada 2 uji yang bisa dilakukan dalam hal ini, yaitu Uji Smirnov kolmogorof dan Uji Chi Square (*Lily motarcih, 2009 : 71*).

2.3.6.1. Uji Smirnov Kolmogorof

Uji Smirnov-Kolmogorof adalah uji distribusi terhadap penyimpangan data ke arah horisontal untuk mengetahui suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih atau tidak. Uji Smirnov kolmogorof sering juga disebut uji kecocokan *non-parametric*, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data, antara sebaran empiris dan sebaran teoritis yang dinyatakan dalam Δ . Harga Δ terbesar (Δ maks) dibandingkan dengan Δ kritis (dari tabel Smirnov Kolmogorof) dengan tingkat keyakinan (α) tertentu. Distribusi dianggap sesuai jika : Δ maks < Δ kritis.

Sebelum melakukan uji kesesuaian terlebih dahulu dilakukan *plotting* data dengan tahapan sebagai berikut :

1. Data hujan harian maksimum tahunan disusun dari besar – kecil.
2. Hitung probabilitasnya dengan Rumus Weibull (Sri Harto, 1993 : 179)

$$P = \frac{m}{n} \times 100\% \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan :

P = probabilitas (%)

m = nomor urut data

n = jumlah data

3. Plotting data debit (X) dengan probabilitas P.

4. Tarik garis durasi dengan mengambil 2 titik pada Metode Gumbel (garis teoritis berupa garis lurus) dan 3 titik pada Metode Log Pearson III (garis teoritis berupa garis lengkung kecuali untuk $C_s = 0$, garis teoritis berupa garis lurus).

Persamaan yang digunakan adalah (shahin, 1976 : 188) sebagai berikut :

$$\Delta_{maks} = [Pe - Pt] \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan :

¹⁷³ Δ_{maks} = selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis

Pe = peluang empiris

Pt = peluang teoritis

Δ_{cr} = simpangan kritis (dari Lampiran 7)

Kemudian dibandingkan antara Δ_{maks} dan Δ_{cr} , distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima apabila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ dan jika $\Delta_{maks} > \Delta_{cr}$ berarti gagal (*Lily motarcih, 2009 : 72*).

2.3.6.2. ³¹ Uji Chi – Kuadrat

Uji Chi Square dilakukan untuk uji kesesuaian distribusi. Rumus Chi Square (X^2) sebagai berikut :

$$X^2_{hitung} = \sum_{i=1}^k \frac{(Fe-Ft)^2}{Ft} \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan :

X^2_{hitung} = harga Chi Square hitung

³¹ Fe = frekuensi pengamatan kelas j

Ft = frekuensi teoritis kelas j

K = jumlah kelas

Derajat bebas d^k dirumuskan sebagai berikut :

³¹ d^k = k-1 jika frekuensi dihitung tanpa mengestimasi parameter dari sampel

d^k = k-1-m jika frekuensi dihitung dengan mengestimasi m parameter dari sampel

Harga X^2 dengan derajat bebas (n) seperti tersebut di atas dibandingkan dengan X^2 dari tabel dengan tingkat keyakinan (α) tertentu. Jika $X^2_{hitung} < X^2$ tabel berarti data sesuai dengan distribusi yang bersangkutan (*Lily motarcih, 2009 : 72*).

2.3.7. Memperkirakan Laju Aliran Puncak

Ada beberapa metode untuk memperkirakan laju aliran puncak (debit banjir). Metode yang dipakai pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Dalam praktek, perkiraan debit banjir dilakukan dengan beberapa metode dan debit banjir rencana ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis (*engineering judgement*). Secara umum, metode yang umum dipakai adalah (1) Metode Rasional dan (2) Metode Hidrograf Banjir (Suripin, 2004 : 78) :

2.3.7.1. Metode Rasional

Metode Rasional adalah metode lama yang masih digunakan hingga sekarang untuk memperkirakan debit puncak (*peak discharge*). Ide yang melatar belakangi metode rasional adalah jika curah hujan dengan intensitas I terjadi secara terus-menerus, maka laju limpasan langsung akan bertambah sampai mencapai waktu konsentrasi t_c . Waktu konsentrasi t_c tercapai ketika seluruh bagian DAS telah memberikan kontribusi aliran di outlet. Laju masukan pada sistem adalah hasil curah hujan dengan intensitas I pada DAS dengan luas A . Nilai perbandingan antara laju masukan dengan laju debit puncak (Q_p) yang terjadi pada saat t_c dinyatakan sebagai *run off coefficient* (C) dengan nilai $0 \leq C \leq 1$ (Chow, 1998).

Beberapa alasan yang mendasari penggunaan Metode Rasional adalah :

1. Curah hujan terjadi dengan intensitas yang tetap dalam jangka waktu tertentu setidaknya sama dengan waktu konsentrasi.
2. Limpasan langsung mencapai maksimum ketika durasi hujan dengan intensitas tetap sama dengan waktu konsentrasi.
3. Koefisien *run off* dianggap tetap selama durasi hujan.
4. Luas DAS tidak berubah selama durasi hujan.

(Wanielista, 1990).

Rumus ini adalah rumus yang tertua dan yang terkenal diantara rumus-rumus lainnya. Rumus ini banyak digunakan untuk sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luasnya kurang dari 300 ha dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit. Bentuk umum rumus rasional adalah sebagai berikut :

$$Q = 0,2778 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.39)$$

dengan :

Q = debit banjir maksimum (m^3/dt)

C = koefisien pengaliran/limpasan

I = intensitas curah hujan rata-rata (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

Arti rumus ini segera dapat diketahui yakni jika terjadi curah hujan selama 1 jam dengan intensitas 1 mm/jam dalam daerah pengaliran seluas 1 km^2 , maka debit banjir sebesar 0,2278 m^3/dt dan melimpas selama 1 jam (*Sosrodarsono dan Takeda, 1993*).

- **Intensitas Curah Hujan Rata-Rata (mm/jam)**

Perhitungan debit banjir dengan metode rasional memerlukan data intensitas curah hujan. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf I dengan satuan mm/jam (*Loebis, 1992*).

Durasi adalah lamanya suatu kejadian hujan. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak begitu luas. Hujan yang meliputi daerah yang luas, jarang sekali dengan intensitas yang tinggi tetapi dapat berlangsung dengan durasi yang cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi yang panjang jarang terjadi, tetapi apabila terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan ditumpahakan dari langit (*Sudjarwadi, 1987*).

Besarnya intensitas curah hujan tidak sama pada berbagai wilayah. Hal ini dipengaruhi oleh topografi, durasi dan frekuensi di wilayah atau lokasi yang bersangkutan. Ketiga hal ini dijadikan pertimbangan dalam membuat lengkung IDF (*Intensity - Duration - Frequency*). Lengkung IDF ini digunakan dalam metode rasional untuk menentukan intensitas curah hujan rata-rata dari waktu konsentrasi yang dipilih. Namun pembuatan lengkung IDF ini cukup sulit dan membutuhkan banyak data curah hujan sehingga secara periodik perlu diperbaharui bila ada tambahan data dan hal ini akan memakan waktu yang cukup lama bila dilakukan secara manual.

Kurva frekuensi intensitas-lamanya adalah kurva yang menunjukkan persamaan dengan t sebagai absis dan I sebagai ordinat. Kurva ini digunakan untuk perhitungan limpasan (*run off*) dengan rumus rasional dan untuk perhitungan debit puncak dengan menggunakan intensitas curah hujan yang sebanding dengan waktu pengaliran curah hujan dari titik paling atas ke titik yang ditinjau di bagian hilir daerah pengaliran itu (*Sosrodarsono dan Takeda, 2003*).

Intensitas hujan (mm/jam) dapat diturunkan dari data curah hujan harian (rnm) empiris menggunakan metode mononobe, intensitas curah hujan (I) dalam rumus rasional dapat dihitung dengan rumus (*Loebis, 1992*) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.40)$$

dengan :

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
- R = curah hujan rancangan setempat (mm)
- T = lamanya curah hujan (jam)

- **Waktu Konsentrasi**

Waktu konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, maka setiap DAS secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut (Suripin, 2004 : 82) :

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (2.41)$$

dengan :

- t_c = waktu konsentrasi dalam jam
- L = panjang sungai dalam km
- S = kemiringan sungai dalam m/m

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakan menjadi dua komponen, yaitu (1) waktu yang diperlukan untuk mengalir dipermukaan lahan sampai saluran terdekat t₀ dan (2) waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran t_d, sehingga (Suripin, 2004 : 82) :

$$(t_c = t_0 + t_d) \dots\dots\dots (2.42)$$

Durasi hujan yang biasa terjadi 1-6 jam bahkan maksimum 12 jam pun jarang terjadi. Durasi hujan sering dikaitkan dengan waktu konsentrasi sehingga sangat berpengaruh pada besarnya debit yang masuk ke saluran atau sungai. Jika tidak diperoleh waktu konsentrasi sama dengan intensitas hujan maka perlu digunakan metode rasional yang dimodifikasi (Suroso, 2006).

- **Koefisien Pengaliran/Limpasan**

Koefisien ditetapkan sebagai rasio kecepatan maksimum pada aliran air dari daerah tangkapan hujan. Koefisien ini merupakan nilai banding antara bagian hujan yang membentuk limpasan langsung dengan hujan total yang terjadi. Nilai

C tergantung pada beberapa karakteristik dari daerah pengaliran yang termasuk didalamnya :

- a. Relief atau kelandaian daerah tangkapan
- b. Karakteristik daerah, seperti perlindungan vegetasi, tipe tanah dan daerah kedap air
- c. *Storage* atau karakteristik *detention* lainnya.

¹³ Besarnya aliran permukaan dapat menjadi kecil, terlebih bila curah hujan tidak melebihi kapasitas infiltrasi. Selama hujan yang terjadi adalah kecil atau sedang, aliran permukaan hanya terjadi di daerah yang impermeabel dan jenuh di dalam suatu daerah tangkapan air (DAS) atau langsung jatuh di atas permukaan air. Apabila curah hujan yang jatuh jumlahnya lebih besar dari jumlah air yang dibutuhkan untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi, simpanan depresi dan cadangan depresi, ¹³ maka barulah bisa terjadi aliran permukaan. Apabila hujan yang terjadi kecil maka hampir semua curah hujan yang jatuh terintersepsi oleh vegetasi yang lebat (*Kodoatie dan Sugiyanto, 2002*).

Pada daerah dengan penggunaan lahan berubah-ubah, nilai dari koefisien limpasan yang digunakan harus mempertimbangkan pembangunan di daerah hulu, untuk daerah tangkapan air pada masa yang akan datang. Hal ini sangat cocok pada daerah pengaliran di pedesaan mungkin berkembang sebagian atau seluruhnya menjadi daerah tangkapan hujan perkotaan selama dilakukannya perencanaan pelayanan kesejahteraan hidup.

³³ Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menampilkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati satu (*Kodoatie dan Sjarief, 2005*). Nilai koefisien limpasan berdasarkan fungsi lahan menurut Metode Rasional disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Koefisien limpasan berdasarkan fungsi lahan menurut metode rasional

Tata Guna Lahan	Nilai C
Hutan tropis	< 3
Hutan produksi	5
Semak belukar	7
Sawah-sawah	15
Daerah pertanian, perkebunana	40
Jalan aspal	95
Daerah permukiman	50 – 70
Bangunan padat	70 – 90
Bangunan terpecah	30 – 70
Atap rumah	70 – 90
Jalan tanah	13 – 50
Lapis keras kerikil batu pecah	35 – 70
Lapis keras beton	70 – 90
Taman, halaman	5 – 25
Tanah lapang, tegalan	10 – 30
Kebun, lading	0 – 20

Menurut suripin (2004), menyatakan bahwa jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien DAS yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.43)$$

dengan :

A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup i

N = jumlah jenis penutup tanah

2.3.7.1. Metode hidrograf banjir

Unit hidrograf banjir atau hidrograf satuan merupakan limpasan langsung yang diakibatkan oleh suatu satuan volume hujan efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang. Untuk membuat hidrograf banjir pada sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan

observasi hidrograf banjirnya, maka terlebih dahulu perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut, misalnya waktu untuk mencapai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*), lebar dasar, luas kemiringan, panjang alur terpanjang (*length of the longest channel*), koefisien limpasan (*runoff coefficient*) dan sebagainya. Dalam hal ini biasanya kita gunakan hidrograf-hidrograf sintetis yang telah dikembangkan di negara-negara lain. Dimana parameter-parameternya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau (CD. Soemarto, 1987 : 164).

Salah satu hidrograf satuan yang dapat digunakan untuk memperkirakan laju aliran puncak adalah metode hidrograf satuan sintetis yaitu hidrograf satuan sintetis Nakayasu dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{C.A.R_o}{3,6(0,3T_p+T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.44)$$

dengan :

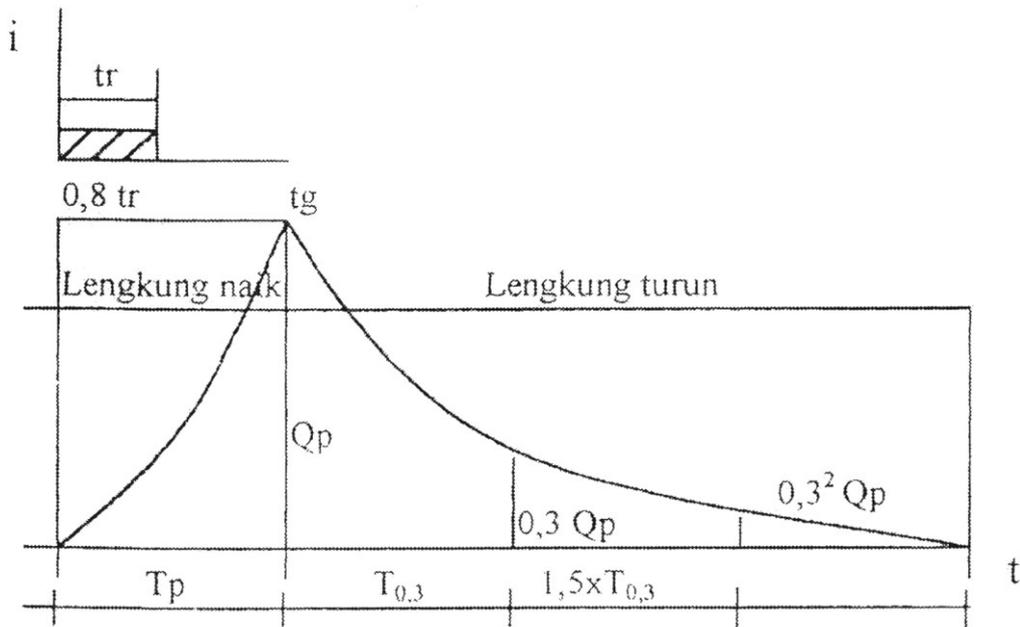
- Q_p = debit puncak banjir (m^3/dt)
- C = koefisien pengaliran, besarnya $C < 1$
- A = luas daerah pengaliran (km^2)
- R_o = hujan satuan (mm)
- T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- $T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

Bagian lengkung naik (*rising limb*) hidrograf satuan mempunyai persamaan (lihat Gambar 2.10).

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots (2.45)$$

dengan :

- Q_a = limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/dt)
- t = waktu (jam)



Gambar 2.10. Grafik debit banjir lengkung naik dan lengkung turun

bagian ¹⁶² lengkung turun (*decreasing limb*)

$$Q_d > 0,3 Q_p : Q_d = Q_p \cdot 0,3 \text{ pangkat } \frac{t-T_p}{T_{0,3}} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$0,3Q_p > Q_d > 0,3^2 Q_p : Q_d = Q_p \cdot 0,3 \text{ pangkat } \frac{t-T_p + 0,5T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \dots\dots (2.47)$$

$$0,3^2 Q_p > Q_d : Q_d = Q_p \cdot 0,3 \text{ pangkat } \frac{t-T_p + 0,5T_{0,3}}{2 T_{0,3}} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$\text{Tenggang waktu } T_p = t_g + 0,8 t_r \dots\dots\dots (2.49)$$

untuk

$$L < 15 \text{ km} \quad t_g = 0,21 L^{0,7} \dots\dots\dots (2.50)$$

$$L > 15 \text{ km} \quad t_g = 0,4 + 0,058 L \dots\dots\dots (2.51)$$

Dengan :

L = panjang alur sungai (km)

t_g = waktu konsentrasi (jam)

t_r = 0,5 t_g sampai t_g (jam)

T_{0,3} = α t_g (jam)

Koefisien α :

- ³⁵ Untuk daerah pengaliran biasa α = 2

- Untuk bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $\alpha = 1,5$
- Untuk bagian hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $\alpha = 3$

2.4. Contoh Perhitungan Limpasan Banjir Perkotaan

Analisa hidrologi Perencanaan Sistem Drainase Di Kawasan Pemukiman Kampus data hujan di stasiun Jember yang tersedia selama 10 tahun. Dari data tersebut di cari data hujan maksimum harian.

2.4.1. Analisa Curah Hujan Harian Maksimum

Menurut Suripin 2004, di dapat hasil perhitungan curah hujan harian maksimum dapat dilihat pada Tabel 2.34

Tabel 2.3. Data curah hujan harian maksimum

No.	Kejadian			Hujan Harian Maksimum Tahunan
	Tahun	Bulan	Tanggal	
1	2001	1	17	45,00
2	2002	2	5	78,00
3	2003	5	10	96,00
4	2004	12	8	95,00
5	2005	12	22	92,00
6	2006	1	25	95,00
7	2007	12	26	67,00
8	2008	11	25	107,00
9	2009	1	29	106,00
10	2010	12	5	93,00

2.4.2. Analisa Frekuensi dan Distribusi Data Hujan Rancangan

Berdasarkan ketentuan nilai C_s sebesar -1,397, maka digunakan distribusi Log Person Tipe III. Hasil perhitungan analisa frekuensi dapat dilihat pada Tabel 4.2. Pada Tabel 4.3 merupakan hasil perhitungan curah hujan rancangan dengan metode Log Person Tipe III.

Tabel 2.4. Perhitungan analisa frekuensi data hujan Stasiun Jember

No.	Tahun	R _i	P	(R _i - R)	(R _i - R) ²	(R _i - R) ³	(R _i - R) ⁴
1	2001	45,00	9,09	-42,40	1797,76	-76225,02	3231941,02
2	2002	78,00	18,18	-9,40	88,36	-830,58	7807,49
3	2003	96,00	27,27	8,60	73,96	636,06	5470,08
4	2004	95,00	36,36	7,60	57,76	438,98	3336,22
5	2005	92,00	45,45	4,60	21,16	97,34	447,75
6	2006	95,00	54,55	7,60	57,76	438,98	3336,22
7	2007	67,00	63,64	-20,40	416,16	-8489,66	173189,15
8	2008	107,00	72,73	19,60	384,16	7529,54	147578,91
9	2009	106,00	81,82	18,60	345,96	6434,86	119688,32
10	2010	93,00	90,91	5,60	31,36	175,62	983,45
Rerata		87,400			3274,40	-69793,92	3693778,59
S	=	19,074					
Cs	=	-1,397					
Ck	=	1,75					
Cv	=	0,218					

Sumber : hasil perhitungan

Syarat pemilihan distribusi, nilai Cs harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Distribusi Normal = 0
2. Distribusi Log Normal = 2,5 Cv
3. Distribusi Gumbel = 1,1396 ; Ck = 5,4002
4. Distribusi Log Person III = yang tidak termasuk dalam syarat di atas

Tabel 2.5. Hasil perhitungan distribusi log Person tipe III

No.	Tahun	X	log X	(logX - log \bar{X})	(logX - log \bar{X}) ²	(logX - log \bar{X}) ³
1	2001	45	1,653	-0,276394	0,076393	-0,021115
2	2002	78	1,892	-0,037511	0,001407	-0,000053
3	2003	96	1,982	0,052665	0,002774	0,000146
4	2004	95	1,978	0,048118	0,002315	0,000111
5	2005	92	1,964	0,034182	0,001168	0,000040
6	2006	95	1,978	0,048118	0,002315	0,000111
7	2007	67	1,826	-0,103531	0,010719	-0,001110
8	2008	107	2,029	0,099778	0,009956	0,000993
9	2009	106	2,025	0,095700	0,009158	0,000876

10	2010	93	1,968	0,038877	0,001511	0,000059
Jumlah		874	19,296	0,000	0,118	-0,020
rata-rata		1,930				

Sumber : hasil perhitungan

$$S = \left(\frac{\sum (\log X - \overline{\log X})^2}{n - 1} \right)^{0,5}$$

$$S = \left(\frac{0,118}{10 - 1} \right)^{0,5} = 0,1143$$

$$G = \frac{\sum (\log X - \overline{\log X})^3}{(n - 1)(n - 2) \times S^3}$$

$$G = \frac{-0,020}{(10 - 1)(10 - 2) \times 0,1143^3} = -0,1851359$$

Pada Lampiran 3 dengan koefesien kemencengan $G = -0,18513$, maka harga K untuk periode ulang T tahun dapat diperoleh dengan interpolasi harga yang terdapat. Hasil perhitungan harga K dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Hasil perhitungan nilai K untuk distribusi Log-Person III

Kala Ulang	G	Dari Tabel		K
		Koef	% peluang	
2	-0,18513	0.00	0.000	0.0305
		-0.20	0.033	
5	-0,18513	0.00	0.842	0.8494
		-0.20	0.850	
10	-0,18513	0.00	1.282	1.2598
		-0.20	1.258	
25	-0,18513	0.00	1.751	1.6853
		-0.20	1.680	

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 2.7. Analisa probabilitas hujan dengan distribusi Log-Person III

No.	Kala ulang (tahun)	$\overline{\log X}$	K	S	$\log X_T$	Hujan rancangan (mm/detik)
1	2	1.9296	0.0305	0.1144	1.9331	85.7235
2	5	1.9296	0.8494	0.1144	2.0267	106.3408
3	10	1.9296	1.2598	0.1144	2.0737	118.4949
4	25	1.9296	1.6853	0.1144	2.1223	132.5256

Sumber : hasil perhitungan

2.4.3. Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi

Uji kecocokan distribusi dengan metode uji Smirnov Kolomogorov dapat dilihat pada Tabel 2.8, sedangkan Tabel 2.9 merupakan hasil perhitungan uji Chi Square.

Tabel 2.8 Uji Smirnov Kolomogorov

m	Pe (X)	X	Log X	G	Pr (%)	Pt (X)	Pe (X) - Pt (X)
1	0,0909	45,0000	1,6532	-2,4167	96,2012	0,0380	0,0529
2	0,1818	67,0000	1,8261	-0,9053	82,2608	0,1774	0,0044
3	0,2727	78,0000	1,8921	-0,3280	66,8667	0,3313	0,0586
4	0,3636	92,0000	1,9638	0,2989	46,6862	0,5331	0,1695
5	0,4545	93,0000	1,9685	0,3399	44,8572	0,5514	0,0969
6	0,5455	95,0000	1,9777	0,4207	41,2575	0,5874	0,0420
7	0,6364	95,0000	1,9777	0,4207	41,2575	0,5874	0,0489
8	0,7273	96,0000	1,9823	0,4605	39,4859	0,6051	0,1221
9	0,8182	106,0000	2,0253	0,8368	22,7218	0,7728	0,0454
10	0,9091	107,0000	2,0294	0,8724	21,1332	0,7887	0,1204
Jumlah			19,2961			Δ_{jumlah}	0.7612
Log X _{rerata}			1.9296			Δ_{maks}	0.1695
Simpangan Baku (S)			0.1144				
Koef Kemencengan (CS)			-1.3969				

Sumber : hasil perhitungan

Dari perhitungan di atas didapat nilai Δ_{maks} sebesar $0.1695 < \Delta_{cr}$ 0.322, maka distribusi log Person III dapat diterima.

Tabel 2.9. Data hujan harian maksimum tahunan rata-rata uji Chi-Square

No.	Tahun	X (mm)	X (urut)	log X
1	2001	45	45	1,6532
2	2002	78	67	1,8261
3	2003	96	78	1,8921
4	2004	95	92	1,9638
5	2005	92	93	1,9685
6	2006	95	95	1,9777
7	2007	67	95	1,9777
8	2008	107	96	1,9823
9	2009	106	106	2,0253
10	2010	93	107	2,0294
1	2001	45	45	1,6532
2	2002	78	67	1,8261
3	2003	96	78	1,8921
4	2004	95	92	1,9638
Jumlah				19,2961
Log X rerata				1,9296
Simpangan Baku (S)				0.1144
Koef Kemencengan (CS)				-1.3969

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 2.10. Uji Simpangan Chi-Square 1

No.	Pr	log Xrata2	Cs	G	S	Log X	X (mm)
1	75	1,9296	-1,3969	-0,5944	0,1144	1,86162	72,71533
2	50	1,9296	-1,3969	0,22449	0,1144	1,95528	90,21546
3	25	1,9296	-1,3969	0,78564	0,1144	2,01945	104,5823

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 2.11 Uji Simpangan Chi-Square 2

No.	batas kelas	jumlah data		Fe - Ft	(Fe - Ft) ^{2/Ft}
		Fe	Ft		
1	0 - 72,715	2	2,5	-0,5	0,1
2	72,715 - 90,215	1	2,5	-1,5	0,9
3	90,215 - 104,58	5	2,5	2,5	2,5
4	104,58 - dst	2	2,5	-0,5	0,1
jumlah		10	10		3,6

Sumber : hasil perhitungan

Ket :

Dari tabel Chi Square, untuk dk = 1 dan $\alpha = 5\%$ didapatkan nilai 3.841. Karena X^2_{hitung} sebesar $3,6 < 3.841$, maka distribusi log Person III dapat diterima.

2.4.4. Perhitungan Waktu Konsentrasi (tc)

Perhitungan waktu konsentrasi menggunakan persamaan 2.... Hasil perhitungan (tc) tiap-tiap saluran berbeda-beda tergantung panjang saluran serta beda tinggi dasar saluran. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 2.12. Hasil perhitungan waktu konsentrasi (tc)

No.	Nama Saluran	L (m)	ΔH (m)	S	tc	tc
					(menit)	(jam)
1	Jl. Karimata A	1125	3,918	0,003483	38,529	0,642
2	Jl. Karimata B	278	2,081	0,007486	9,781	0,163
3	Jl. Jawa C	450	1,320	0,002933	20,327	0,339
4	Jl. Jawa D	692	1,348	0,001948	33,146	0,552
5	Jl. Kalimantan E	1094	8,049	0,007357	28,274	0,471
6	Jl. Mastrip F	1225	5,145	0,004200	38,278	0,638
7	Jl. Mastrip G	516	4,626	0,008965	14,691	0,245

Sumber : Hasil perhitungan

2.8.5. Perhitungan Intensitas Hujan Rata-Rata (I)

Metode perhitungan intensitas hujan rata-rata menggunakan metode Mononobe dengan persamaan, hasil perhitungan intensitas hujan rata-rata disajikan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.13. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Karimata

No.	Kala Ulang (tahun)	Hujan Rancangan (mm)	Tc (A) (jam)	Tc (B) (jam)	I (A) (mm/jam)	I (B) (mm/jam)
1	2	85,7235	0,642	0,163	39,9276	99,5900
2	5	106,3408	0,642	0,163	49,5305	123,5424
3	10	118,4949	0,642	0,163	55,1916	137,6625
4	25	132,5256	0,642	0,163	61,7267	153,9628

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.14. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Jawa

No.	Kala Ulang (tahun)	Hujan Rancangan (mm)	Tc (A) (jam)	Tc (B) (jam)	I (A) (mm/jam)	I (B) (mm/jam)
1	2	85,7235	0,339	0,552	61,1525	44,1414
2	5	106,3408	0,339	0,552	75,8603	54,7578
3	10	118,4949	0,339	0,552	84,5306	61,0163
4	25	132,5256	0,339	0,552	94,5397	68,2411

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.15. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Kalimantan

No.	Kala Ulang (tahun)	Hujan Rancangan (mm)	Tc (jam)	I (mm/jam)
1	2	85,7235	0,471	49,0762078
2	5	106,3408	0,471	60,8794928
3	10	118,4949	0,471	67,8376447
4	25	132,5256	0,471	75,8701393

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.16. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Mastrip

No.	Kala Ulang (tahun)	Hujan Rancangan (mm)	Tc (A) (jam)	Tc (B) (jam)	I (A) (mm/jam)	I (B) (mm/jam)
1	2	85,7235	0,638	0,245	40,1019	75,9340
2	5	106,3408	0,638	0,245	49,7468	94,1969
3	10	118,4949	0,638	0,245	55,4325	104,9630
4	25	132,5256	0,638	0,245	61,9961	117,3914

Sumber : Hasil perhitungan

2.4.5. Memperkirakan Limpasan Banjir Perkotaan

Untuk menentukan debit banjir rencana ditinjau dengan kala ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun digunakan rumus Rasional pada persamaan. Hasil perhitungan debit banjir rencana ditunjukkan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.17. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Karimata A

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (A)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	39,928	0,0987	0,1338	0,492646	0,667842
2	5	0,45	49,531	0,0987	0,1338	0,611132	0,828464
3	10	0,45	55,192	0,0987	0,1338	0,68098	0,923153
4	25	0,45	61,727	0,0987	0,1338	0,761614	1,032461

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.18. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Karimata B

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (B)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	99,59004	0,0496	0,0584	0,617508	0,727065
2	5	0,45	123,5424	0,0496	0,0584	0,766024	0,901931
3	10	0,45	137,6625	0,0496	0,0584	0,853576	1,005017
4	25	0,45	153,9628	0,0496	0,0584	0,954646	1,124018

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.19. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Jawa C

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (C)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	61,1525	0,079	0,0873	0,603929	0,66738
2	5	0,45	75,8603	0,079	0,0873	0,74918	0,827891
3	10	0,45	84,5306	0,079	0,0873	0,834807	0,922514
4	25	0,45	94,5397	0,079	0,0873	0,933654	1,031747

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.20. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Jawa D

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (D)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	44,14138	0,11981	0,1238	0,661125	0,683143
2	5	0,45	54,7578	0,11981	0,1238	0,820132	0,847445
3	10	0,45	61,01628	0,11981	0,1238	0,913868	0,944302
4	25	0,45	68,24107	0,11981	0,1238	1,022077	1,056115

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.21. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Kalimantan E

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (E)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	49,07621	0,0681	0,0763	0,417795	0,468102
2	5	0,45	60,87949	0,0681	0,0763	0,518278	0,580685
3	10	0,45	67,83764	0,0681	0,0763	0,577514	0,647053
4	25	0,45	75,87014	0,0681	0,0763	0,645896	0,723669

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.22. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Mastrip F

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (F)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	40,1019	0,1342	0,1291	0,672763	0,647196
2	5	0,45	49,7468	0,1342	0,1291	0,834569	0,802852
3	10	0,45	55,4325	0,1342	0,1291	0,929955	0,894614
4	25	0,45	61,9961	0,1342	0,1291	1,040068	1,000543

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2.23. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Mastrip G

No.	Kala ulang (tahun)	C	I (mm/jam)	Luas saluran (G)		Q Banjir Rancangan	
				1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0,45	75,93402	0,0712	0,0693	0,675867	0,657831
2	5	0,45	94,19686	0,0712	0,0693	0,838419	0,816046
3	10	0,45	104,963	0,0712	0,0693	0,934245	0,909315
4	25	0,45	117,3914	0,0712	0,0693	1,044867	1,016984

Sumber : Hasil perhitungan

Bab 3

Hidrolika Saluran Drainase

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang karakteristik aliran pada saluran drainase, tipe-tipe aliran pada saluran drainase, jenis-jenis aliran pada saluran drainase, macam-macam penampang saluran drainase dan penjelasan tentang saluran drainase yang ekonomis, hidrolika aliran pada saluran drainase dan contoh perencanaan saluran drainase.

Relevansi

Limpasan permukaan (*run off*) sebelum menuju muara atau sungai terlebih dahulu masuk ke saluran drainase. Proses pengaliran air sangat bervariasi tergantung pada kemiringan saluran, bentuk saluran dan fluktuasi debit aliran. Aliran yang bervariasi dengan fluktuasi debit yang besar dapat menyebabkan luapan air atau banjir perkotaan.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami cara merencanakan dimensi saluran drainase dan dapat mengevaluasi kapasitas saluran drainase.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

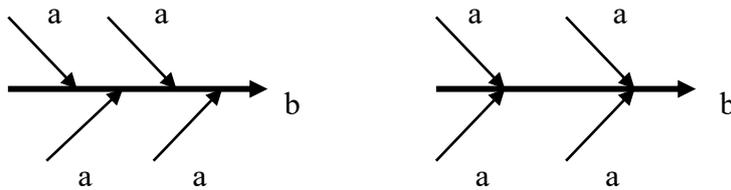
1. Memahami tipe-tipe aliran pada saluran drainase
2. Memahami jenis-jenis aliran pada saluran drainase
3. Memahami jenis-jenis penampang saluran drainase
4. Memahami cara menentukan kemiringan saluran drainase
5. Memahami metode perencanaan saluran drainase

3.1. Alternatif Tata Letak Saluran Drainase

Beberapa contoh model tata letak saluran yang dapat diterapkan dalam perencanaan jaringan irigasi meliputi: (H. A. Halim Hasmar; 2002 : 61).

a. Pola Alamiah (Sirip)

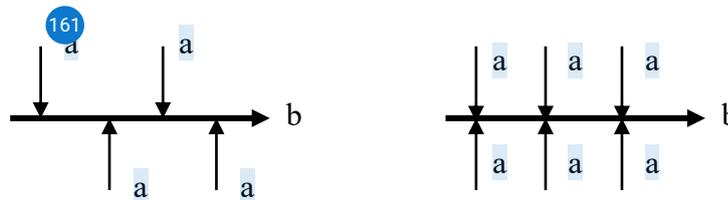
Letak *conveyor drain* (b) secara efektif berfungsi sebagai pengumpul dari anak cabang saluran yang ada (*collector drain*) (a), dimana *collector* dan *conveyor drain* merupakan saluran alamiah.



Gambar 3.1. Tata letak pola alamiah

b. Pola Siku

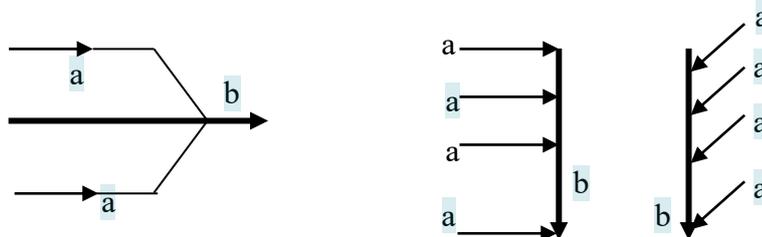
Conveyor drain (b) terletak dilembah dan merupakan saluran alamiah, dan *collector drain* tegak lurus *conveyor*.



Gambar 3.2. Tata letak pola siku

c. Pola Paralel

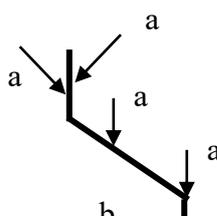
Collector drain (a) yang menampung debit dari sungai-sungai yang lebih kecil, dibuat sejajar satu sama lain, kemudian masuk kedalam *conveyor drain* (b).



Gambar 3.3. Tata letak pola paralel

d. Pola Grid Iron

Beberapa *interceptor drain* (a) dibuat satu sama lain sejajar, kemudian ditampung di *collector drain* (b) untuk selanjutnya masuk kedalam *conveyor drain* (c).

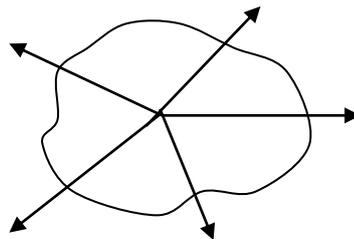


Gambar 3.4. Tata letak pola grid iron

28
e.

Pola radial

Suatu daerah genangan dikeringkan melalui beberapa Collector drain dari satu titik menyebar kesegala arah (sesuai kondisi topografi daerah).

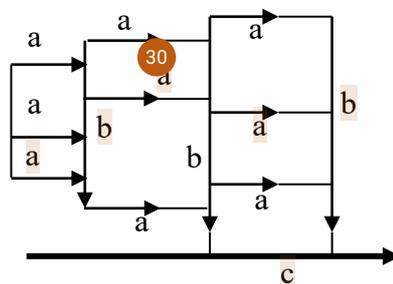


Gambar 3.5. Tata letak pola radial

69
1.

Pola Jaring-Jaring

Agar tidak terjadi pembebanan aliran dari suatu daerah terhadap daerah lainnya, maka dapat dibuat beberapa *interceptor drain* (a) yang kemudian ditampung dalam saluran *collector drain* (b), selanjutnya dialirkan menuju saluran *conveyer drain* (c)



Gambar 3.6. Tata letak pola jaring-jaring

93

Sesuai dengan fungsi dan system kerjanya, jenis saluran dapat dibedakan menjadi :

a. *Interceptor drain*

Yaitu saluran yang berfungsi sebagai pencegah terjadinya pembebanan aliran dari suatu daerah ke daerah lain di bawahnya. Letak relative sejajar dengan garis kontor.

b. *Collector drain*

36

Yaitu saluran yang berfungsi sebagai pengumpul debit banjir yang diperoleh dari saluran interceptor dan ³⁶ dibuang ke saluran conveyor.

c. *Conveyor drain*

Yaitu saluran yang berfungsi sebagai pembawa air buangan dari suatu daerah ke lokasi pembuangan tanpa harus membahayakan daerah yang dilalui.

¹⁰³ 3.2. Sifat-sifat aliran

Sifat-sifat aliran pada saluran terbuka ditentukan oleh kekentalan dan gravitasi. Tegangan permukaan air dalam keadaan tertentu dapat pula mempengaruhi perilaku aliran, tetapi pengaruh ini tidak terlalu besar.

a. Aliran laminar

Aliran saluran terbuka dikatakan lamier apabila ⁸⁰ gaya kekentalan (viscosity) relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya inersia sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap perilaku aliran. Butir-butir air bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus. dan selapis cairan tipis seolah-olah menggelincir diatas lapisan lain.

b. Aliran Turbulensi

Aliran saluran terbuka dikatakan turbulen apabila gaya kekentalan ³⁶ relatif lemah dibandingkan dengan gaya in-ersia. Butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar dan tidak tetap, walaupun butir-butir tersebut tetap bergerak maju didalam aliran secara keseluruhan.

c. Aliran transisi

Diantara keadaan laminer dan turbulen terdapat suatu campuran antara aliran laminer dan aliran turbulen yang disebut dengan aliran transisi. Pengaruh kekentalan terhadap kelembaman dapat dinyatakan dengan Angka Reynold yang dirumuskan ¹⁰³ sebagai berikut:

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan :

Re = Angka Reynold

V = Kecepatan Aliran

L = Panjang karakteristik

ν = Kekentalan Kinematik

Aliran laminar akan terjadi dalam aliran saluran terbuka untuk harga-harga bilangan Reynold Re lebih kecil dari 500 dan Aliran akan menjadi turbulen apabila Re lebih besar dari 1000. Panjang karakteristik yang ada pada angka Reynold adalah jari-jari hidrolis yaitu perbandingan antaralastampang basah dan keliling basah. Untuk aliran saluran terbuka, $Re = 4 R V/v$, dimana R adalah jari-jari hidraulik. Selain klasifikasi di atas aliran pada saluran terbuka dapat dibedakan berdasarkan kecepatan dan kedalaman aliran sebagai berikut:

a. Aliran Sub Kritis (mengalir)

Aliran disebut sub kritis apabila kedalam aliran diberi suatu gangguan seperti melemparkan batu ke dalam aliran dan terjadi penjalaran ke arah hulu seperti diperlihatkan pada gambar 3.2b. Aliran sub kritis dapat ditentukan berdasarkan Angka Froud (Fr). Kecepatan aliran (V) lebih kecil dari kecepatan rambat gelombang (\sqrt{gy}) dinyatakan dengan $Fr < 1$.

b. Aliran Super Kritis (meluncur)

Aliran disebut super kritis apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga aliran yang diberi gangguan seperti melemparkan batu ke dalam aliran menyebabkan penjalaran tidak ke hulu seperti diperlihatkan pada gambar 3.2d. Aliran super kritis dapat ditentukan berdasarkan Angka Froud (Fr). Kecepatan aliran (V) lebih besar dari kecepatan rambat gelombang (\sqrt{gy}) dinyatakan dengan $Fr > 1$

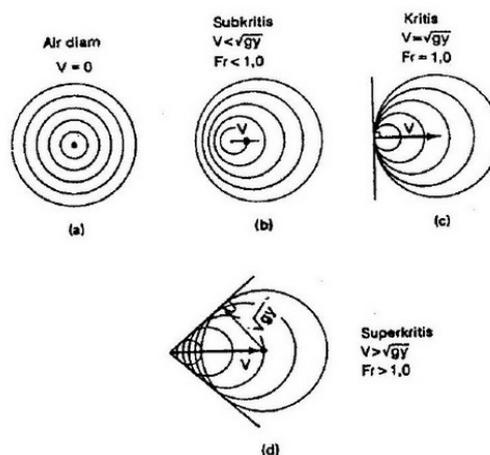
c. Aliran Kritis

Aliran kritis adalah aliran antara sub kritis dan super kritis di mana kecepatan aliran (V) sama dengan kecepatan rambat gelombang (\sqrt{gy}) seperti diperlihatkan pada gambar 3.2c. Aliran kritis dapat ditentukan berdasarkan Angka Froud (Fr) yaitu $Fr = 1$. Angka Froud (Fr) adalah perbandingan antara kecepatan aliran dengan kecepatan rambat gelombang yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

- Fr = Angka Froud
- V = Kecepatan aliran
- g = gravitasi
- y = Kedalaman aliran



Gambar 3.7. Pola Penjalaran Gelombang

3.3. Bentuk Saluran Yang Paling Ekonomis

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap. Debit maksimum di capai jika kecepatan aliran maksimum. Dari rumus Manning maupun Chezy dapat dilihat bahwa untuk kemiringan dasar dan kekasaran tetap, kecepatan maksimum dicapai jika jari-jari hidraulik, R , maksimum. selanjutnya untuk luas penampang tetap, jari-jari hidraulik maksimum jika keliling basah, P , minimum. kondisi seperti yang telah kita pahami tersebut memberi jalan untuk menentukan dimensi penampang melintang saluran yang ekonomis untuk berbagai macam bentuk, seperti di jabarkan berikut.

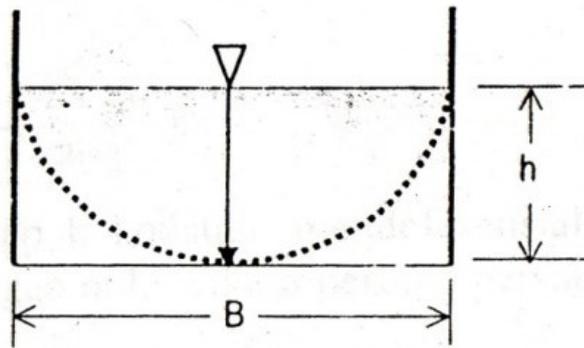
3.3.1 Bentuk Saluran Yang Paling Ekonomis

Pada penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar B dan kedalaman air h (Gambar....), luas penampang basah (A), dan keliling basah (P), dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = B \cdot h \dots\dots\dots (3.3)$$

atau

$$B = \frac{A}{h} \dots\dots\dots (3.4)$$



Gambar 3.8. Penampang Melintang Saluran Bentuk Persegi Panjang

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (3.5)$$

Substitusi persamaan (3,60) kedalam persamaan (3,61), maka di peroleh persamaan

$$P = \frac{A}{h} + 2h \dots\dots\dots (3.6)$$

6 Dengan asumsi luas penampang, A, adalah konstan, maka persamaan (3,6) dapat didifensialkan terhadap h dan di buat sama dengan nol untuk memperoleh harga p minimum.

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$A = 2h^2 = Bh \dots\dots\dots (3.8)$$

atau

$$B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2} \dots\dots\dots (3.9)$$

Jari-jari hidraulik

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \dots\dots\dots (3.10)$$

atau

$$R = \frac{2h^2}{2h+2h} = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (3.11)$$

Bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air.

3.3.2. Penampang Berbentuk Trapesium yang Ekonomis

Luas penampang melintang, A, dan keliling basah, P, saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapesium dengan lebar dasar B. Kedalaman aliran h, dan kemiringan dinding $I : m$ (gambar 3.18), dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$A = (B + mh) \cdot h \dots\dots\dots (3.12)$$

$$P = B + 2h\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (3.13)$$

atau

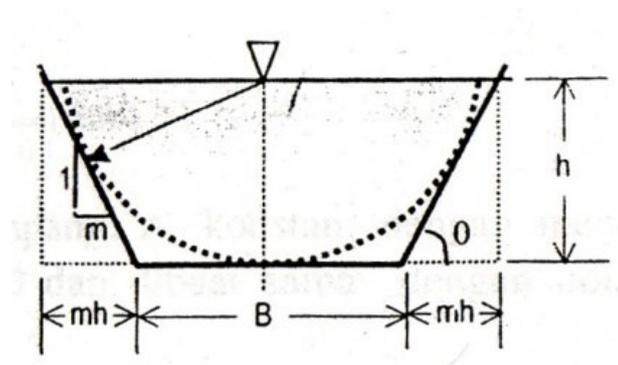
$$B = P - 2h\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (3.14)$$

Nilai B pada persamaan (3.12) di substitusikan kedalam persamaan (3.13), maka di peroleh persamaan berikut:

$$A = [P - 2h\sqrt{m^2 + 1}]h + mh^2 \dots\dots\dots (3.15)$$

atau

$$A = Ph - 2h^2\sqrt{m^2 + 1} + mh^2 \dots\dots\dots (3.16)$$



Gambar 3.9. Penampang Melintang Saluran Bentuk Trapesium

Diasumsikan bahwa luas penampang, A , dan kemiringan dinding, M , adalah konstan, maka persamaan (3.68) dapat di deferensialkan terhadap h dan di buat sama dengan nol untuk memperoleh kondisi p minimum.

$$\frac{dA}{dh} = P - 4h\sqrt{m^2 + 1} + 2mh = 0 \dots\dots\dots (3.17)$$

atau

$$P = 4\sqrt{m^2 + 1} - 2mh \dots\dots\dots (3.18)$$

Dengan menganggap h konstan, mendefersialkan persamaan (3.17) dan membuat sama dengan nol, maka di peroleh persamaan berikut:

$$\frac{dP}{dm} = \frac{1}{2} \left[4h \frac{2m}{\sqrt{m^2+1}} \right] - 2h = 0 \dots\dots\dots (3.19)$$

atau

$$\frac{2m}{\sqrt{m^2+1}} = 1 \dots\dots\dots (3.20)$$

$$4m^2 = 1 + 1m^2 ; m = \sqrt{\frac{1}{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (3.21)$$

Nilai m di substitusikan kedalam persamaan (3.20), maka persamaaan yang di peroleh adalah :

$$P = \frac{8}{3}h\sqrt{3} - \frac{2}{3}h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3} \dots\dots\dots (3.22)$$

Jika nilai m disubtitusikan kedalam persamaan (3.22), maka persamaan yang diperoleh adalah:

$$B = 2h\sqrt{3} - \frac{4}{3}h\sqrt{3} = \frac{2}{3}h\sqrt{3} \dots\dots\dots (3.23)$$

Selanjutnya, jika nilai m disubtitusikan kedalam persamaan (3.23), maka diperoleh persamaan berikut:

$$A = \left[\frac{2}{3}h\sqrt{3} + \frac{1}{3}h\sqrt{3} \right] h = h^2\sqrt{3} \dots\dots\dots (3.24)$$

Jadi, penampang trapesium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = (1/\sqrt{3})$, atau $\theta = 60^\circ$. trapesium yang berbentuk berupa setengah segienam beraturan (heksagonal).

3.3.3. Penampang Berbentuk Segitiga yang Ekonomis

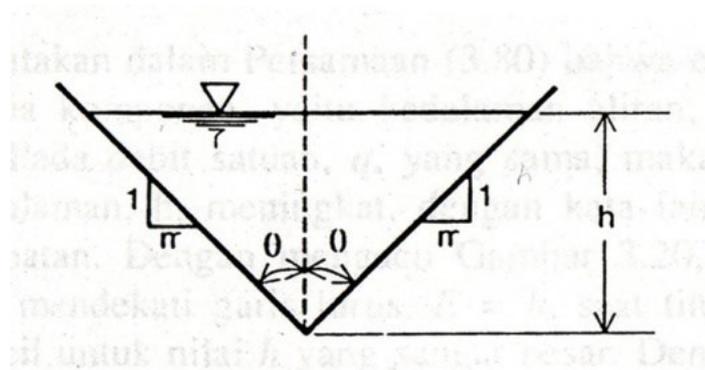
Pada potongan melintang saluran yang berbentuk segitiga dengan kemiringan sisi terhadap garis vertikal, θ , dan kedalaman air, h (gambar 3.19), maka penampang basah, A, dan keliling basah,P, dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = h^2 \tan\theta \dots\dots\dots (3.25)$$

atau

$$h = \sqrt{\frac{A}{\tan\theta}} \dots\dots\dots (3.26)$$

$$P = (2h)\sec\theta \dots\dots\dots (3.27)$$



Gambar 3.10. Penampang Melintang Saluran Bentuk Segitiga

Substitusi nilai h , dari persamaan (3.27) kedalam persamaan (3.28), maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{2\sqrt{A}}{\sqrt{\tan\theta}} (\sec\theta) \dots\dots\dots (3.29)$$

Pada luas penampang, A , konstan, dengan mendiferensialkan persamaan (3.30) terhadap θ dan dibuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dP}{d\theta} = 2\sqrt{A} \left[\frac{\sec\theta \tan\theta}{\sqrt{\tan\theta}} - \frac{\sec^3\theta}{2(\tan\theta)^{\frac{3}{2}}} \right] = 0 \dots\dots\dots (3.31)$$

atau

$$\sec\theta(\tan^2\theta - \sec^2\theta) = 0 \dots\dots\dots (3.32)$$

karena $\sec\theta \neq 0$, maka

$$2\tan^2\theta - \sec^2\theta = 0 \dots\dots\dots (3.33)$$

atau

$$\sqrt{2\tan\theta} = \sec\theta \dots\dots\dots (3.34)$$

Jadi, $\theta = 45^\circ$, atau $m = 1$

Dengan demikian, saluran berbentuk segitiga yang paling ekonomis adalah jika kemiringan dindingnya membentuk sudut 45° dengan garis vertikal.

3.4. Kecepatan Aliran

Apabila kecepatan aliran dalam saluran drainase terlalu besar maka akan terjadi pengikisan dinding saluran. Apabila kecepatan aliran dalam saluran terlalu kecil maka akan terjadi pengendapan dari butiran / partikel lumpur yang terbawa air (terjadi sedimentasi). Oleh karenanya harus dipilih kecepatan yang sedang, sesuai dengan jenis material dinding saluran. Seperti disajikan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Tabel kecepatan aliran

Jenis material dinding saluran	Batas kecepatan aliran (m/dt)	
	Min	Max
Beton	0.6	3
Aspal	0.6	1.5
Pasangan batu pecah dan batu bata	0.6	1.8
Campuran kerikil dan lempung	0.6	1.0
Campuran pasir kasar, kerikil, dan tanah	0.3	0.6
Campuran pasir halus dan tanah lumpur	0.1	0.2

3.5. Kemiringan Dasar Saluran

Penentuan kemiringan dasar saluran diusahakan mengikuti kemiringan permukaan kontur tanah didaerah rencana. Apabila kemiringan terlalu terjal maka harus dibuat konstruksi pemecah gaya terjun pada tempat-tempat tertentu yang dimungkinkan, sehingga dinding dasar saluran tidak mudah rusak.

$$\frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} = 1 \dots\dots\dots (3.35)$$

$$4m^2 = 1 + m^2 ; \quad m = \sqrt{\frac{1}{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (3.36)$$

$$3m^2 = 1 \dots\dots\dots (3.37)$$

3.6. Koefisien Kekasaran

Untuk menentukan besarnya koefisien kekasaran dinding digunakan koefisien-koefisien manning seperti disajikan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Tabel Koefisien Kekasaran Manning

Tipe Saluran	Kondisi		
	Baik	Cukup	Buruk
Saluran Buatan :			
1. Saluran tanah, lurus beraturan	0.020	0.023	0.250
2. Saluran tanah, digali biasanya	0.028	0.030	0.025
3. Saluran batuan, tidak lurus, tidak aturan	0.040	0.045	0.045
4. Saluran batuan, lurus beraturan	0.030	0.035	0.035
5. Saluran batuan, vegetasi pada sisinya	0.030	0.035	0.040
6. dasar tanah, sisi batuan koral	0.030	0.030	0.040
7. Saluran berliku-liku kecepatan rendah	0.025	0.028	0.030
Saluran Alam :			
1. Bersih, lurus, tetapi tanpa pasir dan celah	0.028	0.030	0.033
2. Berliku, bersih, tetapi berpasir dan berlubang	0.035	0.040	0.045
3. Idem 2, tidak dalam, kurang beraturan	0.045	0.050	0.065
4. Aliran lambat, banyak tanaman dan lubang dalam	0.060	7.000	0.080

5. Tumbuh tinggi dan padat	0.100	0.125	0.150
Saluran dilapisi			
1. Batu kosong tanpa adukan semen	0.030	0.033	0.035
2. Idem 1, dengan adukan semen	0.020	0.025	0.030
3. Lapisan beton sangat halus	0.011	0.012	0.013
4. Lapisan beton biasa dengan tulangan baja	0.014	0.014	0.015
5. Idem 4, tetapi tulangan kayu	0.016	0.016	0.018

Sumber: Imam Subarkah (1980: 79)

3.7. Hidrolik Saluran

Untuk menghitung saluran drainase pada penampang saluran sebagai laju kecepatan air yang akan dialirkan. Untuk menentukan dimensi saluran drainase digunakan rumus umum yaitu :

$$Q = AxV \dots\dots\dots (3.38)$$

Dengan :

$$Q = \text{Debit aliran dalam saluran (m}^3\text{/dt)}$$

$$A = \text{Penampang dasar saluran (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)}$$

Sebagai acuan untuk menghitung kekasaran dinding pada penampang saluran yang ada di lokasi bandara. Rumus tersebut kemudian berkembang sesuai dengan penggunaan koefisien kekasaran dindingnya.

Untuk Manning :

$$V = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3.39)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (3.40)$$

Dengan :

$$V = \text{Kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)}$$

n = Koefisien kekasaran manning

R = Radius hidrolik (m)

A = Luas penampang basah (m²)

P = Keliling basah (m)

I = Kemiringan dasar saluran

Rumus Chezy digunakan sebagai perhitungan kecepatan aliran air yang akan dibuang. Untuk menghitung kecepatan aliran digunakan rumus sebagai berikut:

Untuk Chezy :

$$V = C\sqrt{R \cdot I} \dots\dots\dots (3.41)$$

Dengan :

V = Kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)

C = Koefisien pengaliran

R = Radius hidrolik (m)

I = Kemiringan dasar saluran

Untuk menentukan saluran tertutup (gorong-gorong) digunakan bangunan yang meneruskan aliran buangan yang melintas dibawah tanah.

3.8. Aliran Melalui Gorong-Gorong

Bangunan gorong-gorong ini dimaksudkan untuk meneruskan aliran air buangan yang melintas dibawah jalan raya. Dalam merencanakan gorong-gorong ini perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- harus cukup besar untuk melewati debit air maksimum dari daerah pengaliran secara efisien
- Kemiringan dasar gorong-gorong dibuat lebih besar dari saluran pembuangannya, dimaksudkan agar dapat menggelontor sedimen.
- Keadaan aliran pada gorong-gorong, dikenal ada 2 keadaan aliran gorong-gorong yakni : kendali inlet dan kendali outlet

Untuk setiap jenis pengendalian, rumus serta faktor yang berlainan harus digunakan.

Adapun rumus-rumusya sebagai berikut:

Rumus untuk gorong-gorong kotak yang pendek yang berpengendalian inlet telah diberikan oleh Henderson FM " Open Chanel Flow" (1 966). yaitu:

- a. Bila $H_w/D < 1,2$ kira-kira permukaan air pada bagian masuk tidak akan menyinggung bagian atas dari lubang gorong-gorong oleh karena itu arus menjadi kritis. Oleh karena itu debit maka debitnya adalah:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_b \cdot B \cdot H_w \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H \cdot W} \dots\dots\dots (3.42)$$

Dengan :

B = lebar lubang

C_b = koefisien yang menyatakan pengaruh

Apabila tepi vertikalnya dibuat bulat dengan radius 0.1 B atau lebih, maka tidak akan ada penyempitan samping dan C_b = 1, Bila tepi vertikalnya dibiarkan tetap persegi: C_b = 0,9.

- b. Apabila $H_w/D > 1,2$ kira-kira permukaan air akan me-nyentuh bagian atas lubang gorong-gorong, dan un-tuk nilai atau nilai yang lebih besar dari 4, maka tempat masuk gorong-gorong akan berlalu pintu geser. Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa pengaruh kombi-nasi dari penyempitan vertikal maupun horizontal dapat diutarakan sebagai satu koefisien penyempitan, C_b, di bidang tegak, yang untuk dasar langit-langit yang dibulatkan dan tepi vertikal adalah 0,8, sedangkan untuk tepi persegi adalah 0.6. Debit bisa dihitung berdasarkan asumsi tersebut dengan memakai persamaan:

$$Q = C_n \cdot B \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (H_w - C_n \cdot D)} \dots\dots\dots (3.43)$$

3.9. Contoh Perhitungan

Perhitungan waktu konsentrasi menggunakan persamaan 2.39. Hasil perhitungan (tc) tiap-tiap saluran berbeda-beda tergantung panjang saluran serta beda tinggi dasar saluran. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil perhitungan waktu konsentrasi (tc)

No.	Nama Saluran	L (m)	ΔH (m)	S	tc (menit)	tc (jam)
1	Jl. Karimata A	200	1.382	0.006910	7.828	0.130
2	Jl. Karimata B	725	1.727	0.002382	31.796	0.530
3	Jl. Karimata C	478	1.272	0.002661	22.108	0.368
4	Jl. Jawa D	450	1.320	0.002933	20.327	0.339
5	Jl. Jawa E	692	1.348	0.001948	33.146	0.552
6	Jl. Kalimantan F	1094	8.049	0.007357	28.274	0.471
7	Jl. Mastrip G	1225	5.145	0.004200	38.278	0.638
7	Jl. Mastrip H	516	4.626	0.008965	14.691	0.245

Sumber : Hasil perhitungan

a). Perhitungan Intensitas Hujan Rata-Rata (I)

Metode perhitungan intensitas hujan rata-rata menggunakan metode Mononobe dengan persamaan 2.38 hasil perhitungan intensitas hujan rata-rata disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.4. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Karimata

No.	Kala Ulang (th)	Hujan Rancangan (mm)	Tc (A) (jam)	Tc (B) (jam)	Tc (C) (jam)	I (A) (mm/jam)	I (B) (mm/jam)	I (C) (mm/jam)
1	2	85.723	0.130	0.530	0.368	115.534	45.382	57.822
2	5	106.340	0.130	0.530	0.368	143.321	56.297	71.729
3	10	118.494	0.130	0.530	0.368	159.702	62.731	79.928
4	25	132.525	0.130	0.530	0.368	178.612	70.159	89.392

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.5. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Jawa

No.	Kala Ulang (th)	Hujan Rancangan (mm)	Tc (D) (jam)	Tc (E) (jam)	I (D) (mm/jam)	I (E) (mm/jam)
1	2	85.7235	0.339	0.552	61.1525	44.1414
2	5	106.3408	0.339	0.552	75.8603	54.7578
3	10	118.4949	0.339	0.552	84.5306	61.0163
4	25	132.5256	0.339	0.552	94.5397	68.2411

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.6. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Kalimantan

No.	Kala Ulang	Hujan Rancangan	Tc (F)	I (F)
	(th)	(mm)	(jam)	(mm/jam)
1	2	85.7235	0.471	49.0762078
2	5	106.3408	0.471	60.8794928
3	10	118.4949	0.471	67.8376447
4	25	132.5256	0.471	75.8701393

Sumber : Hasil perhitungan

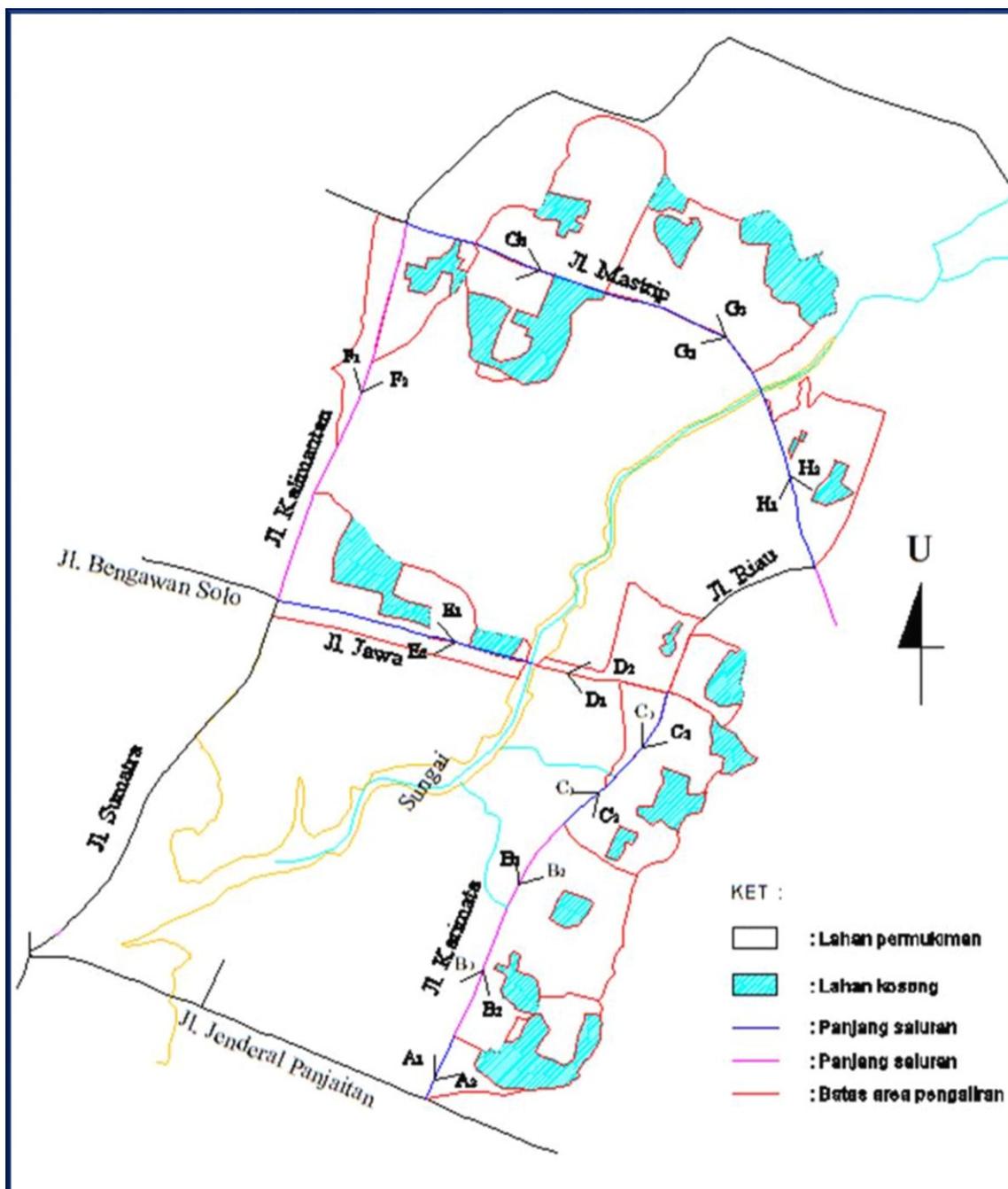
Tabel 3.7. Hasil perhitungan Intensitas hujan rata-rata Jl. Mastrip

No.	Kala Ulang	Hujan Rancangan	Tc (G)	Tc (H)	I (G)	I (H)
	(th)	(mm)	(jam)	(jam)	(mm/jam)	(mm/jam)
1	2	85,7235	0,638	0,245	40,1019	75,9340
2	5	106,3408	0,638	0,245	49,7468	94,1969
3	10	118,4949	0,638	0,245	55,4325	104,9630
4	25	132,5256	0,638	0,245	61,9961	117,3914

Sumber : Hasil perhitungan

b). Menghitung Koef Tata Guna Lahan (C)

Dalam perencanaan sistem drainase dikawasan kampus terdapat 3 macam pola tata guna lahan, diantaranya permukiman, lahan kosong/ halaman, dan jalan (aspal), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1. Untuk menyeragamkan pola tata guna lahan tersebut, maka koefisien tata guna lahan dihitung dengan persamaan 2.40 yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.7.



Gambar 3.11

Pola tata guna lahan daerah drainase kawasan kampus

Tabel 3.8. Hasil perhitungan koef tata guna lahan

No.	Nama Saluran	Luas Area			C
		Jalan	Permukiman	Tanah kosong	
		0.70	0.50	0.15	
1	Jl. Karimata A1	1006.74	10067.35	0	0.518
2	Jl. Karimata A2	1006.74	47758.30	43129.29	0.338
3	Jl. Karimata B1	3584.52	35845.15	0	0.518
4	Jl. Karimata B2	3584.52	159217.60	21453.02	0.463
5	Jl. Karimata C1	2539.88	25398.75	0	0.518
6	Jl. Karimata C2	2539.88	103766.76	34726.14	0.417
7	Jl. Jawa D1	1963.02	21988.74	0	0.516
8	Jl. Jawa D2	1963.02	82375.40	16717.47	0.446
9	Jl. Jawa E1	3847.07	92140.68	44072.90	0.395
10	Jl. Jawa E2	3847.07	37533.84	0	0.519
11	Jl. Kalimantan F1	5910.00	44404.32	0	0.523
12	Jl. Kalimantan F2	5910.00	44916.50	14133.55	0.442
13	Jl. Mastrip G1	1657.43	143167.90	12163.60	0.475
14	Jl. Mastrip G2	3679.73	187257.33	71566.10	0.407
15	Jl. Mastrip G3	2022.30	143638.35	64450.67	0.395
16	Jl. Mastrip H1	2581.80	25817.95	0	0.518
17	Jl. Mastrip H2	2581.80	86686.50	9714.14	0.471

Sumber : Hasil perhitungan

c). **Memperkirakan Debit Banjir Rencana**

Untuk menentukan debit banjir rencana ditinjau dengan kala ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun digunakan rumus Rasional pada persamaan 2.37. Hasil perhitungan debit banjir rencana ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.9. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Karimata A

No.	Kala ulang (tahun)	C A1	C A2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (A)		Q Banjir Rancangan	
					1	2	1	2
					(km ²)	(km ²)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)
1	2	0.5182	0.3379	115.5344	0.0111	0.0919	0.1842	0.9967
2	5	0.5182	0.3379	143.3215	0.0111	0.0919	0.2285	1.2364
3	10	0.5182	0.3379	159.7022	0.0111	0.0919	0.2546	1.3777
4	25	0.5182	0.3379	178.6122	0.0111	0.0919	0.2847	1.5408

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.10. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Karimata B

No.	Kala ulang (tahun)	C B1	C B2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (B)		Q Banjir Rancangan	
					1	2	1	2
					(km ²)	(km ²)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)
1	2	0.5182	0.4631	45.3822	0.0394	0.1843	0.2576	1.0758
2	5	0.5182	0.4631	56.2970	0.0394	0.1843	0.3195	1.3346
3	10	0.5182	0.4631	62.7314	0.0394	0.1843	0.3561	1.4871
4	25	0.5182	0.4631	70.1593	0.0394	0.1843	0.3982	1.6632

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.11. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Karimata C

No.	Kala ulang (tahun)	C C1	C C2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (C)		Q Banjir Rancangan	
					1	2	1	2
					(km ²)	(km ²)	(m ³ /dt)	(m ³ /dt)
1	2	0.5182	0.4174	57.8228	0.0279	0.1410	0.2326	0.9456
2	5	0.5182	0.4174	71.7298	0.0279	0.1410	0.2885	1.1731
3	10	0.5182	0.4174	79.9280	0.0279	0.1410	0.3215	1.3072
4	25	0.5182	0.4174	89.3921	0.0279	0.1410	0.3595	1.4619

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.12. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Jawa D

No.	Kala ulang (tahun)	C D1	C D2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (D)		Q Banjir Rancangan	
					1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0.5164	0.4460	61.1525	0.0240	0.1011	0.2101	0.7656
2	5	0.5164	0.4460	75.8603	0.0240	0.1011	0.2607	0.9498
3	10	0.5164	0.4460	84.5306	0.0240	0.1011	0.2904	1.0583
4	25	0.5164	0.4460	94.5397	0.0240	0.1011	0.3248	1.1837

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.13. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Jawa E

No.	Kala ulang (tahun)	C E1	C E2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (E)		Q Banjir Rancangan	
					1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0.3954	0.5186	44.1414	0.1401	0.0414	0.6790	0.2632
2	5	0.3954	0.5186	54.7578	0.1401	0.0414	0.8423	0.3264
3	10	0.3954	0.5186	61.0163	0.1401	0.0414	0.9386	0.3638
4	25	0.3954	0.5186	68.2411	0.1401	0.0414	1.0497	0.4068

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.14. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Kalimantan F

No.	Kala ulang (tahun)	C F1	C F2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (F)		Q Banjir Rancangan	
					1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0.5235	0.4420	49.0762	0.0503	0.0650	0.3591	0.3915
2	5	0.5235	0.4420	60.8795	0.0503	0.0650	0.4455	0.4856
3	10	0.5235	0.4420	67.8376	0.0503	0.0650	0.4964	0.5411
4	25	0.5235	0.4420	75.8701	0.0503	0.0650	0.5551	0.6052

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.15. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Mastrip G

No.	Kala ulang (tahun)	C G1	C G2	C G3	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (G)			Q Banjir Rancangan		
						1 (km ²)	2 (km ²)	3 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)	3 (m ³ /dt)
1	2	0.47	0.40	0.39	40.101	0.157	0.262	0.210	0.830	1.191	0.923
2	5	0.47	0.40	0.39	49.746	0.157	0.262	0.210	1.030	1.477	1.145
3	10	0.47	0.40	0.39	55.432	0.157	0.262	0.210	1.148	1.646	1.276
4	25	0.47	0.40	0.39	61.996	0.157	0.262	0.210	1.284	1.841	1.427

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.16. Hasil perhitungan debit banjir rencana di jalan Mastrip H

No.	Kala ulang (tahun)	C H1	C H2	I (mm/jam)	Luas Area Sal. (H)		Q Banjir Rancangan	
					1 (km ²)	2 (km ²)	1 (m ³ /dt)	2 (m ³ /dt)
1	2	0.5182	0.4709	75.9340	0.0284	0.0990	0.3104	0.9832
2	5	0.5182	0.4709	94.1969	0.0284	0.0990	0.3851	1.2196
3	10	0.5182	0.4709	104.9630	0.0284	0.0990	0.4291	1.3590
4	25	0.5182	0.4709	117.3914	0.0284	0.0990	0.4799	1.5199

Sumber : Hasil perhitungan

d) Kemiringan Dasar Saluran (I)

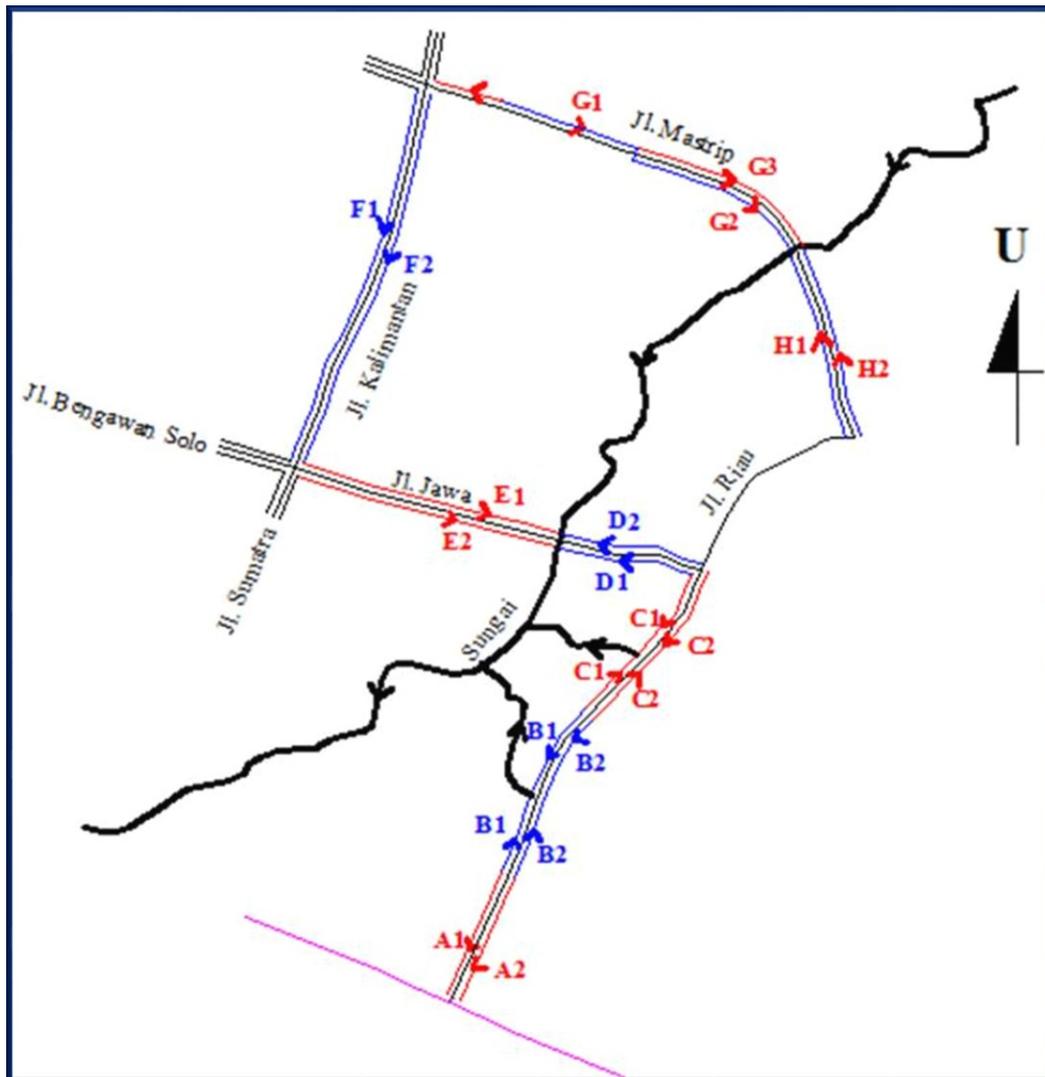
Hasil perhitungan dasar saluran dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 3.17. Hasil perhitungan kemiringan dasar saluran (I)

No.	Nama Saluran	L (m)	ΔH (m)	I
1	Jl. Karimata A	1125	3,918	0,003483
2	Jl. Karimata B	278	2,081	0,007486
3	Jl. Jawa C	450	1,320	0,002933
4	Jl. Jawa D	692	1,348	0,001948
5	Jl. Kalimantan E	1094	8,049	0,007357
6	Jl. Mastrip F	1225	5,145	0,004200
7	Jl. Mastrip G	516	4,626	0,008965

Sumber : Hasil perhitungan

Pola jaringan drainase yang ada di wilayah kampus dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 3.12

Pola jaringan drainase di wilayah kampus

e). Dimensi Saluran

Dalam perencanaan jaringan drainase, terlebih dahulu harus mengetahui debit maksimum yang dapat ditampung oleh saluran yang ada. Apabila debit maksimum saluran yang ada lebih kecil dari debit rencana, maka perlu adanya perencanaan dimensi yang dapat menampung debit rencana. Tabel 4.12 merupakan hasil perhitungan debit maksimum dimensi saluran existing.

Dari hasil perhitungan debit maksimum dimensi saluran existing dapat dilihat hampir semua saluran yang ada sudah tidak mampu lagi mengalirkan debit bajir rencana

25 tahun. Oleh karena itu perlu adanya perencanaan dimensi baru yang dapat menampung debit banjir rencana. Tabel 3.18 merupakan hasil perhitungan perencanaan dimensi baru.

Tabel 3.18. Hasil perhitungan debit maksimum dimensi saluran existing bentuk persegi

37 No	Nama Saluran	b m	h m	H m	A m ²	P m	R	n	I	V m/s ²	Fr	Q sal. m ³ /s	Q ren m ³ /s
1	Jl. Karimata A1	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0069	0.7757	0.3916	0.2172	0.2847
2	Jl. Karimata A2	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0069	0.7757	0.3916	0.2172	1.5408
3	Jl. Karimata B1	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0024	0.4555	0.2299	0.1275	0.3982
4	Jl. Karimata B2	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0024	0.4555	0.2299	0.1275	1.6632
5	Jl. Karimata C1	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0027	0.4814	0.2430	0.1348	0.3595
6	Jl. Karimata C2	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0027	0.4814	0.2430	0.1348	1.4619
7	Jl. Jawa D1	0.8	0.5	0.125	0.40	1.80	0.222	0.035	0.0029	0.5677	0.2563	0.2271	0.3248
8	Jl. Jawa D2	0.8	0.5	0.125	0.40	1.80	0.222	0.035	0.0029	0.5677	0.2563	0.2271	1.1837
9	Jl. Jawa E1	0.8	0.5	0.125	0.40	1.80	0.222	0.035	0.0019	0.4626	0.2089	0.1851	1.0497
10	Jl. Jawa E2	0.8	0.5	0.125	0.40	1.80	0.222	0.035	0.0019	0.4626	0.2089	0.1851	0.4068

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.19. Hasil perhitungan debit maksimum dimensi saluran existing bentuk **trapesium**

No	59 Nama Saluran	b m	h m	m	T m	H m	A m ²	P m	R	n	I	V m/s ²	Fr	Q sal. m ³ /s	Q ren m ³ /s
1	Jl. Kalimantan F1	0.8	0.6	0.5	1.4	0.150	0.66	2.14	0.308	0.035	0.0074	1.1181	0.4609	0.7380	0.5551
2	Jl. Kalimantan F2	0.8	0.6	0.5	1.4	0.150	0.66	2.14	0.308	0.035	0.0074	1.1181	0.4609	0.7380	0.6052
3	Jl. Mastrip G1	1.2	0.5	0.5	1.7	0.125	0.73	2.32	0.313	0.035	0.0042	0.8532	0.3852	0.6185	1.2843
4	Jl. Mastrip G2	1.2	0.5	0.5	1.7	0.125	0.73	2.32	0.313	0.035	0.0042	0.8532	0.3852	0.6185	1.8418
5	Jl. Mastrip G3	1.2	0.5	0.5	1.7	0.125	0.73	2.32	0.313	0.035	0.0042	0.8532	0.3852	0.6185	1.4278
6	Jl. Mastrip H1	1	0.5	0.5	1.5	0.125	0.63	2.12	0.295	0.035	0.0090	1.1991	0.5414	0.7494	0.4799
7	Jl. Mastrip H2	1	0.5	0.5	1.5	0.125	0.63	2.12	0.295	0.035	0.0090	1.1991	0.5414	0.7494	1.5199

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.20. Hasil perhitungan perencanaan dimensi baru bentuk persegi

37 No	Nama Saluran	b m	h m	H m	A m ²	P m	R	n	I	V m/s ²	Fr	Q sal. m ³ /s	Q ren m ³ /s
1	Jl. Karimata A1	0.7	0.4	0.100	0.28	1.50	0.187	0.035	0.0150	1.1429	0.5770	0.3200	0.2847
2	Jl. Karimata A2	1.4	0.7	0.175	0.98	2.80	0.350	0.035	0.0125	1.5865	0.6054	1.5547	1.5408
3	Jl. Karimata B1	0.7	0.5	0.125	0.35	1.70	0.206	0.035	0.0150	1.2201	0.5509	0.4270	0.3982
4	Jl. Karimata B2	1.4	0.85	0.213	1.19	3.10	0.384	0.035	0.0100	1.5091	0.5226	1.7958	1.6632
5	Jl. Karimata C1	0.7	0.5	0.125	0.35	1.70	0.206	0.035	0.0150	1.2201	0.5509	0.4270	0.3595
6	Jl. Karimata C2	1.3	0.75	0.188	0.98	2.80	0.348	0.035	0.0125	1.5811	0.5829	1.5415	1.4619
7	Jl. Jawa D1	0.8	0.5	0.125	0.40	1.80	0.222	0.035	0.0150	1.2838	0.5797	0.5135	0.3248
8	Jl. Jawa D2	1.2	0.7	0.175	0.84	2.60	0.323	0.035	0.0125	1.5040	0.5740	1.2634	1.1837
9	Jl. Jawa E1	1.2	0.6	0.150	0.72	2.40	0.300	0.035	0.0150	1.5682	0.6464	1.1291	1.0497
10	Jl. Jawa E2	0.8	0.5	0.125	0.40	1.80	0.222	0.035	0.0150	1.2838	0.5797	0.5135	0.4068

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.21. Hasil perhitungan perencanaan dimensi baru bentuk **trapesium**

No	59 Nama Saluran	b m	h m	m	T m	H m	A m ²	P m	R	n	I	V m/s ²	Fr	Q sal. m ³ /s	Q ren m ³ /s
1	Jl. Kalimantan F1	0.8	0.6	0.5	1.40	0.150	0.66	2.14	0.308	0.035	0.0074	1.1181	0.4609	0.7380	0.5551
2	Jl. Kalimantan F2	0.8	0.6	0.5	1.40	0.150	0.66	2.14	0.308	0.035	0.0074	1.1181	0.4609	0.7380	0.6052
3	Jl. Mastrip G1	1.2	0.6	0.5	1.80	0.150	0.90	2.54	0.354	0.035	0.0125	1.5988	0.6590	1.4390	1.2843
4	Jl. Mastrip G2	1.2	0.75	0.5	1.95	0.188	1.18	2.88	0.411	0.035	0.0100	1.5783	0.5819	1.8644	1.8418
5	Jl. Mastrip G3	1.2	0.6	0.5	1.80	0.150	0.90	2.54	0.354	0.035	0.0125	1.5988	0.6590	1.4390	1.4278
6	Jl. Mastrip H1	1	0.5	0.5	1.50	0.125	0.63	2.12	0.295	0.035	0.0090	1.1991	0.5414	0.7494	0.4799
7	Jl. Mastrip H2	1.2	0.65	0.5	1.85	0.163	0.99	2.65	0.374	0.035	0.0110	1.5543	0.6155	1.5407	1.5199

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3.22. Perbandingan kondisi existing dan hasil perencanaan

No.	Uraian	Q ren	Dimensi Existing		Kesimpulan	Dimensi Rencana		Dokumentasi
			b	h		b	h	
1	Jl. Karimata A1	0.285	0.7	0.4	kemiringan terlalu landai	0.7	0.4	
2	Jl. Karimata A2	1.541	0.7	0.4	dimensi kurang besar	1.4	0.7	

No.	Uraian	Q ren	Dimensi Existing		Kesimpulan	Dimensi Rencana		Dokumentasi
			b	h		b	h	
3	Jl. Karimata B1	0.398	0.7	0.4	dimensi kurang besar	0.7	0.5	
4	Jl. Karimata B2	1.663	0.7	0.4	dimensi kurang besar	1.4	0.85	
5	Jl. Karimata C1	0.360	0.7	0.4	dimensi kurang besar	0.7	0.5	

No.	Uraian	Q ren	Dimensi Existing		Kesimpulan	Dimensi Rencana		Dokumentasi
			b	h		b	h	
6	Jl. Karimata C2	1.462	0.7	0.4	dimensi kurang besar	1.3	0.75	
7	Jl. Jawa D1	0.325	0.8	0.5	kemiringan terlalu landai	0.8	0.5	
8	Jl. Jawa D2	1.184	0.8	0.5	dimensi kurang besar	1.2	0.7	

No.	Uraian	Q ren	Dimensi Existing		Kesimpulan	Dimensi Rencana		Dokumentasi
			b	h		b	h	
9	Jl. Jawa E1	1.050	0.8	0.5	dimensi kurang besar	1.2	0.6	
10	Jl. Jawa E2	0.407	0.8	0.5	kemiringan terlalu landai	0.8	0.5	
11	Jl. Kalimantan F1	0.555	0.8	0.6	Normal	0.8	0.6	

No.	Uraian	Q ren	Dimensi Existing		Kesimpulan	Dimensi Rencana		Dokumentasi
			b	h		b	h	
12	Jl. Kalimantan F2	0.605	0.8	0.6	Normal	0.8	0.6	
13	Jl. Mastrip G1	1.284	1.2	0.5	dimensi kurang besar	1.2	0.6	
14	Jl. Mastrip G2	1.842	1.2	0.5	dimensi kurang besar	1.2	0.75	

No.	Uraian	Q ren	Dimensi Existing		Kesimpulan	Dimensi Rencana		Dokumentasi
			b	h		b	h	
15	Jl. Mastrip G3	1.428	1.2	0.5	dimensi kurang besar	1.2	0.6	
16	Jl. Mastrip H1	0.480	1	0.5	Normal	1	0.5	
17	Jl. Mastrip H2	1.520	1	0.5	Normal	1.2	0.65	

Bab 4

Teknologi Biopori

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang teknologi biopori untuk mengatasi banjir perkotaan, konsep bio pori, manfaat bio pori, macam-macam lubang bio pori, cara pembuatan lubang bio pori, konstruksi lubang bio pori, cara menentukan koefisien permeabilitas tanah dan cara merencanakan lubang bio pori.

Relevansi

Limpasan permukaan (*run off*) saat melewati saluran drainase mengalami luapan sehingga terjadi banjir perkotaan. Untuk mengurangi efek banjir perkotaan dapat direncanakan lubang bio pori. Proses perencanaan lubang bio pori meliputi perhitungan besaran sisa run off, pengujian permeabilitas tanah, penentuan jumlah dan konstruksi lubang bio pori.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami cara merencanakan tata letak, jumlah lubang bio pori dan konstruksi lubang bio pori.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

1. Memahami konsep pemanfaatan bio pori
2. Memahami manfaat lubang bio pori
3. Mengenal macam-macam konstruksi-konstruksi bio pori
4. Memahami cara menentukan permeabilitas tanah
5. Memahami cara menentukan tata letak lubang bio pori
6. Memahami cara menentukan jumlah lubang bio pori
7. Memahami cara membuat lubang bio pori
8. Memahami cara merencanakan lubang bio pori

4.1. Umum

Peningkatan jumlah penduduk serta pesatnya pembangunan pemukiman serta sarana dan prasarana fisik perkotaan telah mengakibatkan berkurangnya ruang terbuka. Hal ini menyebabkan berkurangnya permukaan lahan yang dapat digunakan untuk tempat pembuangan sampah sementara (TPS) maupun tempat pemrosesan akhir (TPA). Di lain pihak, peningkatan jumlah penduduk juga mengakibatkan peningkatan volume sampah yang dihasilkan. Pembuangan sampah organik yang tercampur dengan sampah non-organik baik di TPS dan TPA dapat menghambat proses pelapukan sampah organik, serta meningkatkan emisi karbon berupa CO₂ dan metan yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca penyebab terjadinya pemanasan global. Gejala pemanasan global seringkali mengakibatkan perubahan iklim seperti makin tingginya intensitas hujan, munculnya gejala *El Nino* dan *La Nina* dengan jumlah hujan yang berkurang dan berlebih. Peningkatan jumlah air hujan yang dibuang karena berkurangnya laju peresapan air ke dalam tanah; akan menyebabkan banjir dan genangan air pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Banjir dan genangan air diperparah oleh pendangkalan dan penyumbatan saluran drainase akibat pembuangan sampah sembarangan.

Lubang resapan biopori (LRB) dikembangkan untuk memperbaiki kondisi ekosistem tanah yang dapat menghidupi keanekaragaman hayati di dalam tanah (biodiversitas tanah). Biodiversitas tanah dapat hidup dan berkembang biak di dalam tanah bila terdapat cukup air, oksigen, dan makanan sebagai sumber energi dan nutrisi untuk hidup dan pertumbuhannya. Karena mereka umumnya heterotroph maka makanannya adalah bahan organik yang dihasilkan oleh autotroph dan organisme tanah yang telah mati. Sampah organik merupakan sumber bahan organik untuk makanan biodiversitas tanah. Pembuatan lubang yang relatif kecil ke dalam tanah dapat memperluas permukaan vertikal yang dapat menampung sampah organik dan meresapkan air dalam lubang dengan lancar ke segala arah. Dimensi lubang yang kecil dapat memudahkan proses pembuatannya. Aktivitas biodiversitas tanah dapat mempercepat pelapukan sampah organik serta meningkatkan pembentukan biopori yang dapat memperlancar peresapan air dan pertukaran O₂ dan CO₂ di dalam tanah (aerasi).

Peresapan air hujan yang efektif perlu dilakukan untuk mengurangi aliran permukaan serta untuk memelihara kelembaban tanah, dan menambah cadangan air dalam tanah. Dengan demikian LRB merupakan teknologi tepat guna untuk mengatasi permasalahan makin sempitnya permukaan horizontal dengan menciptakan perluasan permukaan vertikal

yang dapat meningkatkan laju peresapan air ke segala arah di dalam tanah melalui biopori yang terus dibentuk oleh aktivitas fauna tanah. Sampah organik yang dimasukkan ke dalam LRB terus dimanfaatkan oleh biodiversitas tanah sebagai makanan dalam jaringan makanan (*food webs*). Pemanfaatan sampah organik oleh setiap rumah tangga ke dalam LRB dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, menyisakan sampah non-organik yang dapat disumbangkan kepada pemulung; berarti dapat mengurangi timbunan sampah yang mengotori lingkungan; dengan melibatkan seluruh anggota masyarakat pengguna lahan.

4.2. Peranan Biopori bagi Kelestarian Tanah

Tanah tempat kita berpijak, tanaman tumbuh dan bangunan didirikan, merupakan ekosistem yang terdiri dari komponen yang hidup (biotik) dan komponen yang mati (abiotik) yang saling tergantung dan pengaruh mempengaruhi. Komponen yang hidup (organisme) memperoleh tempat hunian (habitat) pada komponen yang mati berupa ruangan (pori) di antara partikel bahan mineral hasil pelapukan bahan induk berasal dari berbagai jenis batuan, serta bahan organik berasal dari hasil proses dekomposisi organisme yang telah mati (sisa tanaman dan organisme tanah). Berbagai jenis dan ukuran organisme tanah (biodiversitas tanah) menghuni berbagai ukuran pori di dalam tanah. Pori tanah menyediakan ruang yang cukup serta dapat menyediakan air, oksigen dan makanan yang cukup bagi kehidupan dan perkembangan organisme yang menghuninya. Biodiversitas tanah tidak mampu memproduksi bahan makanan sendiri (heterotrop). Bahan makanannya adalah bahan organik berasal dari sampah organik yang berupa sisa tanaman dan organisme tanah yang mati.

Produksi bahan organik yang tinggi dapat menjamin terpeliharanya aktivitas dan populasi biodiversitas tanah, seperti yang ditemui di kawasan hutan bervegetasi alami. Dalam kondisi yang demikian, akar tanaman terus berkembang menembus tanah membentuk liang yang bercabang-cabang. Sisa tanaman yang dihasilkan menjadi makanan bagi fauna tanah. Fauna tanah mampu menggali membuat liang-liang kecil di dalam tanah, mengunyah dan mencampur bahan organik dengan bahan mineral tanah dan mikroorganisme tanah. Selanjutnya mikroorganisme tanah membantu mempercepat proses pelapukan bahan organik menjadi humus yang dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburan tanah. Liang-liang di dalam tanah yang dibentuk oleh akar tanaman dan fauna tanah disebut **biopori** (*biopore*)

Kelebihan biopori dibandingkan dengan pori makro di antara agregat tanah, antara lain: (1) lebih mantap karena dilapisi oleh senyawa organik yang dikeluarkan oleh tubuh cacing (Lee, 1985 ; Brata, 1990), (2) berbentuk lubang silindris yang bersinambung ke segala arah dan tidak mudah tertutup oleh adanya proses pengembangan karena pembasahan pada tanah yang bersifat vertikal (dapat mengembang dan mengerut) sekalipun (Dexter, 1988), (3) dapat menyediakan liang yang mudah ditembus akar tanaman (Wang, Hesketh, dan Woolley, 1986), dan (4) menyediakan saluran bagi peresapan air (infiltrasi) secara horizontal maupun vertikal yang lancar ke dalam tanah (Smettem, 1992 ; Brata, 2004). Bahan mineral dan bahan organik yang dimakan cacing kemudian dikeluarkan menjadi kotoran cacing (castings) yang mempunyai bobot isi lebih rendah (1.15 g/cm^3) dibandingkan dengan tanah sekitarnya yang berbobot isi $1.5 - 1.6 \text{ g/cm}^3$ (McKenzie dan Dexter, 1987). Kotoran cacing tersebut merupakan agregat tanah yang stabil karena dimantapkan oleh senyawa organik berupa senyawa polisakarida yang dihasilkan oleh mikroba dan bahan organik yang dimakan cacing (Shipitalo dan Protz, 1989), serta diikat oleh miselia dan hifa fungi (Marinissen dan Dexter, 1990). Terpeliharanya biopori dan terbentuknya agregat tanah yang mantap menunjukkan terpeliharanya struktur tanah yang baik. Terpeliharanya struktur tanah yang baik akan mendukung terpeliharanya fungsi hidrologis kawasan pemukiman sebagai bagian dari daerah tangkapan air (catchment).

Bila sampah organik yang dihasilkan di kawasan pemukiman dimanfaatkan sebagai sumber makanan yang cukup, fauna tanah akan terus bekerja memperbaiki dan memelihara ekosistem tanah yang sehat. Mereka berkembang biak dan beraktivitas membuat biopori, mengunyah memperkecil ukuran sampah organik, mencampurkannya dengan mikroba yang dapat mempercepat proses pelapukan sampah organik menjadi kompos dan senyawa humus yang dapat memperbaiki kondisi tanah, serta dapat mengurangi emisi CO_2 dan metan yang merupakan gas rumah kaca penyebab pemanasan global. Unsur hara yang terkandung dalam sampah organik dimineralisasikan menjadi pupuk organik lambat tersedia yang tidak mudah hilang terangkut air perkolasi (*leaching*) atau menguap ke atmosfer (*volatilization*). Peningkatan laju peresapan melalui biopori dapat mencegah terjadinya kerusakan lahan oleh aliran permukaan dan erosi; serta dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, pupuk, serta bahan amelioran lain yang diperlukan dalam upaya perbaikan tingkat kesuburan tanah (Brata, 2004).

Konversi kawasan bervegetasi alami untuk kawasan pemukiman menyebabkan struktur tanah rusak. Pembukaan lahan, perataan tanah pada saat pematangan tanah untuk

persiapan pembangunan pemukiman¹⁴⁵ dan prasarana lainnya mengakibatkan terjadinya pemadatan tanah, berkurangnya sumber bahan organik tanah, serta rusaknya biopori. Pada saat pembangunan, sebagian permukaan lahan dikedapkan menjadi tapak bangunan dan prasarana jalan. Akibatnya, sebagian besar¹⁶⁶ air hujan tidak dapat meresap ke dalam tanah, mengalir di permukaan tanah kemudian dibuang melalui saluran drainase. Tingginya jumlah air hujan yang tidak meresap¹¹² dapat menyebabkan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, serta makin berkurangnya cadangan air yang mengisi pori tanah. Keamblesan tanah (subsidence) akan terjadi bila pori yang kosong tidak mampu mendukung bobot tanah beserta bangunan di atasnya. Bila tanah bertambah kering, tanah akan mengalami keretakan. Tanah menjadi labil ketika air masuk dalam rekahan dan dapat memicu terjadinya longsor dan kerusakan bangunan. Banjir dan genangan air diperparah oleh pendangkalan dan penyumbatan saluran drainase akibat pengendapan sedimen dan pembuangan sampah sembarangan

4.3. Lubang Resapan Biopori

Lubang resapan biopori adalah teknologi tepat guna dan ramah lingkungan, karena relatif mudah dilakukan serta dapat memelihara berlangsungnya proses-proses fisik, kimia, dan biologis yang melibatkan aktivitas keanekaragaman hayati dalam tanah (biodiversitas tanah). Penerapan LRB dapat mengakibatkan perbaikan lingkungan perkotaan melalui fungsinya untuk: (1) memanfaatkan sampah organik menjadi kompos yang dapat menyuburkan tanah dan tanaman penghijauan, (2) meningkatkan peran aktivitas biodiversitas tanah dan akar tanaman, (3) mengurangi emisi gas-gas rumah kaca CO₂ dan metan, (4) meningkatkan laju peresapan air dan cadangan air tanah, mencegah terjadinya keretakan tanah yang menyebabkan longsor dan kerusakan bangunan, dan (5)¹²⁰ mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh genangan air seperti penyakit demam berdarah dan malaria.

1. Memanfaatkan Sampah Organik Menjadi Kompos

Sampah rumah tangga terdiri dari 60-70 % sampah organik. Sampah organik merupakan sumber makanan (energi dan unsur hara) yang sangat dibutuhkan oleh biodiversitas tanah. Bila sampah organik setiap rumah tangga dimanfaatkan untuk memperbaiki ekosistem tanahnya masing-masing, maka sampah non-organiknya dapat

dengan mudah dimanfaatkan para pemulung untuk didaur-ulang dan dimanfaatkan kembali. Dengan demikian dapat memudahkan anggota masyarakat melakukan penanganan sampah dengan mengurangi volume (Reduce), memanfaatkan kembali sebagai bahan kompos (Reuse) di kaplingnya masing-masing, dan mendaur ulang sampah non-organik (Recycle) sebagai bahan baku industri.

¹⁶⁷ Lubang resapan biopori (LRB) dibuat dengan menggali lubang vertikal ke dalam tanah. Diameter lubang yang dianjurkan ¹⁷⁴ 10 cm sampai kedalaman 100 cm atau tidak melebihi kedalaman permukaan air tanah (water table). Pemilihan dimensi yang dianjurkan bertujuan untuk efisiensi penggunaan ruang horizontal yang makin terbatas dan mengurangi beban pengomposan. Tabel 1 menunjukkan bahwa LRB berdiameter 10 cm dengan kedalaman 100 cm hanya menggunakan permukaan horizontal 79 cm² menghasilkan permukaan vertikal seluas dinding lubang 0,314 m², berarti memperluas permukaan tanah 40 kali yang dapat kontak langsung dengan bahan kompos. Volume sampah yang masuk tertampung dalam lubang maksimum 7,9 liter dapat mudah dijangkau biodiversitas tanah melalui dinding lubang, akan menimbulkan beban pengomposan maksimum 25 liter/m². Perluasan permukaan tanah akan menurun dan beban pengomposan akan meningkat dengan peningkatan diameter lubang. Sebagai contoh bila diameter lubang 100 cm mendekati diameter sumur, perluasan permukaan yang diperoleh hanya 4 kali, dengan beban pengomposan yang meningkat menjadi 250 liter/m². Peningkatan beban pengomposan mengakibatkan penurunan laju pengomposan karena terlalu sedikitnya kontak langsung tanah sekeliling dinding lubang dengan bahan kompos. Hal ini mengakibatkan berkurangnya akses biodiversitas tanah untuk menjangkau bahan kompos, serta terhambatnya proses penyesuaian keseimbangan kelembaban dan suhu tanah dan bahan kompos.

LRB dapat membantu mempermudah pemasukan bahan organik ke dalam tanah meskipun pada permukaan yang tertutup lapisan kedap. Kumpulan sampah organik yang tidak terlalu banyak dalam lubang silindris akan menjadi habitat yang baik bagi fauna tanah terutama cacing tanah yang memerlukan perlindungan dari panas matahari dan kejaran pemangsanya. Di dalam LRB mereka memperoleh makanan, kelembaban dan oksigen yang cukup.

Tabel 4.1. Hubungan Diameter Lubang Dengan Beban Pengomposan dan Pertambahan Luas Permukaan Pengomposan

Diameter Lubang (cm)	Mulut lubang (cm ²)	Luas dinding (m ²)	Pertambahan Luas (kali)	Volume (liter)	Beban Pengomposan (liter/m ²)
10	79	0,314	40	7,857	25
40	1257	1,257	11	125,714	100
60	2829	1,886	7	282,857	150
80	5029	2,514	5	502,857	200
100	7857	3,143	4	785,714	250

Fauna tanah dapat memproses sampah tersebut dengan mengunyah (memperkecil ukuran) dan mencampurkan dengan mikroba tanah yang secara sinergi dapat mempercepat proses pengomposan secara alami. Mudahnya pemanfaatan sampah organik untuk menyuburkan tanahnya masing-masing, diharapkan terjadi perubahan kebiasaan untuk memisahkan sampah organik dan non-organik. Sampah organik segera dimasukkan ke dalam LRB, sedangkan sampah non-organik yang sudah terpisahkan dapat disumbangkan kepada pemulung. Bila setiap rumah tangga dapat memanfaatkan sampah organiknya masing-masing, sekitar 60-70 persen volume sampah domestik rumah tangga tidak perlu diangkut. Sisanya sekitar 30-40 persen berupa sampah tidak lapuk akan dimanfaatkan para pemulung untuk bahan industri daur ulang. Dengan demikian LRB akan menjadi alternatif teknologi pengelolaan sampah domestik yang paling dekat dengan sumber sampahnya; sehingga dapat mengurangi ongkos dan alat pengangkutan serta kebutuhan lahan untuk TPS dan TPA.

2. Meningkatkan Peran Biodiversitas Tanah dan Akar Tanaman

Sampah organik yang dimanfaatkan untuk mengisi LRB dapat menarik biodiversitas tanah masuk ke dalam lubang untuk memperoleh tempat perlindungan dari kejaran pemangsanya. Dengan kondisi suhu, kelembaban dan sumber makanan yang cukup dari sampah organik di dalam lubang, biodiversitas tanah dapat berkembang biak. Aktivitas fauna tanah seperti cacing tanah bekerja membentuk biopori dan menghasilkan kotoran cacing (*casting*) yang dapat memperbaiki struktur dan kesuburan tanah.

Perbaikan struktur dan kesuburan tanah dapat mempercepat perkembangan akar di dalam tanah yang dapat meningkatkan pembentukan biopori. Peningkatan pembentukan

biopori dapat memperluas ruangan yang dapat dihuni oleh biodiversitas tanah. Peningkatan biopori dapat memperlancar laju peresapan air dan udara ke dalam tanah, sehingga proses pengomposan terjadi secara aerobik (cukup oksigen). Kompos dapat dipanen pada setiap periode tertentu dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk memperbaiki struktur dan kesuburan tanah bagi berbagai jenis tanaman, seperti pepohonan, tanaman hias, tanaman obat, sayuran, dan jenis tanaman pangan lainnya.

3. Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca CO₂ dan Metan

Sampah organik merupakan sumber karbon yang dihasilkan melalui fotosintesis. Bila dibuang di atas permukaan tanah seperti yang dilakukan dalam penanganan sampah melalui pengumpulan sampah di tempat pengumpulan sementara (TPS) dan dalam tumpukan besar di tempat pembuangan akhir (TPA), akan meningkatkan emisi gas-gas rumah kaca seperti CO₂ dan metan. Peningkatan emisi gas-gas rumah kaca ke atmosfer dianggap merupakan penyebab utama pemanasan global (*global warming*) yang telah memicu terjadinya perubahan iklim global (*global climate change*). Dampak negatif perubahan iklim global ini telah dirasakan dengan makin sering terjadinya anomali iklim seperti gejala El Nino, La Nina, peningkatan intensitas hujan, serta perubahan cuaca yang sulit diprakirakan.

Pembuatan LRB pada setiap jenis penggunaan tanah dapat mempermudah pemanfaatan sampah organik dengan memasukkannya ke dalam tanah. Dengan demikian setiap pengguna lahan dapat memfungsikan tanahnya masing-masing sebagai penyimpan karbon (*carbon sink*) untuk mengurangi emisi karbon ke atmosfer. Karbon yang tersimpan di dalam tanah dalam bentuk humus dan biomasa dalam tubuh beraneka ragam biota tanah tidak mudah diemisikan. Perbaikan struktur dan kesuburan tanah dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman sebagai pengguna/penyerap karbon dari atmosfer. Supaya karbon yang tersimpan dalam biomasa tanaman dapat berdaur dengan sempurna melalui rantai makanan (*food chains*) dan jejaring makanan (*food webs*) diperlukan keterlibatan aneka ragam biota termasuk biota yang hidup di dalam tanah. Pengurangan emisi karbon dari dalam tanah dan penyerapan CO₂ oleh tanaman dari atmosfer akan dapat mengurangi efek rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global.

4. Meningkatkan Laju Peresapan Air dan Cadangan Air Tanah

⁴³ Berkurangnya ruang terbuka hijau menyebabkan berkurangnya permukaan yang dapat meresapkan air ke dalam tanah di kawasan pemukiman. Peningkatan jumlah air hujan yang dibuang karena berkurangnya laju peresapan air ke dalam tanah; akan menyebabkan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Peresapan air hujan yang efektif perlu dilakukan untuk mengurangi aliran permukaan serta untuk memelihara kelembaban tanah, dan menambah cadangan air tanah. Dengan demikian dapat mencegah keretakan tanah yang memicu terjadinya longsor, serta dapat mencegah keamblesan tanah (*subsidence*) karena kosongnya pori tanah akibat penyedotan air tanah yang berlebihan. Peresapan air hujan yang efektif juga dapat mencegah terjadinya banjir yang dapat mengangkut bahan organik, unsur hara, pupuk, dan lapisan tanah yang subur melalui erosi.

Peresapan air ke dalam tanah dapat diperlancar oleh adanya biopori yang dapat diciptakan oleh fauna tanah dan akar tanaman. Untuk menyediakan lingkungan yang kondusif bagi penciptaan biopori di dalam tanah, LRB perlu diisi sampah organik sebagai sumber makanan bagi biodiversitas tanah.

⁷⁷ Pada tanah yang telah rusak di mana lapisan atas tanah (*top soil*) tipis atau sudah hilang oleh erosi, LRB ⁷⁷ dapat membantu mempercepat laju peresapan air ke dalam lapisan bawah tanah (*sub soil*) yang relatif padat, serta memudahkan pemasukan bahan organik ke dalam tanah dengan mudah. Dengan peresapan air yang lancar dan perbaikan kondisi subsoil oleh aktivitas biota tanah serta penambahan bahan organik, maka akar tanaman akan berkembang lebih dalam untuk memanfaatkan air dan unsur hara dari daerah perakaran yang lebih luas, berarti dapat mengurangi kegagalan penanaman akibat kekeringan atau kelebihan air.

Peresapan air hujan yang efektif ke dalam tanah selain dapat menghindari terjadinya banjir yang sangat merugikan, mengakibatkan hilangnya harta benda bahkan nyawa manusia, serta menimbulkan kerusakan sarana dan prasarana yang dapat mengganggu kegiatan perekonomian. Peresapan air hujan juga dapat meningkatkan cadangan air tanah sebagai sumber air yang dibutuhkan oleh semua kehidupan baik yang hidup di dalam tanah maupun yang hidup di atas permukaan tanah. Peresapan air ke dalam tanah merupakan upaya konservasi air yang efektif untuk menghindari kehilangan air melalui penguapan, berarti dapat memelihara kuantitas cadangan air tanah. Air yang meresap ke dalam tanah dapat melarutkan mineral yang menyehatkan, serta tidak mengangkut sedimen dan bahan

organik yang mencemari kualitas air serta dapat mencemari dan mengurangi daya tampung badan-badan air.

5. Mengatasi Masalah Akibat Genangan

Berkurangnya atau rusaknya biopori di dalam tanah dapat mengakibatkan berkurangnya laju peresapan air. Pada tanah terbuka yang terkena sinar matahari, permukaan tanah akan ditumbuhi lumut yang dapat menyumbat pori, sehingga air tidak dapat meresap ke dalam tanah. Air yang tidak meresap ke dalam tanah akan menjadi genangan di atas permukaan tanah, biasanya terjadi pada cekungan atau saluran yang secara terus menerus mendapat tambahan air. Pada keadaan tergenang ketersediaan oksigen sangat kurang, apalagi bila pada genangan terkumpul bahan organik. Pada keadaan kurang oksigen (anaerobik) biopori tidak akan terbentuk karena fauna tanah yang mampu membentuk biopori perlu oksigen yang cukup.

Genangan air yang terus menerus merupakan habitat yang baik bagi berkembangbiaknya berbagai jenis nyamuk, termasuk nyamuk yang menjadi pembawa penyakit menular seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, dan sejenisnya; serta seringkali menyebabkan bau busuk yang mencemari udara. Bila permukaan air bebas berada dalam tanah, genangan air dapat dicegah dengan meresapkannya ke dalam tanah. LRB dapat dibuat untuk meresapkan genangan air akibat penyumbatan permukaan dan berkurangnya biopori di dalam tanah.

4.4. Lokasi Pembuatan Lubang Biopori

Dengan diameter lubang cukup kecil, LRB dapat dibuat menyebar pada tempat-tempat dimana air hujan akan terkumpul dengan membuat alur atau cekungan disesuaikan dengan desain taman yang sudah ada. Pemilihan lokasi untuk penempatan LRB boleh dikatakan merupakan kunci sukses dari model resapan ini. Lokasi harus dipilih di tempat yang sesuai, baik dari segi fisik, artistik, maupun keamanan.

Segi Fisik

Seperti diungkapkan sebelumnya LRB adalah lubang untuk meresapkan air, oleh karena itu sangat dianjurkan bahwa lokasi LRB seharusnya berada ¹⁰⁹ di tempat-tempat dimana air akan terkumpul pada saat hujan berlangsung. Lokasi seperti ini biasanya dapat

berupa alur atau saluran (Gambar 1). Desain alur atau saluran ini sebaiknya disesuaikan dengan desain taman atau lansekap yang akan direncanakan ataupun yang sudah ada.

Segi Artistik

Lubang Resapan Biopori tidak hanya dibuat satu buah, tapi dibuat banyak sebagai kompensasi terhadap pengerasan atau bidang kedap yang ada. Pengerasan atau bidang kedap ini bisa berupa bangunan (rumah), halaman yang diperkeras, jalan beraspal atau bentuk-bentuk penutupan permukaan tanah lain yang menghalangi air (hujan) untuk masuk ke dalam tanah. Penempatan LRB perlu disesuaikan dengan desain taman atau lansekap yang ada. Idealnya penempatan LRB ini sudah diintegrasikan pada rancangan awal desain taman yang bersangkutan. Beberapa alternatif penempatan LRB di antaranya adalah pada:

1. Saluran pembuangan air diubah menjadi saluran peresapan air (Gambar 4.1)
2. Di sekeliling pohon (Gambar 4.2)
3. Perubahan kontur taman (Gambar 4.3)



Gambar 4.1. LRB pada Dasar Saluran



Gambar 4.2. LRB di Sekitar Pohon



Gambar 4.3. LRB pada Kontur Tanaman

Segi Keamanan

LRB berupa lubang-lubang menganga, meskipun hanya berdiameter 10 cm, dapat saja memicu kecelakaan, misalnya kaki terperosok. LRB jangan dibuat di tempat lalu lalang manusia, atau di tengah lapangan bermain anak-anak. Sebaiknya LRB ditempatkan pada dasar alur-alur yang sengaja dibuat untuk mengumpulkan serta mengarahkan air masuk ke dalam LRB. Dengan ditempatkan pada dasar alur, manusia dan hewan peliharaan cenderung tidak akan melewatinya, karena pada umumnya mereka tidak suka berjalan di alur. Penempatan LRB pada alur di sekitar tanaman di taman juga akan menghindari kaki terperosok, karena tempat-tempat seperti itu bukan merupakan tempat lalu lalang

4.5. Teknik Pembuatan Lubang Biopori

LRB adalah lubang vertikal yang dibuat ke dalam tanah. Untuk memudahkan pembuatan lubang dapat digunakan bor LRB. Seperti sudah disebutkan alur air perlu dibuat untuk mengarahkan aliran permukaan ke dalam lubang yang akan dibuat. LRB dibuat pada dasar alur. Tanah yang akar dibor perlu dibasahi supaya lunak dan tidak melekat pada mata bor. Bor ditekan sambil diputar kekanan sampai mata bor penuh, dicabut kemudian tanah dikeluarkan dari mata bor. Ulangi pemboran dan pengeluaran tanah dari mata bor sampai kedalaman yang diinginkan.

- 25 1. Buat lubang silindris secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10 cm. Kedalaman kurang lebih 100 cm atau tidak sampai melampaui muka air tanah bila air tanahnya dangkal. Jarak antar lubang antara 50 - 100 cm (Gambar 4).
- 25 2. Mulut lubang dapat diperkuat dengan semen selebar 2 - 3 cm dengan tebal 2 cm disekeliling mulut lubang (Gambar 5).
- 25 3. Isi lubang dengan sampah organik yang berasal dari sampah dapur, sisa tanaman, dedaunan, atau pangkasan rumput (Gambar 6).
- 25 4. Sampah organik perlu selalu ditambahkan ke dalam lubang yang isinya sudah berkurang dan menyusut akibat proses pelapukan.
5. Kompos yang terbentuk dalam lubang dapat diambil pada setiap akhir musim kemarau bersamaan dengan pemeliharaan lubang resapan.



Gambar 4.4. Membuat LRB dengan Bor



Gambar 4.5. Memperkuat Mulut Lubang



Gambar 4.6. Mengisi Sampah Organik

Jumlah Lubang Bipori

¹⁷ Jumlah lubang yang perlu dibuat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah LRB} = \frac{\text{Intensitas hujan (mm/jam)} \times \text{luas bidang kedap (m}^2\text{)}}{\text{Laju Peresapan Air per Lubang (liter/jam)}}$$

Sebagai contoh, untuk daerah dengan intensitas hujan 50 mm/jam (hujan lebat), dengan laju peresapan air per lubang 3 liter/menit (180 liter/jam) pada 100 m² bidang kedap perlu dibuat sebanyak $(50 \times 100) / 180 = 28$ lubang.

Bila lubang yang dibuat berdiameter 10 cm dengan kedalaman 100 cm, maka setiap lubang dapat menampung 7.8 liter sampah organik. Ini berarti bahwa setiap lubang dapat diisi dengan sampah organik selama 2-3 hari. Dengan demikian 28 lubang baru dapat dipenuhi dengan sampah organik yang dihasilkan selama 56 - 84 hari. Dalam selang waktu tersebut lubang-lubang yang diisi diawal sudah akan terdekomposisi menjadi kompos sehingga volumenya telah menyusut. Dengan demikian lubang-lubang ini sudah dapat diisi kembali dengan sampah organik baru dan begitu seterusnya.

Biaya yang diperlukan dapat dihitung dari ongkos peralatan (bor LRB) dan upah pembuatan. Bila setiap orang ingin memiliki bor LRB diperlukan Rp 175.000 sampai Rp 250.000 untuk pembelian alat. Pada tanah yang tidak berkerikil, 1 lubang LRB dapat dibuat dalam waktu 5 – 10 menit, sehingga perlu waktu 140 – 280 menit (2.3 – 4.6 jam), berarti diperlukan upah kerja 1 HOK (hari orang kerja). Biaya yang diperlukan akan lebih murah lagi bila bor LRB dibeli bersama oleh beberapa orang, yang secara bergiliran dapat menggunakan bor untuk membuat LRB dan pemeliharaan LRB untuk memanen kompos

4.6. Contoh Perencanaan Lubang Biopori

Dalam perencanaan lubang biopori perlu diperhitungkan dulu besar limpasan perbukaaan atau debit banjir rencana. Untuk menentukan debit banjir rencana ditinjau dengan kala ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun digunakan rumus Rasional sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,2778 \cdot C \cdot I \cdot A \\
 &= 0,2778 \cdot 0,6 \cdot 253,51 \cdot 0,00119574 \\
 &= 0,0505261 \text{ m}^3/\text{dtk}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2. Hasil perhitungan debit banjir rencana untuk kala ulang 2 tahun

No	Saluran	Koef (C)	I (mm/jam)	Luas Area Sal.	Q Banjir
				(A) km ²	Rancangan (m ³ /dt)
1	Ruas-1	0,60	188,98	0,001195740	0,0376654
2	Ruas-2	0,60	221,20	0,000969450	0,0357428
3	Ruas-3	0,60	208,52	0,000220770	0,0076732
4	Ruas-4	0,60	215,92	0,000668350	0,0240532
5	Ruas-5	0,60	174,19	0,000296230	0,0086009

Tabel 4.3. Hasil perhitungan debit banjir rencana untuk kala ulang 5 tahun

No	Saluran	Koef (C)	I (mm/jam)	Luas Area Sal.	Q Banjir
				(A) km ²	Rancangan (m ³ /dt)
1	Ruas-1	0,6	217,692	0,001195740	0,0433873
2	Ruas-2	0,6	254,800	0,000969450	0,0411726
3	Ruas-3	0,6	240,198	0,000220770	0,0088388
4	Ruas-4	0,6	248,717	0,000668350	0,0277073
5	Ruas-5	0,6	200,655	0,000296230	0,0099075

Tabel 4.4. Hasil perhitungan debit banjir rencana untuk kala ulang 10 tahun

No	Saluran	Koef (C)	I (mm/jam)	Luas Area Sal.	Q Banjir
				(A) km ²	Rancangan (m ³ /dt)
1	Tersier 1	0,6	234,510	0,001195740	0,0467392
2	Tersier 2	0,6	274,484	0,000969450	0,0443534
3	Tersier 3	0,6	258,755	0,000220770	0,0095216
4	Tersier 4	0,6	267,932	0,000668350	0,0298478
5	Tersier 5	0,6	216,157	0,000296230	0,0106729

Tabel 4.5. Hasil perhitungan debit banjir rencana untuk kala ulang 25 tahun

No	Saluran	Koef (C)	I (mm/jam)	Luas Area Sal.	Q Banjir
				(A) km ²	Rancangan (m ³ /dt)
1	Tersier 1	0,6	253,510	0,001195740	0,0505261
2	Tersier 2	0,6	296,724	0,000969450	0,0479470
3	Tersier 3	0,6	279,720	0,000220770	0,0102931
4	Tersier 4	0,6	289,640	0,000668350	0,0322661
5	Tersier 5	0,6	233,670	0,000296230	0,0115376

a). Kemiringan Dasar Saluran (I)

Contoh perhitungan di perumahan pada saluran tersier 1 dengan data sebagai berikut :

$$L = 66,58 \text{ m}$$

$$\Delta H = 0,362 \text{ m}$$

$$I = \frac{\Delta H}{L}$$

$$= \frac{0,362}{66,58}$$

$$= 0,005437$$

Tabel 4.6. Hasil perhitungan (I) kemiringan dasar saluran

No	Saluran	L	ΔH	I
		(m)	(m)	
1	Tersier 1	66,580	0,362	0,005437
2	Tersier 2	56,800	0,415	0,007306
3	Tersier 3	53,850	0,281	0,005218
4	Tersier 4	47,000	0,214	0,004553
5	Tersier 5	62,020	0,213	0,003434

b). Dimensi Saluran Tanpa LRB

Dalam perencanaan jaringan dan dimensi saluran drainase, terlebih dahulu harus mengetahui debit maksimum rancangan dengan kala ulang tahun tertentu dan peneliti merencanakan debit maksimumselama 25 tahun, dari debit tersebut maka dapat direncanakan dimensi saluran. Untuk menentukan dimensi saluran tersier 1 yang berbentuk persegi antara lain :

1. Lebar dasar saluran (b) adalah lebar pada dasar saluran = 0,4 m,
2. Kedalaman aliran (h) adalah jarak vertikal titik terendah pada suatu penampang saluran sampai ke permukaan bebas dan untuk nilai h penampang ekonomisnya = $b/2 = 0,20$ m. Mencari nilai b dan h dilakukan dengan cara coba-coba.
3. Lebar puncak (T) adalah lebar penampang saluran pada permukaan bebas, karena saluran berbentuk persegi jadi nilai $T = b = 0,4$ m
4. Luas basah (A) adalah luas penampang melintang aliran yang tegak lurus dengan arah aliran.

$$\begin{aligned}
 A &= b \times h \\
 &= 0,4 \times 0,20 \\
 &= 0,08 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

5. Keliling basah (P) adalah panjang garis perpotongan dari permukaan basah saluran dengan bidang penampang melintang yang tegak lurus arah aliran.

$$\begin{aligned}
 P &= b + 2h \\
 &= 0,4 + 2 \cdot 0,20 \\
 &= 0,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

6. Jari – jari hidrolis (R) adalah rasio luas basah dengan keliling basah

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{0,08}{0,8}$$

$$= 0,1 \text{ m}$$

7. Menurut data perencanaan dinding saluran menggunakan pasangan batu disemen, maka nilai koefisien kekasaran manning sebesar $n = 0,025$
8. Dalam penelitian perencanaan sistem drainase di kawasan perumahan Green Garden jalan Kaliurang pada perencanaan saluran tersier 1 kecepatan aliran menggunakan metode manning dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = \text{Kecepatan aliran dalam saluran (m/dtk)}$$

$$n = \text{Koefisien kekasaran manning} = 0,025$$

$$R = \text{Radius hidrolis} = 0,1 \text{ m}$$

$$I = \text{Kemiringan dasar saluran} = 0,005$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,025} \times 0,10^{2/3} \times 0,005^{1/2}$$

$$= 0,635 \text{ m/s}$$

9. Untuk menentukan jenis aliran adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan *Froude* (F_r). Bilangan *Froude* didefinisikan sebagai berikut :

$$V = \text{kecepatan aliran (m/dtk)}$$

$$h = \text{kedalaman aliran (m)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/dtk}^2\text{)}$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

$$= \frac{0,63544}{\sqrt{9,81 \cdot 0,20}}$$

$$= 0,454$$

10. Untuk menentukan debit saluran drainase digunakan rumus umum yaitu

$$A = \text{Penampang dasar saluran} = 0,08 \text{ m}^2$$

$$V = \text{Kecepatan aliran dalam saluran} = 0,635 \text{ m/s}$$

$$Q = V \times A$$

$$= 0,635 \times 0,08$$

$$= 0,050 \text{ m}^3/\text{s}$$

Karena debit dimensi lebih besar dari debit banjir rancangan $0,051 \text{ m}^3/\text{dtk}$, maka dimensi saluran dapat diterima.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan perencanaan dimensi bentuk persegi tanpa lubang resapan biopori

No	Saluran	⁵⁶ B	h	H	A	P	R	n	I	V	Fr	Q Coba-	Q renc
		M	m	M	m ²	m	m			m/s		m ³ /s	m ³ /s
1	Tersier 1	0,40	0,20	0,06	0,08	0,80	0,10	0,025	0,005	0,634	0,453	0,051	0,051
2	Tersier 2	0,67	0,33	0,10	0,22	1,33	0,17	0,025	0,007	1,036	0,573	0,231	0,231
3	Tersier 3	0,50	0,25	0,08	0,13	1,00	0,13	0,025	0,005	0,722	0,461	0,090	0,090
4	Tersier 4	0,52	0,26	0,08	0,13	1,04	0,13	0,025	0,005	0,692	0,434	0,093	0,093
5	Tersier 5	0,47	0,23	0,07	0,11	0,93	0,12	0,025	0,003	0,559	0,370	0,061	0,061

Sumber : hasil perhitungan

c). Analisa Sampel Tanah

Untuk menentukan daya resap LRB terlebih dahulu menentukan nilai koefisien rembesan K dan gradien hidrolis i dengan melakukan penelitian dilaboratorium, dalam hal ini diambil dua sampel tanah dan setiap sampel dilakukan dua uji untuk menentukan nilai koefisien rembesan K dan gradien hidrolis i. Dalam contoh perhitungan debit LRB dipakai data B nomer sampel 1.

1. Luas permukaan sampel

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,214^2 \\ &= 30,31 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan :

A = luas sampel

D = diameter sampel, didapat dari data tanah

2. Volume sampel = A . L

$$\begin{aligned} &= 30,31 \times 5 \\ &= 151,56 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dengan :

L = tinggi sampel tanah, didapat dari data tanah

3. Luas penampang tegak tabung

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,092^2 \\ &= 0,936 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan :

a = luas penampang tegak tabung

d = diameter tabung, didapat dari data alat

4. Waktu

$$\begin{aligned} t &= 5 \text{ menit } 18 \text{ detik} \\ &= 318 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dengan :

t = waktu, didapat dari hasil penelitian dilaboratorium

5. Koefisien resapan

$$\begin{aligned}
 k &= 2,303 \frac{a.L}{A.t} \log \frac{h_1}{h_2} \\
 &= 2,303 \frac{0,936 .5}{30,31.318} \log \frac{76,50}{67,20} \\
 &= 6,29 \times 10^{-5} \text{ cm/detik} \\
 &= 6,29 \times 10^{-7} \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Dengan :

k = Koefisien resapan

h_1 = Tinggi awal muka air terhadap tinggi air pembuang

h_2 = Tinggi akhir muka air terhadap tinggi air pembuang

6. Gradien hidrolis

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{h_1}{L} \\
 &= \frac{76,50}{5} \\
 &= 15,30
 \end{aligned}$$

7. Kecepatan

$$\begin{aligned}
 v &= k . i \\
 &= 6,29 \times 10^{-5} \times 15,30 \\
 &= 9,63 \times 10^{-4} \text{ cm/detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8. Analisa data sampel tanah A

No.	Parameter	Notasi	Satuan	No. Sampel	
				1	2
1	Diameter sampel tanah	D	cm	6,21	6,21
2	Diameter tabung kecil	d	cm	1,092	1,092
3	Luas penampang pipa tegak	a	cm ²	0,936	0,936
4	Panjang sampel tanah	L	cm	5,00	5,00
5	Luas penampang sampel	A	cm ² m ²	30,312 0,00303	30,312 0,00303
6	Waktu	t	jam menit detik	0 31 46 1906	0 10 43 643
7	Tinggi awal muka air terhadap tinggi air pembuang	h1	cm	89	86,5
8	Tinggi akhir muka air terhadap tinggi air pembuang	h2	cm	82,5	78
9	Koefisien rembesan	K	cm/detik m/detik	6,14E-06 6,14E-08	2,48E-05 2,48E-07
10	Gradien Hhidrolik	I		1,78E+01	1,73E+01
11	Kecepatan	V	cm/detik	1,09E-04	4,30E-04

Tabel 4.9. Analisa data sampel tanah B

No.	Parameter	Notasi	Satuan	No. Sampel	
				1	2
1	Diameter sampel tanah	D	cm	6,21	6,21
2	Diameter tabung kecil	d	cm	1,092	1,092
3	Luas penampang pipa tegak	a	cm ²	0,936	0,936
4	Panjang sampel tanah	L	cm	5,00	5,00
5	Luas penampang sampel	A	cm ² m ²	30,312 0,00303	30,312 0,00303
6	Waktu	t	jam menit detik	0 5 18 318	0 12 47 767
7	Tinggi awal muka air terhadap tinggi air pembuang	h1	cm	76,50	80,50
8	Tinggi akhir muka air terhadap tinggi air pembuang	h2	cm	67,20	70,00
9	Koefisien rembesan	K	cm/detik m/detik	6,29E-05 6,29E-07	2,81E-05 2,81E-07
10	Gradien Hhidrolik	i		1,53E+01	1,61E+01
11	Kecepatan	V	cm/detik	9,63E-04	4,53E-04

d). Debit Lubang Resapan Biopori

Dalam hal ini dimensi Lubang Resapan Biopori direncanakan dengan diameter 10 cm dan kedalaman 100 cm, dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 A &= (\pi \cdot D \cdot h) + \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2\right) \\
 &= (3,14 \times 0,1 \times 1) + \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,1^2\right) \\
 &= 0,3212 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= k \cdot i \cdot A \\
 &= 6,29 \times 10^{-7} \times 15,30 \times 0,322 \\
 &= 3,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Dengan :

Q = debit air yang teresap oleh LRB

k = koefisien rembesan

i = gradien hidrolis

A = luas penampang LRB

Jadi debit yang dapat diresapkan oleh lubang resap biopori yaitu sebesar $3,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$ per lubang.

Tabel 4.10. Analisa lubang resapan biopori

No	Sampel	D	r	h	K	I	A	Q/lubang
		M	m	m	m/dtk		m ²	m ³ /dtk
1	A1	0,1	0,05	1	6,14E-08	1,78E+01	0,32185	0,0000003520
2	A2	0,1	0,05	1	2,48E-07	1,73E+01	0,32185	0,0000013833
3	B1	0,1	0,05	1	6,29E-07	1,53E+01	0,32185	0,0000030998
4	B2	0,1	0,05	1	2,81E-07	1,61E+01	0,32185	0,0000014582

e). Debit Saluran Menggunakan LRB

Pada saluran direncanakan Lubang Resapan Biopori dan untuk jarak antara setiap lubang yaitu 100 cm dan diambil debit tertinggi dari empat uji tinggi air jatuh (*Falling Head*), jadi jumlah lubang tergantung panjang saluran oleh karena itu debit yang teresap Lubag Resapan Biopori persaluran berbeda – beda, Pada analisa ini digunakan sebagai contoh perhitungan yaitu saluran nomer 1 tersier, karena jarak antara lubang adalah 100 cm maka :

$$\text{Jumlah lubang} = L - 1$$

$$= 67 - 1 = 66 \text{ buah}$$

Dengan :

L = panjang saluran

Debit yang teresap oleh LRB = jumlah lubang x debit perlubang

$$= 66 \times 3,1 \times 10^{-6}$$

$$= 0,000203 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Jadi sisa debit pada saluran 1 tersier = Q banjir rancangan – Q LRB

$$= 0,0505261 - 0,000203$$

$$= 0,0503228 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Tabel 4.11. Hasil perhitungan debit pada saluran menggunakan LRB

No	Saluran	L	Jml.lub.	Q(LRB)/lub.	Q(LRB)/sal.	sisa Q rec.
		m	Buah	m ³ /dtk	m ³ /dtk	m ³ /dtk
1	Tersier 1	67	66	0,00000310	0,000203	0,0503228
2	Tersier 2	57	56	0,00000310	0,000173	0,2293064
3	Tersier 3	54	53	0,00000310	0,000164	0,0888058
4	Tersier 4	47	46	0,00000310	0,000143	0,0927265
5	Tersier 5	62	61	0,00000310	0,000189	0,0606030

f). Dimensi Saluran Dengan LRB

Untuk hasil perhitungan perencanaan dimensi saluran dengan menerapkan sistem Lubang Resapan Biopori pada dasar saluran untuk menentukan dimensi saluran dibawah dipakai saluran tersier 1 sebagai contoh perhitungan yang berbentuk persegi antara lain :

1. Lebar dasar saluran (b) adalah lebar pada dasar saluran = 0,4 m,
2. Kedalaman aliran (h) adalah jarak vertikal titik terendah pada suatu penampang saluran sampai ke permukaan bebas dan untuk nilai h penampang ekonomisnya = $b/2 = 0,20 \text{ m}$. Mencari nilai b dan h dilakukan dengan cara coba-coba.
3. Lebar puncak (T) adalah lebar penampang saluran pada permukaan bebas, karena saluran berbentuk persegi jadi nilai $T = b = 0,4 \text{ m}$
4. Luas basah (A) adalah luas penampang melintang aliran yang tegak lurus dengan arah aliran.

$$A = b \times h$$

$$= 0,4 \times 0,20$$

$$= 0,08 \text{ m}^2$$

5. Keliling basah (P) adalah panjang garis perpotongan dari permukaan basah saluran dengan bidang penampang melintang yang tegak lurus arah aliran.

$$\begin{aligned} P &= b + 2h \\ &= 0,4 + 2 \cdot 0,20 \\ &= 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Jari – jari hidrolis (R) adalah rasio luas basah dengan keliling basah

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{0,08}{0,8} \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

7. Menurut data perencanaan dinding saluran menggunakan pasangan batu disemen, maka nilai koefisien kekasaran manning sebesar $n = 0,025$

8. Dalam penelitian perencanaan sistem drainase di kawasan perumahan pada perencanaan saluran tersier 1 kecepatan aliran menggunakan metode manning dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V &= \text{Kecepatan aliran dalam saluran (m/dtk)} \\ n &= \text{Koefisien kekasaran manning} = 0,025 \\ R &= \text{Radius hidrolis} = 0,1 \text{ m} \\ I &= \text{Kemiringan dasar saluran} = 0,005 \\ V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \\ &= \frac{1}{0,025} \times 0,10^{2/3} \times 0,005^{1/2} \\ &= 0,635 \text{ m/s} \end{aligned}$$

9. Untuk menentukan jenis aliran adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inerti, yang dinyatakan dengan bilangan *Froude* (F_r). Bilangan *Froude* didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V &= \text{kecepatan aliran (m/dtk)} \\ h &= \text{kedalaman aliran (m)} \\ g &= \text{percepatan gravitasi (m/dtk}^2\text{)} \\ F_r &= \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \end{aligned}$$

$$= \frac{0,63544}{\sqrt{9,81 \cdot 0,20}}$$

$$= 0,454$$

10. Untuk menentukan dimensi saluran drainase digunakan rumus umum yaitu

$$A = \text{Penampang dasar saluran} = 0,08 \text{ m}^2$$

$$V = \text{Kecepatan aliran dalam saluran} = 0,635 \text{ m/s}$$

$$Q = V \times A$$

$$= 0,635 \times 0,08$$

$$= 0,050 \text{ m}^3/\text{s}$$

Karena debit dimensi lebih besar dari debit hasil pengurangan antara debit banjir rancangan dengan debit LRB pada saluran $0,050 \text{ m}^3/\text{dtk} = 0,050 \text{ m}^3/\text{dtk}$ maka dimensi saluran dapat diterima.

Dari hasil perencanaan tersebut, disimpulkan sebagai berikut :

1. Saluran tanpa lubang resapan biopori diperoleh nilai debit terkecil yaitu sebesar $0,003 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan nilai debit terbesar yaitu $1,57 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan saluran dengan menggunakan Lubang Resapan Biopori didapat debit terkecil yaitu sebesar $0,0033 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terbesar yaitu $1,562 \text{ m}^3/\text{detik}$.
2. Saluran berbentuk persegi tanpa LRB didapat dimensi terkecil yaitu dengan lebar $0,15 \text{ m}$ dan tinggi $0,07 \text{ m}$, dan untuk saluran dengan dimensi terbesar yaitu lebar $1,12 \text{ m}$ dan tinggi $0,74 \text{ m}$. Saluran dengan lubang resapan biopori didapatkan dimensi terkecil yaitu dengan lebar $0,24 \text{ m}$ dan tinggi $0,12 \text{ m}$, sedangkan dimensi terbesar yaitu dengan lebar $1,12 \text{ m}$ tinggi $0,74 \text{ m}$.
3. Dalam perencanaan 97 saluran diperoleh jumlah lubang resapan biopori sebanyak 6166 lubang dan debit yang diresapkan sebesar $0,019112 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan untuk debit perlubang yaitu sebesar $0,0000031 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Dalam perencanaan saluran drainase ini letak semua saluran berada disetiap tepi jalan oleh karena itu jika membuat saluran dengan lubang resapan biopori disarankan dilakukan kajian lebih lanjut terhadap daya dukung tanah pada dasar jalan untuk menghindari penurunan tanah yang besar akibat aliran air yang teresap kedalam tanah yang mengakibatkan jalan cepat rusak dan bergelombang. Untuk pelaksanaan pembuatan LRB

membutuhkan waktu yang cukup lama dan air yang diresapkan oleh LRB sangatlah kecil jadi saluran menggunakan LRB dengan tidak menggunakan LRB dimensinya tidak jauh berbeda oleh karena itu lebih efisien tidak menggunakan LRB.

Tabel 4.12. Hasil perhitungan perencanaan dimensi bentuk persegi menggunakan lubang resapan biopori

No	Saluran	B	h	⁷¹ H	A	P	R	Q renc
		M	m	m	m ²	m	m	m ³ /s
1	Tersier 1	0,40	0,20	0,06	0,08	0,80	0,10	0,050
2	Tersier 2	0,67	0,33	0,10	0,22	1,33	0,17	0,229
3	Tersier 3	0,49	0,25	0,07	0,12	0,98	0,12	0,089
4	Tersier 4	0,52	0,26	0,08	0,13	1,04	0,13	0,093
5	Tersier 5	0,47	0,23	0,07	0,11	0,93	0,12	0,061

N	I	V	Fr	Q Coba-coba	Q renc
		m/s		m ³ /s	m ³ /s
0,025	0,005	0,634	0,453	0,050	0,050
0,025	0,007	1,034	0,572	0,229	0,229
0,025	0,005	0,713	0,460	0,086	0,089
0,025	0,005	0,691	0,433	0,093	0,093
0,025	0,003	0,559	0,370	0,061	0,061

Bab 5

Sumur Resapan

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang teknik perencanaan sumur resapan untuk mengatasi banjir perkotaan, konsep sumur resapan, spesifikasi sumur resapan, manfaat sumur resapan, macam-macam konstruksi sumur resapan dan cara merencanakan sumur resapan.

Relevansi

Limpasan permukaan (*run off*) yang terlalu besar melewati saluran drainase mengalami luapan sehingga terjadi banjir perkotaan. Untuk mengurangi efek banjir perkotaan dapat pula direncanakan sumur resapan. Proses perencanaan sumur resapan meliputi perhitungan besaran sisa run off, pengujian permealitas tanah, penentuan jumlah dan konstruksi sumur resapan.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami cara merencanakan sumur resapan, jumlah sumur resapan dan konstruksi sumur resapan.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

1. Memahami konsep sumur resapan
2. Memahami manfaat sumur resapan
3. Mengenal konstruksi sumur resapan
4. Memahami cara menentukan koefisien permealitas tanah
5. Memahami cara merencanakan sumur resapan

5.1. Umum

Para pakar air mengkhawatirkan bahwa pada pertengahan abad XXI, Indonesia akan mengalami krisis air yang mengkhawatirkan, terutama pada pusat-pusat wilayah kota. Berdasarkan hal ini, timbul pertanyaan yang cukup mendasar, apakah kekhawatiran di atas benar-benar akan terjadi ataukah hanya membesar-besarkan ancaman yang sebenarnya tidak pernah akan terjadi.

Indonesia merupakan wilayah tropis, memiliki karakteristik curah hujan yang tinggi. Jumlah hujan yang besar, apakah benar akan mengalami krisis air. Air permukaan seperti danau, sungai, air tanah dan mata air, yang sedemikian banyaknya apakah tidak mampu kita kelola untuk kepentingan permukiman, pertanian, perikanan, industri dan kelistrikan, sehingga malapetaka yang timbul terjadi kelangkaan (krisis) dalam kelimpahan. Walaupun Indonesia memiliki posisi geografis yang istimewa, sinar matahari berlimpah, memiliki dua musim (kemarau dan penghujan), tanah vulkanik subur, ribuan pulau membentuk daratan yang produktif dengan pegunungan dan hutan yang lebat. Semuanya merupakan bukti bahwa Indonesia kaya dengan air, hingga sekali lagi patut kita bertanya apakah benar ancaman krisis air akan menjadi kenyataan.

Air yang melimpah di Indonesia, telah mewarnai budaya kita dan sejak abad pertengahan XV, dengan tumbuh berkembangnya pertanian tradisional di sekitar badan air. Pada abad XVI tumbuh kerajaan-kerajaan berbasis pertanian; dengan slogan "*gemah ripah loh jinawi, tongkat dan batu jadi tanaman*". Namun demikian, sejak pertengahan abad XX pusat-pusat pertumbuhan mulai muncul, dan kebanyakan mulai bersandarkan terhadap pemanfaatan (eksploitasi) alam, pertanian, perikanan dan sumberdaya lainnya. Munculnya pusat-pusat perdagangan, pusat pemerintahan, pada saat itu sumberdaya perairan sungai menjadi andalan sarana lintas transportasi.

Tumbuh berkembangnya peradapan manusia, akhirnya mulai sadar bahwa sumberdaya alam khususnya air, memiliki keterbatasan daya dukung dan akhirnya menjadi terganggu karena kurangnya keseimbangan antara besaran imbuhan air kedalam tanah (infiltrasi) dengan besaran potensi air yang mengalir secara lasung ke laut (air limpasan) dan atau menguap (evapotranspirasi), serta pemanfaatan air tanah yang kurang terkontrol. Suatu kenyataan bahwa dua 20-30 tahun yang lalu, sungai-sungai baik di P. Jawa maupun di luar Jawa pada musim kemarau tidak pernah kering. Kehidupan ikan, belut, yuyu masih melimpah, namun sebaliknya kini baru saja tidak hujan satu minggu, dasar sungai telah kelihatan dan yang muncul hanyalah ikan sapu-sapu, sampah dan endapan sedimen.

Terganggunya keseimbangan daya dukung sumberdaya air, dalam kenampakan bentang alam, dicirikan oleh lahan-lahan kritis dengan produktivitas rendah, serta tidak mampu lagi meresapkan air ke dalam tanah. Mencermati uraian tersebut, tampaknya implementasi teknologi sumur resapan ramah lingkungan menjadi strategis untuk disosialisasikan kepada masyarakat, agar mampu menciptakan kesadaran dan kepeduliannya dalam upaya pemulihan air tanah, untuk kepentingan masa kini dan masa mendatang.

Pada suatu daerah tertentu yang memiliki sumberdaya air melimpah, fenomena air hanya dilihat dari dua dimensi yaitu kualitas dan kuantitas. Padahal bicara air tidaklah sederhana, dan ada tiga dimensi yang sering diabaikan yaitu: dimensi ruang, waktu, dan sosial budaya. Selain lima dimensi di atas, sifat dan dinamika air tidak mengenal batas politik. Dalam skala regional daratan yang menguap di Australia, menjadi hujan di Indonesia. Air yang kadang kala berlebihan di DKI Jakarta, sebagian besar bersumber dari Jawa Barat. Demikian halnya dengan hujan asam di Kepulauan Riau, merupakan penyebab polusi dari Singapura. Hingga batas wilayah politik tidak pernah menghambat peredaran (siklus air).

Genesis air di Indonesia menjadi bagian dari siklus hidrologi. Air merupakan bagian dari gerak abadi, mulai dari uap (air, daratan, tumbuhan) _ menjadi awan di angkasa turun kembali menjadi hujan. Hujan sebagian menguap kembali (air intersepsi dan evapotranspirasi), sebagian masuk ke dalam tanah (infiltrasi dan perkolasi) dan sebagian besar mengalir ke sungai dan ke laut (run off).

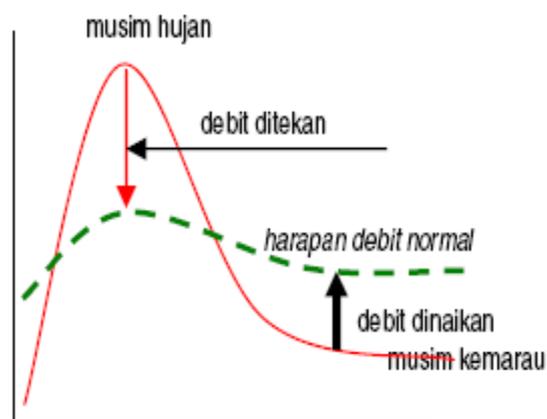
Air hujan jatuh, meresap ke dalam tanah, melalui dua tahapan yaitu infiltrasi, dan perkolasi. Infiltrasi merupakan proses meresapnya air ke lapisan tanah, dan dalam perjalanannya (perkolasi) ada yang sebagian menyimpang ke arah samping menjadi air rembesan, sedangkan lainnya menuju ke arah air bawah tanah (ground water).

Secara matematis bahwa debit air perkolasi (Y), merupakan faktor dari variabel-variabel besaran intensitas hujan (X1), porositas dan premabilitas tanah (X2), konfigurasi lapang (X3), olah tanah (X4), dan penutupan vegetasi (X5). Kemampuan manusia sangat tidak mungkin dalam mengatur alam (hujan, sifat fisik tanah, dan konfigurasi lapang). Akan tetapi aktivitas terhadap olah tanah maupun perlakuan terhadap vegetasi alam, menyebabkan terdegradasinya lahan, padahal vegetasi merupakan salah satu kunci masuknya air ke dalam tanah. Tutupan vegetasi dan struktur tanahnya. Dengan demikian terdegradasinya tata air di P. Jawa yang kini telah menunjukkan ketidak-seimbangan antara

potensi ketersediaan air tanah pada musim kemarau dan penghujan, ada kecenderungan disebabkan oleh tutupan vegetasi dan perubahan struktur tanahnya.

Kemerosotan sumberdaya alam dan lingkungan hidup, membawa konsekuensi bukan saja menurunnya tingkat produktivitas, akan tetapi menhangatkan isu yang selama ini masih menjadi silang pendapat. Praktek penggunaan tanah yang keliru dan kurang tepat akan mengakibatkan fenomena alam seperti banjir, kekeringan, perubahan iklim global, dan bahkan kemungkinan terjadinya penggurunan (*desertification*).

Pada musim hujan debit aliran tinggi, namun sebaliknya pada musim penghujan debit rendah bahkan kering. Dalam pada itu, upaya menyimpan air pada musim hujan melalui teknologi resapan buatan merupakan cara yang efektif, untuk menekan besaran debit. Ketersediaan air tanah yang cukup (surplus), akan mengimbangi kekeringan pada musim kemarau dalam bentuk air aliran base flow.



Gambar 5.1. Ilustrasi hidrograf musim hujan dan kemarau

5.2. Konsep Sumur Resapan

Hujan merupakan salah satu siklus hidrologi yang dapat membantu pelestarian air tanah (khususnya air tanah dangkal). Ketika musim hujan turun, sebagian besar air akan terbuang langsung ke laut, selain juga menimbulkan daerah-daerah genangan dan banjir.

84 Sebaliknya, ketika musim kemarau, sumber air milik warga banyak yang mengalami kekeringan. Padahal hingga kini, masih banyak masyarakat yang menggunakan air tanah. Secara alami, kekurangan air tanah dapat diatasi, apabila sistem/metode pengelolaannya ditangani secara baik. Salah satu cara yang paling efektif adalah peran serta masyarakat untuk ikut aktif di dalam penerapan langsung melestarikan air tanah karena dari semua

pencemaran yang terjadi manusialah yang paling merasakan akibatnya. Untuk itu, perlu diadakan sosialisasi mengenai sumur resapan penampung air hujan dalam mengatasi masalah air tanah tersebut.

Berbagai kegiatan dilakukan untuk Pemasyarakatan Sumur Resapan dengan target anggota masyarakat secara luas, termasuk sekolah-sekolah. Pengenalan terhadap murid SD harus ditanamkan sejak dini dan guru menjadi mediator dalam menyampaikan pesan-pesan penyelamatan air melalui kurikulum yang diajarkan di sekolah. Sosialisasi tentang sumur resapan ini, diharapkan seluruh masyarakat dapat lebih peduli akan kondisi air dan bermanfaat bagi para siswa/siswi agar sedini mungkin melestarikan air yang berguna untuk masa depan mereka.

130 Sumur resapan merupakan suatu upaya untuk meresapkan air hujan dalam rangka menambah cadangan air tanah. hal ini mengingat persediaan air di negara ini sudah sangat menipis, ditambah lagi dengan masalah air lainnya seperti kelebihan air di saat musim hujan yang mengakibatkan masalah banjir dan musim kemarau sering kekurangan air, sehingga seluruh masyarakat harus segera mungkin menyadari dan menyelamatkan air.

Sumur resapan dapat berfungsi untuk mencegah penurunan tanah, mengurangi genangan banjir dan aliran air di permukaan tanah, mengurangi meluasnya penyusutan/instruksi laut ke arah daratan, menambah potensi air tanah. 46 Sumur resapan merupakan sistem resapan buatan, yang dapat menampung air hujan akibat dari adanya penutupan tanah oleh bangunan berupa lantai bangunan maupun dari halaman yang di-plester. Selain itu, sumur resapan berfungsi untuk menampung, menyimpan dan menambah cadangan air tanah serta dapat mengurangi limpasan air hujan ke saluran pembuangan dan badan air lainnya sehingga dapat dimanfaatkan pada musim kemarau dan sekaligus mengurangi timbulnya banjir.

Di beberapa daerah sebenarnya telah diwajibkan dan dibuatkan perda-nya tentang pembuatan sumur resapan rumah tangga / bangunan. Namun apakah hal itu dilaksanakan dan yang masih kewalahan adalah pengawasannya. Kita harus menghargai dan mendukung inisiatif untuk peduli dengan kelangsungan lingkungan hidup di tengah masa yang modern, simple dan praktis. Salah satunya adalah menyeimbangkan daya dukung lahan tertutup terhadap penyerapan debit air, terutama air hujan yang berlimpah dengan penyediaan sumur resapan air. Hal ini bukan satu-satunya solusi namun perlu didukung banyak faktor.

Tabel 5.1. Jarak minimum sumur resapan air hujan terhadap bangunan

No.	Jenis Bangunan	Jarak minimum dari sumur resapan air hujan (m)
1.	Sumur resapan air hujan/ sumur air bersih	3
2.	Pondasi bangunan	1
3.	Bidang resapan /sumur resapan tangki septik	5

Mengolah air bersih untuk keperluan sehari-hari, ternyata tidaklah sulit. Untuk membuat sendiri proses pengolahan air yang bersumber dari air hujan, air sungai, air rawa, atau air sumur yang berbau.

Caranya sederhana:

- Air hujan pada umumnya cukup bersih, kecuali pH dan mineral yang bermasalah. Dengan karbon aktif yang berkualitas bagus pH air bias meningkat menjadi 7. karbon aktif juga dapat menetralsir racun dalam air.
- Air sumur ada yang jernih, kemudian selang beberapa waktu menjadi merah the. Biasanya air ini mengandung ion Fe^{++} & Mn^{++} . Dapat dinetralkan dengan zeolag atau manganese green sand. Mineral Mn & Fe akan terperangkap pada pori-pori zeolag yang berbentuk pipa-pipa mikro.
- Air rawa bila mengandung lignin (air gambut), maka gunakanlah Lignin Absorbent, tambahkan Coagulant & Flocculant. Coagulant akan membuat lignin terserap pada bentuk butiran, kemudian flocculant membentuk gumpalan lebih besar dan mengendap pada dasar tangki pengendap (settling tank). Air yang telah jernih kemudian disaring kembali melalui tabung filter yang berisi manganese green sand atau zeolag, kemudian dilewatkan ke tabung filter yang berisi karbon aktif.
- Air sungai kadang mengandung lignin (khususnya daerah Riau) atau mengandung koloid berwarna keruh tanah. Khusus yang mengandung lignin /gambut, gunakan trik diatas seperti pada proses pengolahan air rawa.

- Bila air bau (mengandung banyak bakteri) maka kombinasikan dengan kaporit injector padat. Bau kaporit akan dinetralkan oleh zeolit & karbon aktif. Bakteri pada air biasanya ditandai oleh adanya lumut yang tumbuh di dalam tangki air, atau lumut pada pipa distribusi yang terkena sengatan matahari. Maka tinggikan tower s/d meter, supaya sumbatan pada kran dapat lepas dengan mudah atau bersih dengan sendirinya karena tekanan tinggi. Pemakaian kaporit juga bisa menjaga usia pakai karbon aktif lebih lama, karena tekanan tinggi. Pemakaian kaporit juga bisa menjaga usia pakai karbon aktif lebih lama, karena lumut yang tumbuh/terperangkap pada permukaan karbon aktif akan mati.

5.3. Sistem Drainase Sumur Resapan

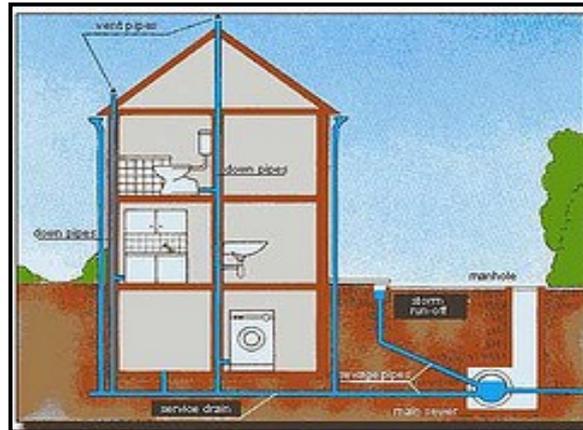
Proses pembangunan perkotaan dan perumahan sungguh merupakan hal yang kontradiksi jika ditinjau dari ketersediaan air tanah dan peningkatan puncak limpasan air permukaan. Perubahan ini disebabkan oleh terjadinya penurunan imbuhan air tanah dan penambahan pengeluaran air dari dalam tanah, sehingga mengganggu keseimbangan sistem hidrologi air bawah permukaan, dan menghasilkan penurunan paras air tanah.

Di negara yang telah maju, peningkatan kuantitas penduduk tidak mengganggu ketersediaan air tanah, hal ini disebabkan oleh beralihnya atau ditinggalkannya sumur-sumur individu dan ditukar atau berganti kepada sumur umum dalam yang disediakan oleh instansi tertentu seperti PDAM atau semacamnya yang merupakan bagian dari pemerintah local setempat. Hal ini bertolak belakang dengan kondisi yang terjadi di Indonesia, karena kecenderungan apabila jumlah penduduk makin bertambah, maka jumlah sumur-sumur yang dibuat oleh individu pun makin banyak.

Air tanah yang dikeluarkan dari dalam bumi pada dasarnya sama saja dengan pengeluaran bahan/material berharga yang lain seperti : mineral, emas, batu bara, minyak atau gas. Air biasanya mempunyai batasan yang istimewa, yaitu dianggap sebagai sumber alami yang dapat diperbaharui. Angapan ini perlu kiranya untuk dikoreksi..!! Karena sebenarnya anggapan ini hanya dapat berlaku jika terdapat keseimbangan diantara imbuhan air dengan eksploitasi didalam kawasan tangkapan/tadahan air.

Sumur resapan air tanah adalah salah satu upaya untuk meningkatkan imbuhan air tanah, disamping itu manfaat yang sangat berguna adalah dapat mengurangi banjir akibat

limpasan air permukaan. Dengan pembiayaan yang (secara relatif) tidak terlalu tinggi, pengadaan sumur resapan ini dapat dilakukan oleh setiap pembangunan satu rumah tinggal.



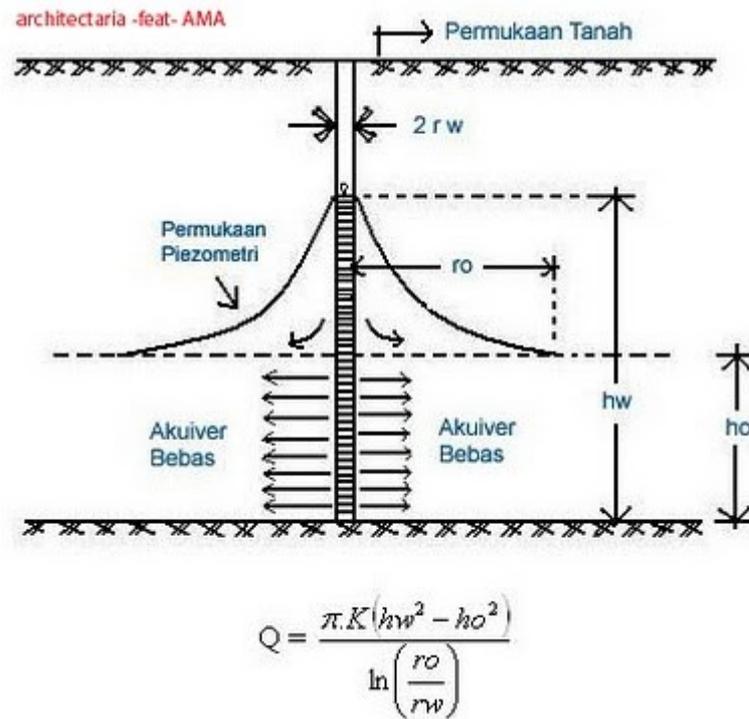
Gambar 5.2. Sistem drainase resapan air

Sumber : ameliaday.wordpress.com/.../

8 Sumur resapan dibuat dengan tujuan untuk mengalirkan air buangan dari permukaan tanah ke akuifer air tanah. Alirannya berlawanan dengan sumur pompa, tetapi konstruksi dan cara pembangunannya mungkin dapat saja sama. Pengimbuhan sumur akan lebih praktis apabila terdapat akuifer tertekan yang dalam dan perlu untuk diimbukan, atau pada suatu kawasan kota yang memiliki lahan yang sempit/terbatas.

Gambar 5.3. di bawah ini menerangkan proses air imbuhan masuk kedalam akuifer bebas dan akuifer tertekan.

Untuk Akuifer Bebas memenuhi persamaan :



Gambar 5.3. Profil aliran dan persamaan aliran pada akuifer bebas.

70 Dengan :

Q = Debit Aliran

K = Koefisien Permeabilitas Tanah

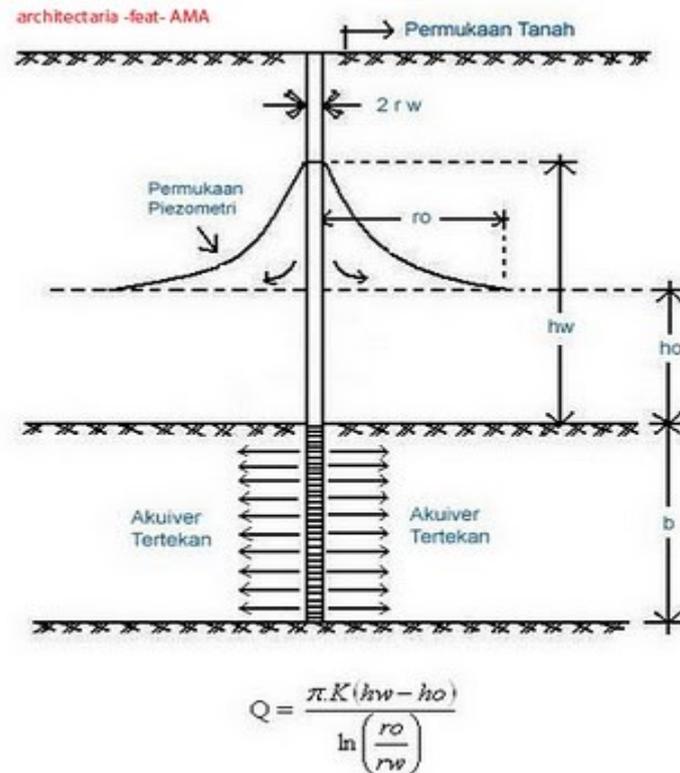
r_w = Jari-jari sumuran

r_o = Jari-jari pengaruh aliran

h_o = Tinggi muka air tanah

h_w = Tinggi muka air setelah imbuhan

Sementara untuk Akuifer tertekan memenuhi persamaan :

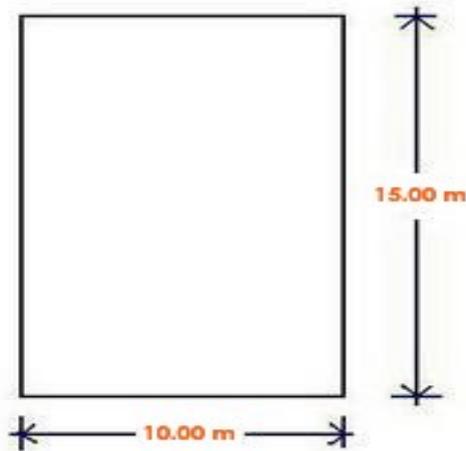


Gambar 5.4. Profil aliran dan persamaan aliran pada akuifer tertekan

5.3.1. Volume air hujan yang hilang

Berapa volume air yang hilang akibat proses pembangunan kawasan perumahan dan sarana publik lainnya seperti jalan raya. Prinsip-prinsip dalam dunia konstruksi seringkali bersifat kontradiksi dengan kaidah konservasi air. Misalnya, pada pembangunan jalan raya.. Lapisan permukaan (pavement) pada jalan raya dibuat dengan tujuan agar air dari luar permukaan langsung dialirkan ke saluran drainase di sisi kiri dan kanan jalan sehingga tidak masuk ke dalam struktur perkerasan jalan di bawah pavement. Akibatnya pada musim hujan, air dalam volume yang besar tidak diresapkan ke dalam tanah dan langsung dibuang/dilimpaskan ke daerah limpasan. Akibatnya, pada musim hujan akan terjadi masalah banjir di daerah-daerah limpasan dan pada musim kemarau, daerah potensial tadahan air menjadi kekurangan air karena air yg harusnya disimpan sebagai cadangan pada musim hujan langsung dilimpaskan begitu saja.

1. Kehilangan Air Akibat Konstruksi Rumah Tinggal



Dari gambar diatas diketahui Panjang : 15,00 m dan lebar 10, 00 m.

Luas Bangunan : 10 m x 15 m \rightarrow A = 150 m²

Jika Tanah seluas 150 m² dibebani hujan dengan intensitas (I) : 180 mm/hr , maka jumlah air hujan yang hilang akibat lahan yang tertutup bangunan adalah sebesar:

$$I = 180 \text{ mm/hr}$$

$$I = 0.18 / (24 \times 60)$$

$$I = 0.000125 \text{ m/jam}$$

Jumlah (Volume) air hujan yang hilang sebesar:

$$V = 0.000125 \times 150$$

$$V = 0.01875 \text{ m}^3$$

Jika dalam 1 kawasan hunian terdapat 1000 rumah, maka Volume air yang berpotensi untuk hilang akibat lahan yang tertutup oleh bangunan adalah sebesar :

$$V_{\text{lost}} = 0.01875 \text{ m}^3 \times 1000$$

$$V_{\text{lost}} = 18,75 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{lost}} = 18.750 \text{ liter} \rightarrow \text{Debit air (Q) yang hilang} = 18,75 \text{ m}^3/\text{jam} = 18.750 \text{ liter/jam}$$

Kalau diasumsikan hujan terjadi selama 10 jam, maka volume air yang hilang adalah sebesar :

$$V \text{ lost} = 18.750 \text{ liter} \times 10$$

$$V \text{ lost} = 187.500 \text{ liter}$$

Bila diasumsikan jika hujan tersebut terjadi diaerah (yang seharusnya menjadi daerah) imbuhan air hujan seperti misalnya kota Bogor.

Dari data didapatkan luas wilayah Kota Bogor sebesar : $118 \text{ km}^2 = 118.500.000 \text{ m}^2$. Diasumsikan 80% wilayah kota Bogor telah dimanfaatkan untuk bangunan dan fasilitas publik, maka volume air yang yang hilang akibat bangunan dan fasilitas publik adalah sebesar :

$$V \text{ lost} = (0,8 \times 118.500.000 \text{ m}^2) \times 0,000125 \text{ m}$$

$$V \text{ lost} = 94.800 \text{ m}^2 \times 0,000125 \text{ m}$$

$$V \text{ lost} = 11.850 \text{ m}^3$$

$$V \text{ lost} = 11.850.000 \text{ liter} \rightarrow \text{Debit air (Q) yang hilang} = 11.850 \text{ m}^3/\text{jam} = 11.850.000 \text{ liter/jam}$$

Jika Hujan terjadi selama 5 jam, maka volume air yang hilang adalah sebesar :

$$V \text{ lost} = 11.850.000 \text{ liter/jam} \times 5 \text{ jam}$$

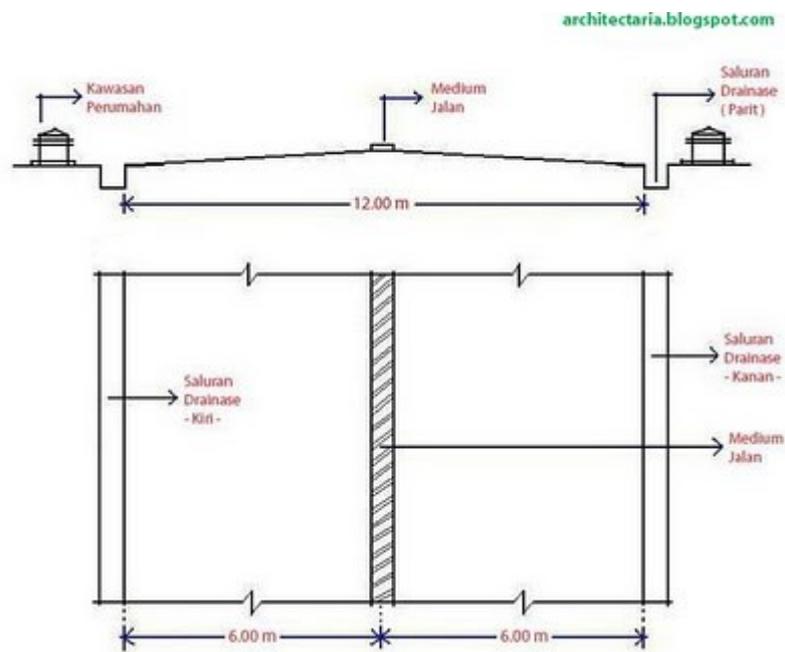
$$V \text{ lost} = 59.250.000 \text{ liter}$$

Jika hujan terjadi selama 10 jam, maka volume air yang hilang adalah sebesar :

$$V \text{ lost} = 11.850.000 \text{ liter/jam} \times 10 \text{ jam}$$

$$V \text{ lost} = 118.500.000 \text{ liter} \sim 119.000.000 \text{ liter}$$

2. Kehilangan Air Akibat Konstruksi Jalan



Potongan melintang Konstruksi Jalan dan Tampak Atas)

Diasumsikan Type jalan adalah : Arteri ; 2 Jalur 2 Arah

Lebar Jalan = 12,00 m

Panjang Badan Jalan (Bogor-Jakarta) = 88 km \rightarrow 88.000 m

Luas Badan Jalan = 88.000 m x 12 m

$A = 1.056.000 \text{ m}^2$

Jika Konstruksi jalan tersebut dibebani hujan dengan intensitas (I) = 180 mm/hr \rightarrow 0,000125 m/jam

$I = 0,000125 \text{ m/jam}$. Berarti tinggi muka air akibat hujan selama 1 jam = 0,000125 m.

Volume air yang hilang (V_{lost}) = $1.056.000 \text{ m}^2 \times 0,000125 \text{ m}$

$V_{\text{lost}} = 132 \text{ m}^3$

$V_{\text{lost}} = 132.000 \text{ liter}$

Equivalent dengan Debit air (Q) yang hilang = $132 \text{ m}^3 / \text{jam} \rightarrow 132.000 \text{ liter/jam}$.

Jika hujan yang terjadi selama 10 jam, maka volume air yang hilang adalah sebesar :

$$\rightarrow V \text{ lost} = 132.000 \text{ liter/jam} \times 10 \text{ jam}$$

$$\rightarrow V \text{ lost} = 1.320.000 \text{ liter}$$

Direncanakan penggunaan sumur resapan untuk mengimbuhkan air hujan kedalam tanah, diasumsikan dimensi sumur resapan yang akan dipergunakan adalah : diameter (d) : 40 cm dan tinggi (h) : 100 cm.

$$\text{Volume Sumur Resapan} = (1/4 \times \pi \times d^2) \times h$$

$$\text{Volume Sumur Resapan} = (1/4 \times 3,14 \times 0,4^2) \times 1$$

$$\text{Vol' Sumur} = 0,1256 \text{ m}^3 \sim 0,126 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol' Sumur} = 126 \text{ liter} \dots\dots\dots \text{Cara (1)}$$

$$\text{Cek dgn Rumus Volume Silinder} \rightarrow V = \pi \times r^2 \times h$$

$$\text{Volume Sumur Resapan} = 3,14 \times 0,2^2 \times 1$$

$$\text{Vol' Sumur} = 0,1256 \text{ m}^3 \sim 0,126 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol' Sumur} = 126 \text{ liter} \dots\dots\dots \text{Cara (2)}$$

Kontrol \rightarrow Cara (1) dan Cara (2) hasilnya sama : $0,126 \text{ m}^3 = 126 \text{ liter}$.

Jika volume hilang air hujan akibat perumahan dan akibat jalan dijumlahkan, maka total volume air hujan yang hilang akibat hujan selama 10 jam adalah sebesar :

$$V \text{ lost} = (119.000.000 \text{ liter} + 1.320.000 \text{ liter})$$

$$V \text{ lost} = 120.320.000 \text{ liter, jika dalam meter kubik (m}^3) \rightarrow V \text{ lost} = 120.320 \text{ m}^3$$

Jumlah Sumur Resapan yang dibutuhkan sepanjang 88 km :

$$n = (120.320.000 \text{ liter} / 126) / 88$$

$$n = 10.851,37 \sim 10.852 \text{ buah}$$

Jika sumur resapan akan dipasang pada saluran drainase sisi kiri dan sisi kanan jalan, maka pada saluran drainase kiri dipasang 5.426 buah sumur resapan dan dibagian kanan juga 5.426 buah.

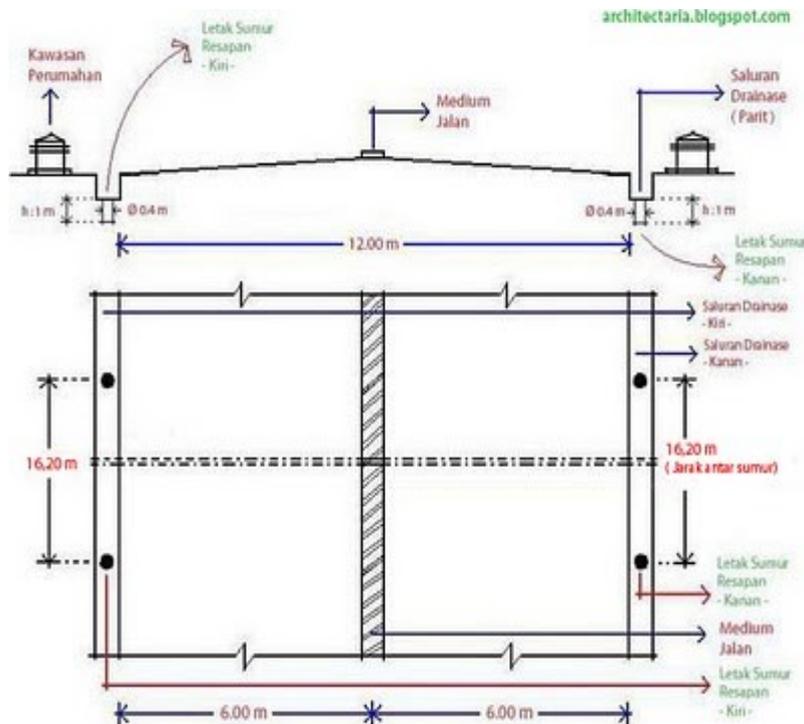
Jarak antar sumur resapan (s) = $88.000 \text{ m} / 5.426 \text{ buah}$

$$s = 16,22 \sim 16,20 \text{ meter}$$

→ Jadi sumur resapan dipasang dengan jarak antar sumur (s) : 16,20 meter.

Dengan durasi hujan 10 jam saja, volume air yang akan dilimpaskan ke Jakarta sudah sebesar : 120.320.000 liter (120.320 m³) .

Hasil dari perhitungan-perhitungan (perencanaan) diatas, selanjutnya di integrasikan dalam bentuk gambar seperti gambar dibawah ini :



Konstruksi Jalan–Potongan melintang, tampak atas , penempatan sumur resapan dan dimensi)

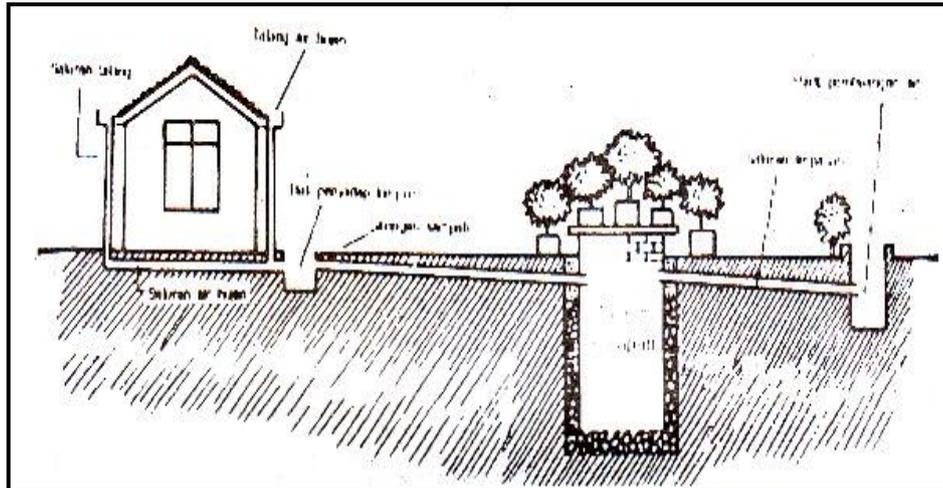
Pada proses perencanaan di atas, misalnya, kota Bogor sebagai daerah imbuhan (tangkapan) air hujan, dan Jakarta sebagai kota limpasan. Pertanyaan yang muncul dari hal tersebut adalah, apakah perencanaan diatas dapat dijadikan solusi mengatasi masalah banjir yang belakangan sering melanda kota-kota pantai dataran rendah, seperti Jakarta. Kota itu sendiri berhadapan dengan bahaya banjir akibat beban guyuran air hujan yang melanda kota tersebut. Selain itu, masalah lain adalah kondisi tanah dan topografi daerah yang berbentuk cekungan. Untuk masalah ini, tentunya perencanaan seperti di atas tidak dapat dipergunakan sebagai solusi.

Untuk masalah banjir di kota Jakarta yang diakibatkan karena topografi daerahnya yang berbentuk cekungan, solusi yang mungkin adalah **sistem drainase pipa resapan** atau dengan membuat **sistem kanal banjir** seperti yang sudah ada saat ini. Tetapi **sistem kanal banjir** juga harus didukung oleh perilaku masyarakat untuk tertib menjaga kebersihan lingkungan, yaitu tidak membuang sampah ke daerah kanal banjir yang aslinya diperuntukkan sebagai sistem drainase pencegah banjir.

Sementara itu, perencanaan **sistem drainase sumur resapan** dimaksudkan hanya untuk mengurangi volume air hujan kiriman dari daerah imbuhan seperti Bogor ke daerah limpasan seperti Jakarta, yang mana selama ini dianggap bahwa banjir di kota Jakarta terjadi akibat air hujan kiriman dari daerah-daerah tangkapan /imbuhan di kota-kota sekitarnya.

5.4. Sumur Resapan di Pekarangan Rumah

Keberadaan sumberdaya air di alam menunjukkan dua hal yang menarik,yaitu; di permukaan tanah, volume banjir dapat mencapai atap rumah; dan di bawah tanah, permukaan air tanah (water table) terus mengalami penurunan. Untuk meminimumkan dampak negatif yang mungkin terjadi akibat dari kedua hal di atas, dan sekaligus dapat menjaga cadangan air, maka dapat dibuat sumur resapan air hujan. Meskipun tidak seluruh masalah dapat diatasi, namun sumur resapan ini secara teoritis akan banyak membantu meringankan kedua masalah tersebut sekaligus.



Gambar 5.5. Konstruksi Sumur Resapan Pada Pekarangan

Sumber : anisavitri.wordpress.com/.../

Air hujan dari cucuran atap dialirkan ke bak penampung, kemudian ke sumur resapan. Kelebihannya masuk ke selokan atau riol kota. Pemukiman padat bisa mengatasi banjir dengan sistim ini dengan gotong royong dan patungan. 5 rumah 1 sumur resapan. Air hujan yang jatuh ke halaman setidaknya 85 persen harus bias diserap oleh halaman tersebut agar tidak meluapkan banjir. Halaman rumah secara alamiah bias menyerap curahan air hujanyang jatuh, termasuk dari atap rumah, yang mengalir melalui talang. Di sini sumur resapan akan mengurangi sumbangan bencana banjir dengan mengurangi sumbangan run off air hujan.

Dibawah tanah, resapan ini akan masuk merembes lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan tidak jenuh, dimana tanah (dari berbagai jenis) masih bias menyerap air, kemudian masuk menembus permukaan tanah (water table) di mana dibawahnya terdapat air tanah (ground water) yang terperangkap di lapisan tanah yang jenuh. Air tanah inilah yang sebenarnya di konsumsi. Masuknya air hujan melalui peresapan inilah yang menjaga cadangan air tanah agar tetap bisa dicapai dengan mudah. karena permukaan air tanah memang bisa berubah-ubah, tergantung dari suplai dan eksploitasinya. Dengan teralirkan ke dalam sumur resapan, air hujan yang jatuh di areal rumah tidak terbuang percuma ke selokan lalu mengalir ke sungai.



Gambar 5.6. Konstruksi Sumur Resapan SMARTWELL

Sumber : www.untarconstruction.com/.../septiktank.html

SMARTWELL adalah sumur resapan yang dapat digunakan untuk menampung air hujan yang langsung melalui atap atau pipa talang bangunan, bahkan sebagai resapan septictank sehingga mengembalikan kualitas tanah di sekitar rumah anda.

7 Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Tata Cara Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan, menetapkan beberapa persyaratan umum yang harus dipenuhi sebuah sumur resapan yaitu :

1. Sumur resapan harus berada pada lahan yang datar, tidak pada tanah berlereng, curam atau labil.
2. Sumur resapan harus dijauhkan dari tempat penimbunan sampah, jauh dari septic tank (minimum lima meter diukur dari tepi), dan berjarak minimum satu meter dari fondasi bangunan.
3. Penggalan sumur resapan bisa sampai tanah berpasir atau maksimal dua meter di bawah permukaan air tanah. Kedalaman muka air (water table) tanah minimum 1,50 meter pada musim hujan.
4. Struktur tanah harus mempunyai permeabilitas tanah (kemampuan tanah menyerap air) lebih besar atau sama dengan 2,0 cm per jam (artinya, genangan air setinggi 2 cm akan teresap habis dalam 1 jam), dengan tiga klasifikasi, yaitu :
 - Permeabilitas sedang, yaitu 2,0-3,6 cm per jam.
 - Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus), yaitu 3,6-36 cm per jam.

- Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar), yaitu lebih besar dari 36 cm per jam.

5.5. Spesifikasi Sumur Resapan

Sumur resapan dapat dibuat oleh tukang pembuat sumur gali berpengalaman dengan memperhatikan persyaratan teknis tersebut dan spesifikasi sebagai berikut :

1. Penutup Sumur

Untuk penutup sumur dapat dipilih beragam bahan diantaranya :

- Pelat beton bertulang tebal 10 cm dicampur dengan satu bagian semen, dua bagian pasir, dan tiga bagian kerikil.
- Pelat beton tidak bertulang tebal 10 cm dengan campuran perbandingan yang sama, berbentuk cubung dan tidak di beri beban di atasnya atau,
- Ferocement (setebal 10 cm).

2. Dinding sumur bagian atas dan bawah

Untuk dinding sumur dapat digunakan bis beton. Dinding sumur bagian atas dapat menggunakan batu bata merah, batako, campuran satu bagian semen, empat bagian pasir, diplester dan di aci semen.

3. Pengisi Sumur

Pengisi sumur dapat berupa batu pecah ukuran 10-20 cm, pecahan bata merah ukuran 5-10 cm, ijuk, serta arang. Pecahan batu tersebut disusun berongga.

4. Saluran air hujan

Dapat digunakan pipa PVC berdiameter 110 mm, pipa beton berdiameter 200 mm, dan pipa beton setengah lingkaran berdiameter 200 mm.

Satu hal yang penting, setelah sumur resapan dibuat, jangan lupakan perawatannya. Cukup dengan memeriksa sumur resapan setiap menjelang musim hujan atau, paling tidak, tiga tahun sekali.

Dengan membuat sumur resapan di pekarangan setiap rumah, maka diharapkan volume banjir dapat diminimumkan dan sekaligus menjaga cadangan air dalam tanah.

Dalam siklus hidrologi, jatuhnya air hujan ke bumi merupakan sumber air yang dapat dipakai untuk keperluan makhluk hidup. Dalam siklus tersebut, secara alamiah air hujan yang jatuh ke bumi sebagian akan masuk ke perut bumi dan sebagian lagi akan menjadi aliran permukaan yang sebagian besar masuk ke sungai dan akhirnya terbuang

percuma masuk ke laut. Dengan kondisi daerah tangkapan air yang semakin kritis, maka kesempatan air hujan masuk ke perut bumi menjadi semakin sedikit. Sementara itu pemakaian air tanah melalui pompanisasi semakin hari semakin meningkat. Akibatnya terjadi defisit air tanah, yang ditandai dengan makin dalamnya muka air tanah. Hujan berkurang sedikit saja beberapa waktu maka air tanah cepat sekali turun.

Kondisi semakin turunnya muka air tanah kalau dibiarkan terus, maka akan berakibat sulitnya memperoleh air tanah untuk keperluan pengairan pertanian dan keperluan mahluk hidup lainnya. Disamping itu dapat menyebabkan intrusi air laut semakin dalam ke arah daratan. Berkaitan dengan hal tersebut, maka perlu konservasi air sebagai upaya untuk penambahan air tanah melalui pembangunan sumur-sumur resapan. Prinsip dasar konservasi air ini adalah mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam tubuh bumi. Atas dasar prinsip ini maka curah hujan yang berlebihan pada musim hujan tidak dibiarkan mengalir percuma ke laut tetapi ditampung dalam suatu wadah yang memungkinkan air kembali meresap ke dalam tanah (groundwater recharge).

Dengan muka air tanah yang tetap terjaga atau bahkan menjadi lebih dangkal, air tanah tersebut dapat dimanfaatkan pada saat terjadi kekurangan air di musim kemarau dengan jalan memompanya kembali ditempat yang lain ke permukaan.

Tujuan

1. Meningkatkan muka air tanah untuk penyediaan air bagi usaha pertanian dan peternakan.
2. Mengurangi dan mencegah intrusi air laut bagi daerah-daerah pantai.

Sasaran

1. Terjadinya peningkatan muka air tanah sehingga dapat dimanfaatkan untuk pertanian dan peternakan melalui pompanisasi..
2. Terjadinya pengurangan dan tercegahnya intrusi air laut bagi daerahdaerah pantai.

Istilah-istilah

Dalam pedoman teknis ini akan dijumpai istilah-istilah yang memiliki pengertian sebagai berikut :

1. ⁸⁴ Sumur Resapan

Sumur Resapan (infiltration Well) adalah sumur atau lubang pada permukaan tanah yang dibuat untuk menampung air hujan/aliran permukaan agar dapat meresap ke dalam tanah.

2. Dinas Pertanian

Dinas Pertanian meliputi Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura, Dinas Perkebunan dan Dinas Peternakan

3. Lapisan Aquifer

Lapisan dalam tubuh bumi dibawah permukaan tanah yang terdiri dari masa batuan atau masa tanah yang tidak saja mengadung air tetapi juga merupakan sumber air yang tidak tercemar. Lapisan ini ditandai dengan munculnya mata air.

Persyaratan Lokasi

1. Daerah pertanian yang mengalami kekurangan air terutama di musim kemarau walaupun dalam kenyataannya air cukup berlimpah di musim penghujan.
2. Muka air tanah di lokasi tersebut dalam dan jauh dari sumber air permukaan seperti sungai, situ, danau dll.
3. Sebagian besar permukaan lahan relative telah menjadi kedap air(permeabilitas rendah) sehingga tidak memungkinkan air terinfiltrasi masuk ke tubuh bumi.
4. Diprioritaskan untuk mendukung daerah pertanian di pantai yang ada irigasi pompa air tanah dangkal untuk menjaga agar tidak terjadi intrusi air laut.
5. Komoditas yang diusahakan terutama palawija, hortikultura dan tanaman perkebunan semusim.
6. Tingkat kepadatan penduduk dan tingkat kepadatan permukiman di sekitar lokasi cukup tinggi.

Persyaratan Petani dan Kelompok Tani

1. Dari lokasi terpilih diseleksi petani/kelompok tani yang membudidayakan tanaman palawija/ hortikultura/ tanaman perkebunan semusim/ untuk mendukung peternakan .

2. Kelompok tani terpilih adalah kelompok tani yang sudah ada sebelumnya, bukan kelompok yang baru dibentuk karena ada kegiatan ini.
3. Bersedia menyediakan lahan untuk bangunan ini tanpa ganti rugi yang dinyatakan dalam surat pernyataan.
4. Bersedia memelihara bangunan secara berkelompok dan bersedia menanggung biaya pemeliharaan dan dinyatakan dalam surat pernyataan.

Survey Calon lokasi

Penanggung Jawab Kegiatan menentukan calon lokasi dan calon kelompok tani sesuai dengan persyaratan.

Pencatatan Koordinat

Lokasi sumur resapan yang akan dibuat supaya dicatat koordinat geografisnya yang meliputi : lintang dan bujur; ketinggian lokasi (dpl); dengan menggunakan Global Positioning System (GPS) atau dengan ekstrapolasi peta topografi yang tersedia. Data koordinat sumur resapan ini selanjutnya diperlukan untuk menyusun sistem basis data pengelolaan lahan dan air sekaligus memantau kinerja pelaksanaan kegiatan yang telah berjalan.

Desain Sederhana

Desain sederhana dibuat oleh Aparat Dinas Pertanian Kabupaten/Kota bersama dengan petani/kelompok tani. Desain dibuat sesederhana mungkin agar dapat dibaca oleh pelaksana (petani/kelompok tani). Hasil Desain harus mendapat persetujuan dari Kepala Dinas Pertanian Kabupaten/ Kota.

Pengadaan Bahan dan Peralatan

Pengadaan bahan dan peralatan dilaksanakan oleh petani/kelompok tani dengan mengikuti pedoman pengelolaan anggaran yang dikeluarkan oleh Ditjen Pengelolaan Lahan dan Air.

5.6. Konstruksi Sumur Resapan

Pembangunan sumur resapan dilakukan oleh pelaksana yang telah ditunjuk (kelompok tani), dilakukan secara swakelola (padat karya) agar petani mampu mengembangkan sumur resapan dan merasa ikut memiliki.

1. Beberapa Ketentuan Umum untuk Pembangunan Konstruksi Sumur Resapan
 - a. Sumur resapan sebaiknya berada diatas elevasi/kawasan sumursumur gali biasa.
 - b. Untuk menjaga pencemaran air di lapisan aquifer, kedalaman sumur resapan harus diatas kedalaman muka air tanah tidak tertekan (unconfined aquifer) yang ditandai oleh adanya mata air tanah.
 - c. Pada daerah berkapur/karst perbukitan kapur dengan kedalaman/solum tanah yang dangkal, kedalaman air tanah pada umumnya sangatlah dalam sehingga pembuatan sumur resapan sangatlah tidak direkomendasikan. Demikian pula sebaliknya di lahan pertanian pasang surut yang berair tanah sangat dangkal.
 - d. Untuk mendapatkan jumlah air yang memadai, sumur resapan harus memiliki tangkapan air hujan berupa suatu bentang lahan baik berupa lahan pertanian atau atap rumah.
 - e. Sebelum air hujan yang berupa aliran permukaan masuk kedalam sumur melalui saluran air, sebaiknya dilakukan penyaringan air di bak kontrol terlebih dahulu.
 - f. Bak kontrol terdiri-dari beberapa lapisan berturut-turut adalah lapisan gravel (kerikil), pasir kasar, pasir dan ijuk.
 - g. Penyaringan ini dimaksudkan agar partikel-partikel debu hasil erosi dari daerah tangkapan air tidak terbawa masuk ke sumur sehingga tidak menyumbat pori-pori lapisan aquifer yang ada.
 - h. Untuk menahan tenaga kinetis air yang masuk melalui pipa pemasukan, dasar sumur yang berada di lapisan kedap air dapat diisi dengan batu belah atau ijuk.
 - i. Pada dinding sumur tepat di depan pipa pemasukan, dipasang pipa pengeluaran yang letaknya lebih rendah dari pada pipa pemasukan untukantisipasi manakala terjadi overflow/luapan air di dalam sumur. Bila tidak dilengkapi dengan pipa pengeluaran, air yang masuk ke sumur harus dapat diatur misalnya dengan seka balok dll.
 - j. Diameter sumur bervariasi tergantung pada besarnya curah hujan, luas tangkapan air, konduktifitas hidrolika lapisan aquifer, tebal lapisan aquifer dan daya tampung lapisan aquifer. Pada umumnya diameter berkisar antara 1 – 1,5 m
 - k. Tergantung pada tingkat kelabilan/kondisi lapisan tanah dan ketersediaan dana yang ada, dinding sumur dapat dilapis pasangan batu bata atau buis beton. Akan

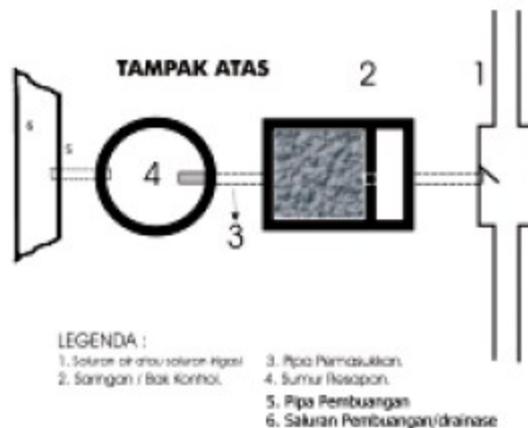
lebih baik bila dinding sumur dibuat lubang-lubang air dapat meresap juga secara horizontal.

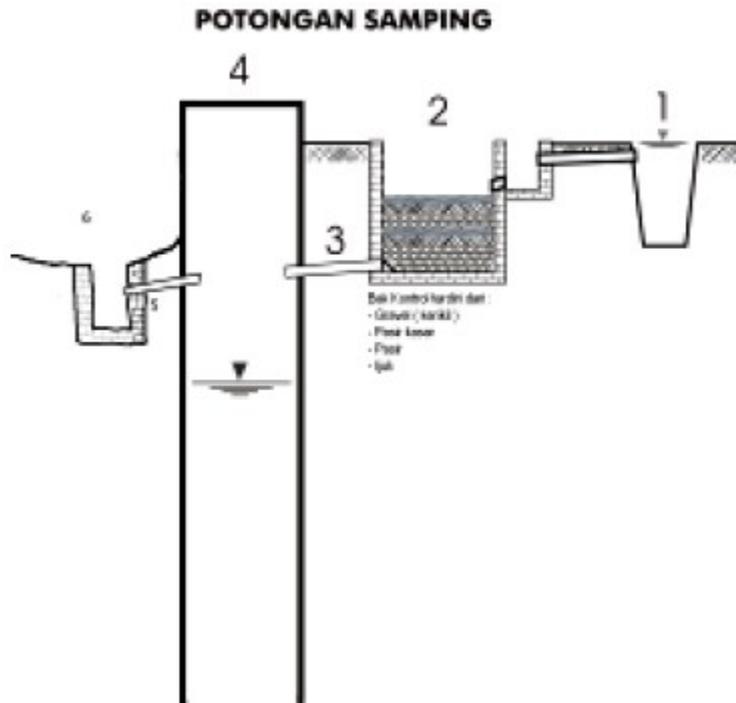
1. Untuk menghindari terjadinya gangguan atau kecelakaan maka bibir sumur dapat dipertinggi dengan pasangan bata dan atau ditutup dengan papan/plesteran.

2. Komponen Bangunan Sumur Resapan

Bangunan sumur resapan sekurang-kurangnya terdiri dari :

- a. Saluran air sebagai jalan air yang akan dimasukkan ke dalam sumur.
- b. Bak kontrol yang berfungsi untuk menyaring air sebelum masuk sumur resapan.
- c. Pipa pemasukan atau saluran air masuk. Ukuran tergantung jumlah aliran permukaan yang akan masuk.
- d. Sumur resapan
- e. ¹⁴² Pipa pembuangan yang berfungsi sebagai saluran pembuangan jika air dalam sumur resapan sudah penuh.





5.7. Skema Teknis Sumur Resapan

Pengembangan Sumur Resapan adalah merupakan salah satu upaya pengisian air tanah secara artificial sebagai alternatif proses pengisian air tanah alami yang relatif lambat melalui proses infiltrasi. Proses ini menjadi sangat tidak signifikan manakala hampir sebagian besar recharge area telah menjadi kedap air atau upaya konservasi tanah dan air di daerah hulu sangat tidak memadai. Oleh karena itu, pembangunan sumur resapan adalah merupakan salah satu upaya untuk memperbaiki kuantitas dan sekaligus kualitas air tanah yang saat ini semakin terancam akibat eksploitasi air tanah, pemompaan berlebih, intrusi air asin, persapan limbah industri dll.

Pembangunan sumur resapan ini dapat dikombinasikan dengan pembangunan embung atau check dam sebagai penampung air luapan manakala kapasitas tampung embung terlampaui pada saat hujan besar. Dengan adanya pembangunan sumur – sumur resapan khususnya di lahan usaha tani, diharapkan air hujan dapat diresapkan dan disimpan sementara di bawah tanah di lapisan aquifer. Air tersimpan kemudian dapat dimanfaatkan kembali untuk kegiatan usahatani terutama dimusim kemarau dalam rangka mengantisipasi ancaman kekurangan air atau kekeringan.

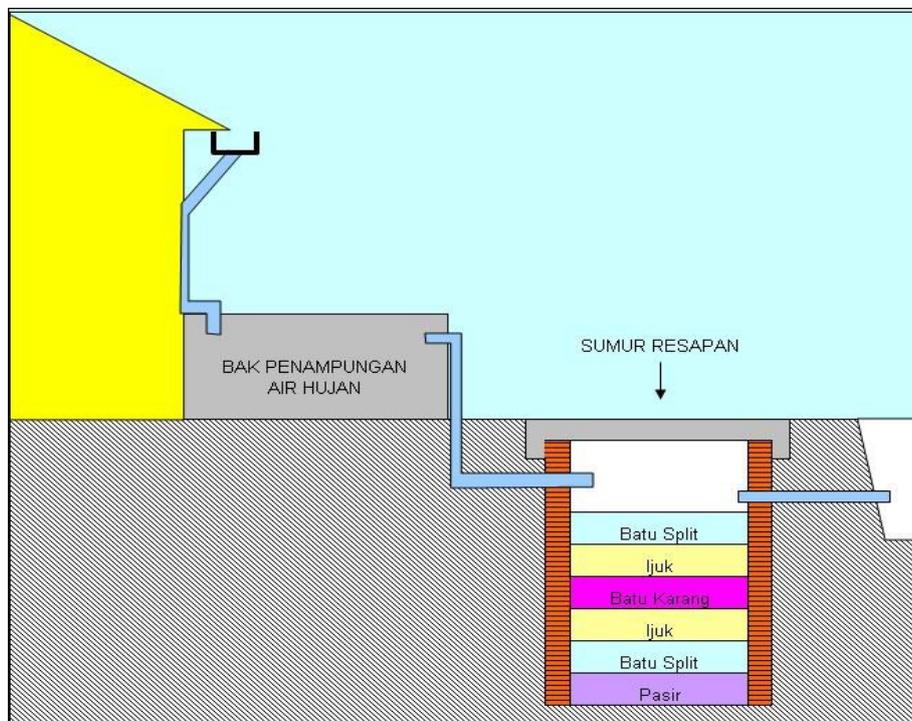
Untuk mendukung konsep rumah ramah lingkungan (*eco home*), mulai dari perencanaan rumah juga harus menggunakan konsep ramah lingkungan (*eco design*). Salah

satu unsur dalam rumah ramah lingkungan *sumur resapan*. Sumur resapan berguna untuk menampung air hujan sebagai cadangan air tanah.

Syarat untuk membuat sumur resapan *adalah* :

- dibuat pada tanah yang datar bukan pada tanah miring
- minimal berjarak 1,5 meter dari pondasi
- minimal berjarak 6 meter dari septik tank atau tempat timbunan sampah

Jenis dari sumur resapan bermacam - macam, salah satunya seperti gambar diatas, dibuat dengan kedalaman 2 meter, lebar 1,2 meter , dinding sumur dibuat dengan bata merah dan lubang sumur diisi dengan pasir, kerikil/split/koral, ijuk dan batu karang dengan ketebalan masing-masing 25 cm.

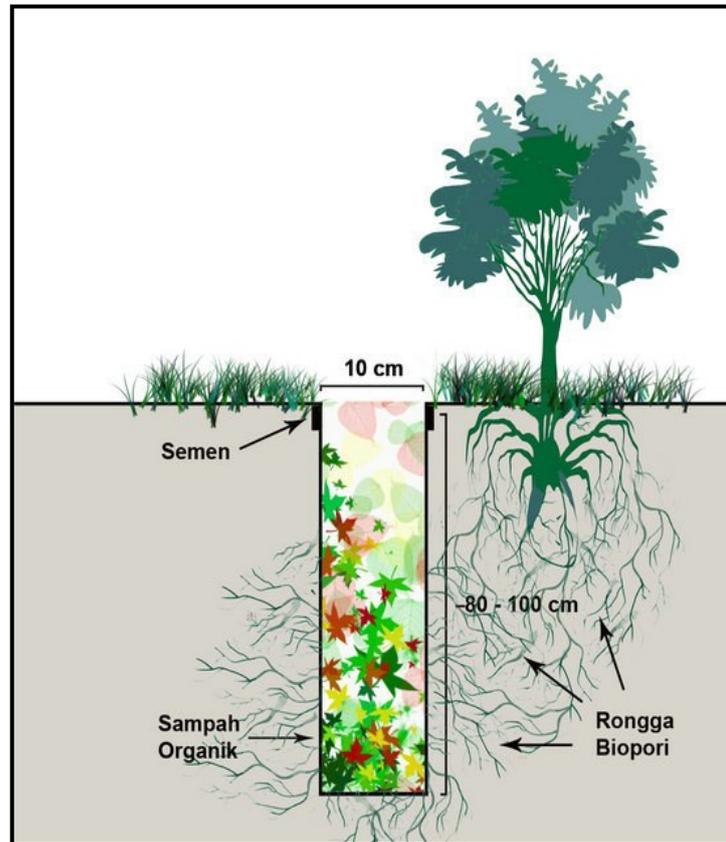


Gambar 5.8. Sistem Resapan Air pada Suur Resapan

Sumber : handi-s-salam.blogspot.com/

Sebelum air hujan masuk dalam sumur resapan, baik sekali jika air hujan di tampung terlebih dahulu pada **bak penampungan air hujan**, bak ini berguna untuk menampung air hujan dari talang air dan dapat digunakan untuk mencuci kendaraan dan menyiram tanaman, bila bak sudah penuh maka air hujan akan mengalir kedalam sumur resapan, bila sumur resapan penuh barulah air hujan dibuang ke saluran pembuangan (got).

Dengan bak penampungan air hujan dan sumur resapan ini, maka kita telah ikut menjaga lingkungan dengan ketersediaan air tanah terutama didaerah perkotaan.

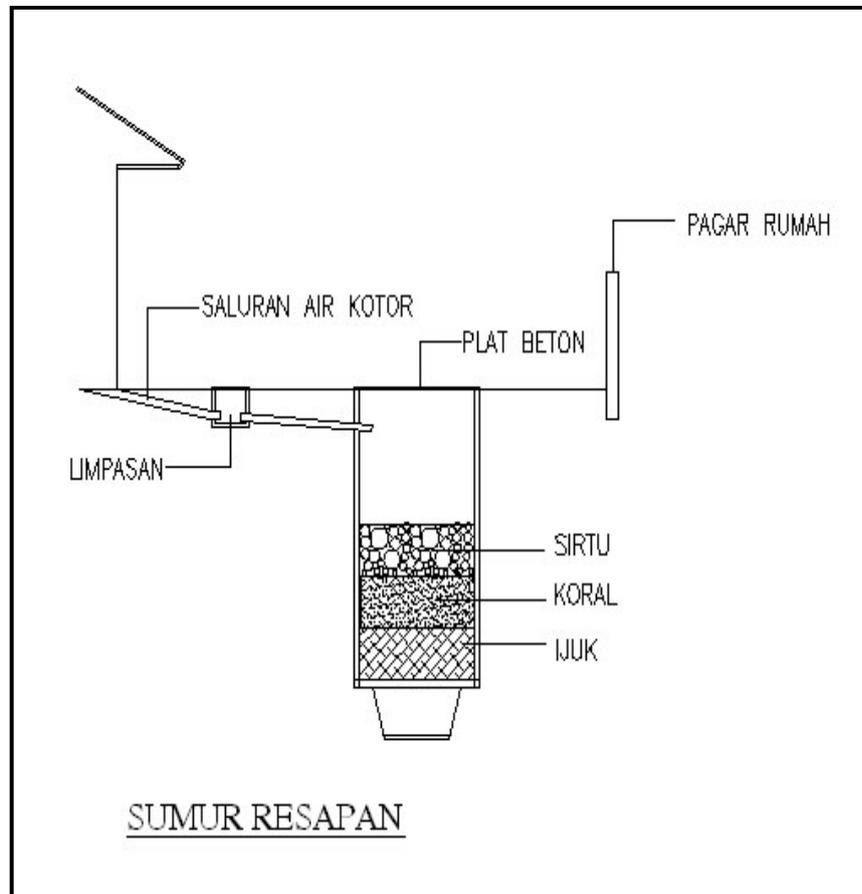


Gambar 5.9. pemanfaatan sampah organic pada sumur resapan

Sumber : www.facebook.com/note.php?note_id=94129957324...

Untuk keamanan konstruksi, resapan perlu dilengkapi dengan pelindung dinding. Karena bentuk umum resapan ini adalah sumuran maka pelindung dinding ini dapat dilaksanakan dengan konstruksi pasangan batu kosong, pasangan batu cadas atau buis beton yang kesemuanya akan mempengaruhi perhitungan sesuai dengan formulasinya. Sedangkan air yang ditampung adalah air dari atap melalui talang datar dan tegak kemudian masuk ke resapan, atau air dari atap ditampung oleh selokan keliling tritisan (tanpa talang) kemudian masuk ke resapan. Resapan ini perlu dilengkapi dengan peluap untuk melewatkan ada air hujan yang tidak diperhitungkan hingga kelebihan air dapat disalurkan. Sedangkan untuk daerah di mana muka air tanah cukup dangkal bentuk sumuran seperti di atas kurang tepat dan dapat dipilih resapan tipe selokan (tertutup) karena dengan cara ini volume yang diperlukan diimbangi dengan panjang selokan, bukan

dengan kedalaman seperti pada konstruksi sumuran. Dasar resapan diletakkan serendah-rendahnya pada muka air tanah tertinggi untuk mendapatkan efektifitas masuknya air ke dalam tanah.



Gambar 5.10. Konstruksi Sumur Resapan

Sumber : www.eramuslim.com/konsultasi/arsitektur/pemba...

Guna menanggulangi luapan air yang dapat menimbulkan banjir, pembuatan sumur resapan pada kawasan perumahan masyarakat sangat disarankan. Sumur resapan pada kawasan perumahan tersebut nantinya dapat menampung air hujan dan dapat menjadi cadangan air di saat musim kemarau. Pengalihan fungsi lahan merupakan salah satu faktor penyebab banjir dan menurunnya permukaan air tanah di kawasan perumahan, Pengalihan lahan Hijau seperti hutan menjadi perumahan menyebabkan tidak adanya lagi area terbuka sebagai resapan air, sehingga air yang meresap ke dalam tanah menjadi kecil dan memperbesar volume aliran air permukaan.

Guna mengatasi banjir dan menurunkan permukaan air tanah pada kawasan perumahan dapat dilakukan dengan cara pencegahan sedini mungkin melalui perencanaan dari awal oleh pihak pengembang perumahan (kontraktor/developer) dengan mengalokasikan lahan untuk pembuatan konstruksi sumur resapan air atau pompa pengendali banjir.

Sumur resapan harus berada di atas permukaan air tanah, jadi kedalaman sumur resapan dilihat dari tinggi permukaan air tanah”. Itulah prinsip dasar yang harus dipahami dalam pembuatan sumur resapan. Sumur resapan adalah sistem resapan buatan yang dapat menampung air hujan akibat dari adanya penutupan tanah oleh bangunan baik dari lantai bangunan maupun dari halaman yang diplester atau diaspal. Air tersebut kemudian dialirkan melalui atap, pipa talang maupun saluran yang berbentuk sumur, kolam dengan resapan ataupun saluran. “Terutama untuk daerah dengan tingkat curah hujan yang tinggi, sumur resapan ini sangat bermanfaat dalam pencegahan banjir. Saat hujan deras, air yang dapat tertampung dalam sumur resapan dapat mencapai 5 meter kubik”, jelasnya.

Pemerintah telah mengatur tentang pembuatan sumur resapan dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta No 68 Tahun 2005 tentang Perubahan Keputusan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No. 115 Tahun 2001 mengenai Pembuatan Sumur Resapan. Arie menjelaskan, “Setiap gedung atau bangunan yang menutup permukaan tanah dan usaha industri yang memanfaatkan air tanah permukaan diwajibkan untuk membuat sumur resapan dalam perencanaan pembangunannya”.

Selain itu, fungsi sumur resapan dapat menampung, menyimpan, dan menambah cadangan air tanah serta dapat mengurangi limpasan air hujan ke saluran pembuangan. Hal ini tentu saja selain dapat mencegah terjadinya banjir, air tampungan tersebut dapat dimanfaatkan pada musim kemarau.

Dalam pembuatan sumur resapan, dapat dihitung dengan melihat luas atap bangunan. “Untuk setiap m² luas atap kita dapat menampung 40 liter air, jadi misalkan luas atap 100 m², kita kali saja dengan 40, maka total air yang ideal kita tampung adalah 400 liter”.

Sampai saat ini, jumlah sumur resapan yang ada di wilayah DKI Jakarta masih sangat jauh dari jumlah ideal. Padahal peraturan tentang hal itu sudah ada sejak tahun 2005. Untuk itu, baik pemerintah maupun masyarakat perlu lebih berperan dalam meningkatkan jumlah sumur resapan di wilayah DKI Jakarta. “Keberhasilan pemerintah bukan dilihat dari seberapa banyak pemerintah mampu membuat sumur resapan, tetapi

seberapa banyak masyarakat yang mencontoh pemerintah dalam pembuatan sumur resapan.

Konstruksi Sumur Resapan Air (SRA) merupakan alternatif pilihan dalam mengatasi banjir dan menurunnya permukaan air tanah pada kawasan perumahan, karena dengan pertimbangan :

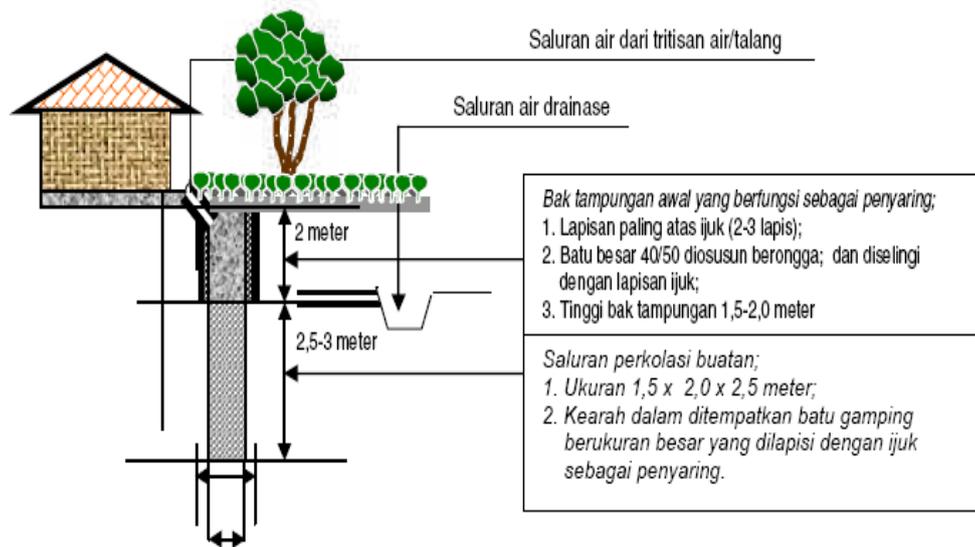
- a) pembuatan konstruksi SRA tidak memerlukan biaya besar,
- b) tidak memerlukan lahan yang luas, dan
- c) bentuk konstruksi SRA sederhana.

Sumur resapan air merupakan rekayasa teknik konservasi air yang berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumur gali dengan kedalaman tertentu yang berfungsi sebagai tempat menampung air hujan diatas atap rumah dan meresapkannya ke dalam tanah.

Manfaat yang dapat diperoleh dengan pembuatan sumur resapan air antara lain :

- (1) mengurangi aliran permukaan dan mencegah terjadinya genangan air, sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir dan erosi,
- (2) mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah persediaan air tanah,
- (3) mengurangi atau menahan terjadinya intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai,
- (4) mencegah penurunan atau amblasan lahan sebagai akibat pengambilan air tanah yang berlebihan, dan
- (5) mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah.

Teknik pembuatan sumur resapan di Propinsi DKI Jakarta, didasarkan atas keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 115 tahun 2001. Ilustrasi desain sumur resapan tersebut, disajikan pada Gambar berikut.

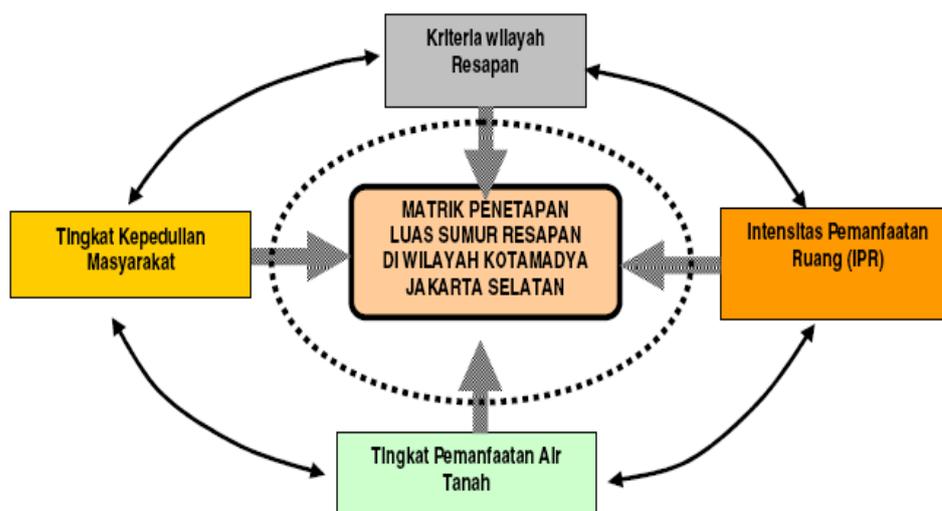


Gambar 5.11. Penyaluran air di talang pada Sumur Resapan

Arahan sumur resapan, memberikan gambaran besaran volume air tersedia berdasarkan luas kanopi bangunan. Kelemahan dari teknologi sumur resapan tersebut, sulit diimplementasikan pada permukiman-permukiman padat bangunan. Atas dasar itulah pentingnya alternatif pembuatan sumur resapan secara komunal berdasarkan diameter sumur per satuan luas (m^2/ha).

5.7. Sumur Resapan Ramah Lingkungan

Penetapan sumur resapan ramah lingkungan, didasarkan atas parameter (a) kriteria wilayah resapan, (b) Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR), (c) tinggi rendahnya pemanfaatan air tanah dangkal, dan (d) tingkat kepedulian masyarakat terhadap pelunya sumur resapan, secara rinci diilustrasikan pada Gambar berikut.



Gambar 5.12. Matriks Penetapan Sumur Resapan

Kriteria Wilayah Resapan

Mencermati SK Gubernur DKI Jakarta No. 115/2001, bahwa diameter sumur resapan ditetapkan secara universal (ukuran sama), dengan asumsi bahwa volume air hujan tersedia berdasarkan kanopi bangunan, diarahkan dan akan masuk kedalam tanah. Arah tersebut, tampaknya belum dapat dipergunakan sebagai dasar acuan secara regional. Hal ini mengingat bahwa DKI Jakarta paling tidak memiliki 3-5 wilayah hujan yang berbeda, serta kondisi fisik tanah yang berbeda dalam kaitannya laju aliran perkolasi kedalam tanah.

Alternatif menerapkan teknologi sumur resapan yang ramah lingkungan, melalui *”penetapan luas permukaan sumur resapan per hektar”*, dengan pertimbangan: (a) kriteria daerah resapan, dan (b) besaran suplai air kedalam tanah, atas dasar luasan sumur resapan per hektar, menurut kriteria daerah resapan. Hal ini mengingat bahwa daerah resapan, dipengaruhi oleh: (a) besaran curah hujan, (b) kedalaman efektif tanah, (c) porositas dan premabilitas tanah, (d) kemampuan infiltrasi air kedalam tanah, (e) perbedaan muka air tanah pada musim hujan dan kemarau. Sedangkan besaran suplai air, diperhitungkan atas dasar: (a) kemampuan tubuh tanah dalam meresapkan air kedalam tanah (perkolasi), (b) intensitas pemanfaatan ruang (ratio luas lantai bangunan dengan ruang terbuka hijau), (c) pemanfaatan air tanah dangkal, dan (d) tingkat kepedulian masyarakat terhadap sumber daya air tanah dangkal.

Untuk menetapkan luas sumur resapan, atas dasar kriteria daerah resapan dan besaran suplai air kedalam tanah, untuk selanjutnya disusun dalam bentuk “Kriteria Baku Nalar Wilayah Resapan”, yang secara rinci disajikan pada tabel berikut:

Tabel 5.2. Kriteria Baku Nalar Wilayah Resapan

Kriteria Baku	Kriteria Wilayah Resapan			
	Baik	Sedang	Rendah	Tidak relevan
Curah Hujan (mm)	>2.500	2.000-2500	1.500-2.000	<1.500
Kedalam efektif (cm)	>100	80-100	60-80	<60
Permabilitas/porisitas	>60 pasir	40-60% pasir	30-40% pasir	<30% pasir
Infiltrasi (% total ch)	>15%	10-15%	5-10%	<5%
Beda permukaan air	<1 meter	1-2 meter	2-3 meter	>3 meter

Sumber : Waryono (1996).

Hasil penetapan kriteria baku nalar wilayah resapan, untuk selanjutnya dipetakan dan diklasifikasi berdasarkan nilai (skoring). Tatanan penilaian (skoring), atas dasar pemberian nilai (angka), mulai dari angka (nilai) terkecil hingga terbesar, berdasarkan nilai tengah, seperti tersaji pada tabel berikut :

Tabel 5.3. Nilai Skoring Wilayah Resapan

Kriteria Baku		Kriteria Wilayah Resapan			
		Baik (6)	Sedang (5)	Rendah (4)	Tidak relevan (3)
Beda permukaan air	1	6	5	4	3
Curah Hujan (mm)	2	12	10	8	6
Kedalam efektif (cm)	3	18	15	12	9
Permabilitas/prorisitas	4	24	20	16	12
Infiltrasi (% total ch)	5	30	25	20	15
Jumlah		90	75	60	45
Bobot		>78	67-78	56-67	<56

Keterangan:

Kriteria Baik (>78); Sedang (67-78); Rendah (56-67), dan Tidak relevan (<56);

Untuk memperoleh gambaran spatial berdasarkan klasifikasi wilayah resapan di suatu wilayah, dilakukan dengan teknik korelasi keruangan (penampalan peta) antara peta kriteria baku nalar wilayah resapan dengan peta IPR.

Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR)

Intensitas pemanfaatan ruang (IPR), pada dasarnya sama dengan Koefisien Dasar Bangunan (KDB). Penetapan nilai ini dengan pertimbangan belum tersedianya Peta KDB di suatu wilayah.

Keterangan :

1. Lantai bangunan adalah segala bentuk penutupan tanah yang tidak berperan meresapkan air kedalam tanah;
2. Ruang terbuka adalah ruang baik lahan (bervegetasi maupun tidak bervegetasi), tandon air dan atau badan sungai yang mampu meresapkan air atau menampung air dan meresapkannya.

Untuk memperoleh keterkaitan antara Kriteria nilai wilayah resapan dengan IPR, dilakukan penampalan (overlay) peta kondisi eksis dan IPR, dan selanjutnya disebut Kriteria wilayah resapan berdasarkan IPR. Untuk memudahkan dalam penilaian maka dibuat klasifikasi dalam dua kriteria yaitu Tinggi dan Rendah, atas dasar nilai tengah. Kriteria IPR baik bila <40% atau setara dengan KDB 40% (luas lahan/persil yang diijinkan dibangun sebesar 40%) sedangkan 60% lainnya merupakan ruang terbuka. Kriteria rendah bila IPR >40%. Kondisi memberikan gambaran semakin tinggi pemanfaatan ruang akan semakin menghambat besaran air yang masuk kedalam tanah.

Kriteria Pemanfaatan Air Tanah dangkal/Dalam

Pemanfaatan air tanah dangkal/dalam bersumber dari Instansi terkait, dan atas dasar pengecekan (cuplikan data lapang). Cuplikan data lapang didasarkan atas kriteria wilayah resapan yang mewakili masing-masing kriteria wilayah resapan berdasarkan IPR. Jumlah responden sangat tergantung tingkat ketelitian yang diharapkan.

Kriteria Kepedulian Masyarakat Terhadap Sumur Resapan

Untuk memperoleh gambaran sejauhmana masyarakat peduli terhadap peranan fungsi air tanah dan pemanfaatannya, juga dilakukan pendataan bersamaan dengan kriteria pemanfaatan air tanah dangkal/dalam. Untuk memperoleh gambaran tingkat kepedulian masyarakat, dirumuskan sebagai berikut:

(TK = tingkat kepedulian masyarakat, TA = tingkat ancaman, TK = Tingkat keacuhan, RM = rasa untuk memiliki dan memelihara. Bila nilainya negatif, maka memberikan pengertian memiliki tingkat kepedulian tinggi. Tingkatan-tingkatan tersebut, diperoleh dari hasil survei lapang dan dirangkum dalam bentuk (%) tingkatan ancaman, keacuhan dan rasa memiliki untuk memelihara.

Luas Lantai Bangunan (m²)

Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR %) =

Luas Ruang Terbuka (m²)

TK = (TA + TK) -- RM

Matrik Penetapan Luas Diameter Sumur Resapan

Penetapan teknologi sumur resapan berdasarkan luas diameter sumur resapan, secara rinci dianalisis berdasarkan matrik.

Dalam matrik lajur pertama merupakan kriteria wilayah resapan, lajur berikutnya kriteria IPR dan tingkat kepedulian masyarakat. Penetapan luas penampang sumur resapan didasarkan atas matrik bertingkat yang menggambarkan luas penampang sumur resapan/ha. Sebagai dasar pertimbangan, penetapan luas sumur resapan secara tepat, perlu diserasikan dengan besaran curah hujan.

Tabel 5.4. Kriteria Penampang Sumur Resapan

Kriteria	IPR	Pemanfaatan Air Tanah	Kepedulian Masyarakat	Luas Sumur Resapan (m ² /ha)
Baik	Rendah <40% IPR	Rendah <10% dari Infiltrasi	Tinggi (Kepedulian > keacuhan)	↑
			Rendah (Kepedulian < keacuhan)	100-500
		Tinggi >10% dari Infiltrasi	Tinggi (Kepedulian > keacuhan)	↓
			Rendah (Kepedulian < keacuhan)	500-1000
	Tinggi >40% IPR	Rendah <10% dari Infiltrasi	Tinggi (Kepedulian > keacuhan)	↑
			Rendah (Kepedulian < keacuhan)	1000-1500
		Tinggi >10% dari Infiltrasi	Tinggi (Kepedulian > keacuhan)	↓
			Rendah (Kepedulian < keacuhan)	
Sedang				
Rendah				> 1500

Dalam matrik lajur pertama merupakan kriteria wilayah resapan, lajur berikutnya kriteria IPR dan tingkat kepedulian masyarakat. Penetapan luas penampang sumur resapan didasarkan atas matrik bertingkat yang menggambarkan luas penampang sumur resapan/ha. Sebagai dasar pertimbangan, penetapan luas sumur resapan secara tepat, perlu diserasikan dengan besaran curah hujan.

Rekomendasi

- (1). Revitalisasi air tanah melalui peresapan buatan yang implementasinya dilakukan secara terpadu berkelanjutan, secara berangsur-angsur mampu memulihkan defisit air tanah dan menjamin pelestarian sumberdaya air.
- (2). Implementasi teknologi sumur resapan berdasarkan luas diameter sumur per satuan luas, sangat ideal untuk diterapkan di wilayah perkotaan yang padat permukiman.
- (3). Pentingnya sosialisasi krisis air bersih dan upaya pemulihannya, akan mampu memacu kesadaran dan kepedulian masyarakat terhadap pelestarian sumberdaya air tanah.
- (4). Pengelolaan daerah resapan di wilayah perkotaan berbasis jalur biru, telah saatnya untuk diolahdayakan, mengingat >50% penduduk Indonesia berada di perkotaan.

5.8. Sumur Resapan Dalam Penyediaan Air Irigasi

Membuat sumur resapan dapat membantu mengatasi banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau di desa maupun kota. Beberapa tahun terakhir di wilayah Indonesia sering terjadi banjir dan kekeringan. Penyebab utama sebenarnya adalah ulah dari manusia, antara lain: pepohonan di daerah pegunungan yang seharusnya berfungsi menahan dan meresapkan air ditebang sampai pegunungan gundul dan meluasnya tanah yang dimanfaatkan untuk bangunan yang kurang memperhatikan wilayah peresapan air. Hal ini mengakibatkan berkurangnya tempat-tempat penampungan air dan peresapan air hujan ke dalam tanah serta meningkatnya aliran permukaan tanah (run off) yang menyebabkan banjir pada musim penghujan. Sebaliknya pada musim kemarau air tanah berkurang, sehingga sulit memperoleh air pada musim kemarau, terjadilah kekeringan di mana-mana. Kondisi ini dapat diatasi dengan membuat sumur-sumur resapan yang dapat dibuat oleh masyarakat sendiri tidak harus menunggu bantuan dari pemerintah.

Sumur resapan tidak hanya diperlukan di desa-desa wilayah pertanian, tetapi diperlukan juga di kota-kota bahkan perlu dibuat di komplek-komplek perumahan. Hal ini dilihat dari manfaat sumur resapan sebagai berikut:

- (1) Menangkap, menampung, dan meresapkan air yang mengalir di permukaan tanah ketika hujan, sehingga air kembali meresap ke dalam tanah (groundwater recharge) sebagai air tanah;
- (2) Meningkatkan persediaan air tanah untuk usahatani termasuk peternakan dan kehidupan manusia pada musim kemarau;
- (3) Mengurangi atau mencegah air laut masuk ke daratan (intrusi) di daerah-daerah pantai; dan
- (4) Mengurangi banjir pada musim hujan.

Untuk membuat sumur resapan tidak bisa sembarang tempat, karena beberapa ketentuan sebagai berikut:

- (1) Dibuat/dibangun di daerah-daerah yang ketika hujan aliran permukaannya tinggi dan daerah hilirnya sering mengalami banjir dan kekeringan;
- (2) Harus memiliki tangkapan air hujan yang memadai/banyak, baik dari bentang/hamparan lahan dan atau atap rumah atau di dekat saluran-saluran air;

- (3) Penempatan sumur resapan diprioritaskan untuk mendukung sumur-sumur pantek yang digunakan untuk irigasi; dan
- (4) Tidak dianjurkan membuat sumur resapan pada daerah yang berair tanah sangat dangkal.

5.9. Sumur Resapan Dalam Mengatasi Masalah Kekeringan

Salah satu fenomena alam adalah mengeringnya sumber – sumber air di beberapa lokasi sehingga masyarakat yang tinggal di daerah itu harus membuat sumur-sumur pompa yang cukup dalam, tidak cukup hanya dengan pompa air biasa, tapi harus dengan pompa dengan daya hisap dan daya sembur yang lebih besar dari pompa biasa (banyak orang menyebutnya, jet pump). Namun, masalah lain muncul manakala terjadi hujan terus menerus, akibatnya terjadi banjir dimana-mana. Misalnya, ribuan hektar sawah di bantaran Sungai Citarum, yang selalu menjadi langganan banjir akibat meluapnya air sebagai dampak dari hujan yang terus menerus. Sementara itu, salah satu penyebab terjadinya kekurangan air pada saat kemarau adalah ketiadaan upaya masyarakat secara umum untuk menyimpan air hujan pada saat air berlebih dan sebaliknya membiarkan air terbang percuma melalui larian permukaan (run off) ke sungai pada musim penghujan. Sementara pada saat air dibutuhkan yaitu pada musim kemarau air yang semula berlebih itu, menjadi sangat terbatas jumlahnya sehingga hal ini menjadi masalah yang paling pokok dalam kehidupan sehari-hari.

Berdasar pada fenomena itu, nampaknya pengelolaan sumber daya air masih belum optimal sehingga perlu adanya sentuhan-sentuhan teknologi sederhana yang tepat guna yang dapat memperbaiki kuantitas dan sekaligus kualitas air tanah yang semakin terancam akibat eksploitasi air tanah, pemompaan berlebih, intrusi air asin, peresapan limbah industri dan lain-lain.

Di antara upaya konservasi yang biasa ditemukan di masyarakat dalam rangka menjaga persediaan air antara lain, pembuatan embung, checkdam, rorak, terasering, sumur resapan, dam parit dan irigasi. Kegiatan konservasi air ini merupakan usaha untuk memenuhi kebutuhan air sepanjang tahun tidak saja untuk kebutuhan tanaman, tetapi juga untuk kebutuhan usaha Peternakan. Disamping untuk kebutuhan tersebut juga air persediaan tersebut sangat dibutuhkan bagi kehidupan manusia sehari-hari.

Pembangunan sumur resapan adalah merupakan salah satu upaya pengisian air tanah secara artifisial sebagai alternatif proses pengisian air tanah alami yang relatif lambat

melalui proses infiltrasi. Proses ini menjadi sangat tidak signifikan manakala hampir sebagian besar recharge area telah menjadi kedap air atau upaya konservasi tanah dan air di daerah hulu sangat tidak memadai. Pembangunan sumur resapan ini dapat dikombinasikan dengan pembangunan embung atau check-dam sebagai penampung air luapan manakala kapasitas tampung embung terlampaui pada saat hujan besar.

Dengan adanya pembangunan sumur-sumur resapan khususnya di lahan usaha tani, diharapkan air hujan dapat diresapkan dan disimpan sementara dibawah tanah di lapis aquifer. Air tersimpan kemudian dapat dimanfaatkan kembali untuk kegiatan usaha tani terutama di musim kemarau dalam rangka mengantisipasi ancaman kekurangan air atau kekeringan.

Di antara sarana-sarana konservasi air yang dimaksud diantaranya berupa bentuk penampungan air persediaan yang biasa disebut dengan nama “SUMUR RESAPAN”, sehingga dengan adanya sumur resapan ini air persediaan selalu ada bagi kebutuhan usaha baik usaha pertanian/peternakan maupun kegiatan lainnya.

Problem serius dalam pemanfaatan air tanah adalah tingkat pengisian dari aquifer yang bersangkutan. Kondisi daerah tangkapan/pengisian yang relative permeable serta lapisan aquifer yang relative poreus, air isian yang terperkolasi akan segera bergerak ratusan meter dalam beberapa hari mengisi lapisan aquifer tersebut.

Berlawanan dengan aquifer yang cepat terisi tersebut, aquifer tertentu akan mengalirkan air sangat lambat sekitar beberapa ratus meter per tahun. Contohnya, the Carrizo-Wilcox Texas, USA mempunyai gerakan air yang hanya 2 – 16 m/tahun. Jika jarak daerah pengisiannya sejauh 160 km, pengisian alami akan memakan waktu sekitar 3000 – 4000 tahun. Pada kondisi dimana daerah pengisian telah mengalami degradasi, pengisian air tanah alami melalui infiltrasi relative sudah tidak bisa diharapkan kembali. Sementara itu pengambilan air tanah di daerah hilir terus berlangsung tanpa henti. Akibatnya kedalaman air tanah semakin menurun atau bahkan dalam kondisi ekstrem menjadi kering sama sekali dimusim kemarau.

Tampaknya sejarah telah membuktikan hal ini. Pada awal abad ke 20 (tahun 1910) ketinggian muka air tanah dalam (piezometric level) di Jakarta bagian utara sekitar 12,5 m diatas muka laut. Artinya bahwa bila dilakukan pengeboran, air tanah akan memancar keluar dari dalam tanah setinggi kurang lebih 5 – 10 m. Namun demikian karena eksploitasi air tanah yang tak terkontrol, maka pada dekade 90-an tinggi muka air tanah itu telah turun drastis menjadi sekitar 25 – 45 dibawah permukaan tanah setempat.

Salah satu cara untuk mengembalikan air tanah saat ini sehubungan dengan semakin menurunnya daya dukung lahan berupa kapasitas infiltrasi di bagian hulu adalah melakukan pengisian air tanah secara tiruan (artificial water recharge) melalui pembuatan sumur resapan (infiltration well). Pembuatan sumur tidak saja dilakukan di wilayah hulu tetapi dapat dilakukan pula di wilayah hilir.

Secara alami air hujan yang jatuh mencapai permukaan air tanah dengan melalui proses infiltrasi dan perkolasi, maka dengan cara tiruan ini, aliran permukaan (run-off) dari air hujan yang jatuh direkayasa untuk dialirkan masuk kedalam sumur resapan. Untuk mengisi kembali lapisan unconfined aquifer, sumur resapan harus digali hingga mencapai kedalaman aquifer dimaksud.

Tekanan hidrostatik air di dasar sumur resapan sedemikian besar, sehingga air akan menekan dan akhirnya mengalir mengikuti gerakan air tanah yang ada. Selain air hujan, untuk mengisi kembali air tanah ini dapat diambil air dari danau, sungai, parit, atau air limbah perkotaan (sewage) yang telah diperlakukan secara khusus terlebih dahulu.

Beberapa daerah telah mengembangkan sumur resapan. Hanya saja kedalaman sumur yang dikembangkan tidak mencapai kedalaman aquifer. Sehingga pengisian air tanah hanya mengandalkan proses infiltrasi dan tirsian (seepage) alami yang untuk lapisan tanah tertentu kadang sangat lambat (lapisan aquiclude atau bahkan boleh jadi lapisan aquifuge). Akibatnya pengisian air tanah yang terjadi kurang signifikan dan sangat berbeda bila diisi langsung ke lapisan aquifernya secara artifisial.

Mengingat begitu besarnya manfaat dari pembuatan sumur resapan ini, sudah seharusnya para petani/peternak kembali menggiatkan pembuatan sumur-sumur resapan. Meskipun, hasilnya tidak akan diperoleh secara instan, tapi setidaknya, sumursumur resapan yang dibuat menjadi salah satu warisan berharga buat generasi penerus dan keberadaan air tanah pun dapat terjaga dan lestari.

5.10. TATA CARA PERENCANAAN SUMUR RESAPAN AIR HUJAN UNTUK LAHAN PEKARANGAN SNI : 03- 2453-2002

Ruang Lingkup:

Standar ini menetapkan cara perencanaan sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan termasuk persyaratan umum dan teknis mengenai batas muka air tanah (mat), nilai permeabilitas tanah, jarak terhadap bangunan, perhitungan dan penentuan sumur

resapan air hujan. Air hujan sdslsh sir hujan yang ditampung dan diresapkan pada sumur resapan dari bidang tadah.

Ringkasan:

¹⁰⁷ Sumur resapan air hujan adalah prasarana untuk menampung dan meresapkan air hujan ke dalam tanah. Sedangkan Lahan pekarangan adalah lahan atau halaman yang dapat difungsikan untuk menempatkan sumur resapan air hujan.

Persyaratan umum ²⁶ yang harus dipenuhi antara lain sebagai berikut:

- 1) Sumur resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar;
- 2) Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan tidak tercemar;
- 3) Penetapan sumur resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan sekitarnya;
- 4) Harus memperhatikan peraturan daerah setempat;
- 5) Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui Instansi yang berwenang.

Persyaratan teknis yang harus dipenuhi antara lain adalah sebagai berikut:

- 1) Ke dalam air tanah minimum 1,50 m pada musin hujan;
- 2) Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah $\geq 2,0$ cm/jam.
- ⁴¹ 3) Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 5.5. Jarak minimum sumur resapan air hujan terhadap bangunan.

No.	Jenis Bangunan	Jarak minimum dari sumur resapan air hujan (m)
1.	Sumur resapan air hujan/ sumur air bersih	3
2.	Pondasi bangunan	1
3.	Bidang resapan /sumur resapan tangki septik	5

Perhitungan Sumur Resapan ¹⁰⁸ air Hujan antara lain :

1) Volume andil banjir digunakan Rumus :

$$V_{ab} = 0,855 C_{tadah} A_{tadah} R$$

Dengan ;

V_{ab} = Volume banjir yang akan ditampung sumur resapan (M3)

C_{tadah} = Koefesien limpasan dari bidang tadah(tanpa satuan)

A_{tadah} = Luas bidang tadah (m²)

R = Tinggi hujan harian rata-rata (L/m² hari).

2). Volume air hujan yang meresap digunakan rumus :

$$V_{rsp} = te/24.A_{total}.K.$$

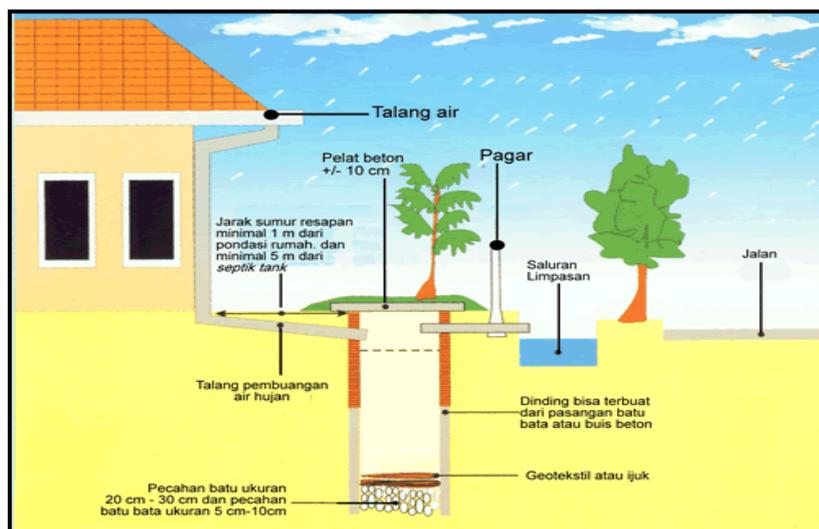
Dengan :

V_{rsp} = Volume air hujan yang meresap (m²).

te = durasi hujan efektif (jam).= $0,9.R.0,92/60$ (jam).

A_{total} = Luas dinding sumur+ luas alas sumur(m²).

K = Koefesien permeabilitas tanah (m/hari).



Gambar. 5.13. Kontruksi Sumur Resapan Permanen

Sumber : blog.beswandjarum.com/.../

5.7. Permasalahan Dalam Pembuatan Sumur Resapan

Masalah serius yang senantiasa merebak adalah soal kelangkaan air yang dialami oleh berbagai daerah di tanah air. Air merupakan unsur pokok yang sangat vital dan semua

mahluk sangat membutuhkan keberadaannya, tidak terkecuali manusia. Namun saat ini untuk mendapatkan satu ember air saja warga harus rela berjalan puluhan kilo, naik turun bukit. Itupun baru untuk memenuhi kebutuhan minum dan memasak, belum untuk mandi, mencuci, apalagi untuk ternak maupun tanaman. Bahkan para peternak harus rela menjual sebagian ternaknya untuk membeli air dengan tangki – tangki, dan untuk menyiram tanaman mereka di lahan pertanian.

Kekeringan yang terjadi tahun ini dirasakan memang lebih panjang dan lebih parah dari tahun – tahun yang lalu. Hal ini diperparah lagi dengan semakin buruknya kualitas tanah yang ada juga semakin kurang pedulinya masyarakat akan pentingnya pelestarian tanah dan air. Sumur resapan sangat bermanfaat baik dimusim hujan maupun kemarau, karena fungsi dari sumur resapan tersebut dapat menurunkan laju aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi juga mengurangi evaporasi. Dengan dibuatnya sumur resapan pada suatu daerah maka akan didapatkan manfaat yang sangat besar bagi daerah tersebut juga daerah sekitarnya. Sebagai contoh dengan dibuatnya sumur resapan maka air hujan yang jatuh dipermukaan tanah akan masuk ke sumur resapan tersebut sehingga laju aliran permukaan dapat dikurangi. Hal ini juga sebagai cara untuk menanggulangi bencana erosi, karena lapisan tanah yang diatas tidak ikut terbawa aliran air hujan / aliran permukaan. Selain dari itu juga diperoleh manfaat lain dari sumur resapan yaitu tingginya tingkat infiltrasi air hujan, sehingga akan memperkaya kandungan air tanah yang dapat sebagai cadangan air bila musim kemarau datang. Manfaat yang didapatkan oleh daerah lain terutama daerah dibawahnya adalah tersedianya air tanah maupun sumber air. Untuk itu sangat diharapkan kesadaran dari masyarakat terutama yang berada di catchment area atau daerah tangkapan air untuk membangun sumur resapan sebagai upaya konservasi tanah dan sumber mata air.

Dengan keadaan yang memprihatinkan tersebut perlu dipikirkan solusi yang tepat serta diupayakan langkah yang relatif murah dan mudah untuk mengatasi permasalahan mengenai air ini. Pemerintah dalam hal ini Pemerintah Daerah Kabupaten Boyolali mengajukan proposal pembuatan sumur resapan dengan tujuan untuk menanggulangi dampak yang mungkin terjadi pada saat musim kemarau panjang. Dengan program tersebut diharapkan warga masyarakat yang daerahnya mendapatkan bantuan pembuatan sumur resapan akan mendapatkan manfaat yang berarti.

1). Tujuan

a. Menurunkan laju aliran permukaan (run-off).

Dengan dibangunnya sumur resapan di daerah tersebut maka air hujan yang jatuh di permukaan tanah akan dapat meresap ke dalam tanah lewat sumur – sumur tersebut sehingga tidak terjadi aliran permukaan yang besar.

b. Meningkatkan infiltrasi.

Dengan masuknya air hujan kedalam sumur – sumur resapan tersebut, maka dapat dikatakan mempertinggi infiltrasi yang akan dapat menambah ketinggian muka air tanah. Air tanah inilah yang nantinya sangat bermanfaat bagi warga masyarakat dimusim kemarau.

c. Mengurangi evaporasi.

Air hujan yang jatuh langsung di permukaan tanah apabila tanah tidak mampu menyerap air maka akan timbul genangan – genangan air yang akan terevaporasi dan menguap tanpa sempat meresap kedalam tanah.

d. menyeimbangkan neraca hidrologi.

Dengan semakin banyaknya air yang masuk kedalam sumur resapan maka dapat memperkecil rasio cadangan air antara musim penghujan dan kemarau.

2). Sasaran

Sasaran lokasi kegiatan adalah daerah tangkapan air (catchment area) ataupun lokasi yang ruang terbuka hijaunya kecil, sehingga perlu dibuatkan sumur resapan untuk memperkaya persediaan air tanah / kandungan air tanah.

3). Manfaat.

1. Meningkatkan ketersediaan air daerah dibawahnya.
2. Mengurangi resiko kekeringan di musim kemarau dan bahaya banjir di musim penghujan, khususnya untuk daerah hilir.
Menyeimbangkan neraca hidrologi agar rasio perbedaan antara musim hujan dan kemarau tidak terlalu tajam.
3. Meningkatkan resapan air ke dalam tanah (infiltrasi).
4. Mengurangi sedimentasi dan fluktuasi debit air sungai.

Perhitungan dimensi sumur resapan adalah sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luas (A)} = 60 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{maks}} = 0,0029559 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Kedalaman air tanah = 5 m

Direncanakan diameter sumur resapan (R) = 1,5 m

Hujan dominan yang terjadi (T) = 1,5 jam = 5400 detik

Koefisien permeabilitas tanah (K) = 0.000443 m/dtk (Suhendra Halauddin,2011)

Faktor Geometrik (F) = 5,5 R = 5,5 I = 5,5

$$\text{Kedalaman sumur resapan } H = \frac{Q}{FK} \left[1 - e \left(-\frac{FKT}{\pi R^2} \right) \right] = 1,025 \text{ m}$$

$$H = \frac{0,0296}{5,5 \times 0,000443} \left[1 - e \left(-\frac{5,5 \times 0,000443 \times 5400}{\pi 1,5^2} \right) \right]$$

$$H = 1,025 \text{ m.}$$

Tabel 5.6. Perhitungan Dimensi Sumur Resapan Kala Ulang 2 Tahun

No.	Tipe Rumah	Diameter (m)	T (det)	Faktor Geometrik	Q (m ³ /dt)	H (m)	Jumlah SR
1	30	1.5	5400	5.5	0.00296	1.025	1
2	36	1.5	5400	5.5	0.00355	1.230	1
3	45	1.5	5400	5.5	0.00473	1.640	1

Sumber : Hasil Perhitungan (2014)

Tabel 5.7. Perhitungan Dimensi Sumur Resapan Kala Ulang 5 Tahun

No.	Tipe Rumah	Diameter (m)	T (det)	Faktor Geometrik	Q (m ³ /dt)	H (m)	Jumlah SR
1	30	1.5	5400	5.5	0.00408	1.542	1
2	36	1.5	5400	5.5	0.00490	1.850	1
3	45	1.5	5400	5.5	0.00653	2.467	1

Sumber : Hasil Perhitungan (2014)

Tabel 5.8. Perhitungan Dimensi Sumur Resapan Kala Ulang 10 Tahun

No.	Tipe Rumah	Diameter (m)	T (det)	Faktor Geometrik	Q (m ³ /dt)	H (m)	Jumlah SR
1	30	1.5	5400	5.5	0.005180	1.955	1
2	36	1.5	5400	5.5	0.006216	2.346	1
3	45	1.5	5400	5.5	0.008288	3.128	2

Sumber : Hasil Perhitungan (2014)

Tabel 5.9. Perhitungan Dimensi Sumur Resapan Kala Ulang 25 Tahun

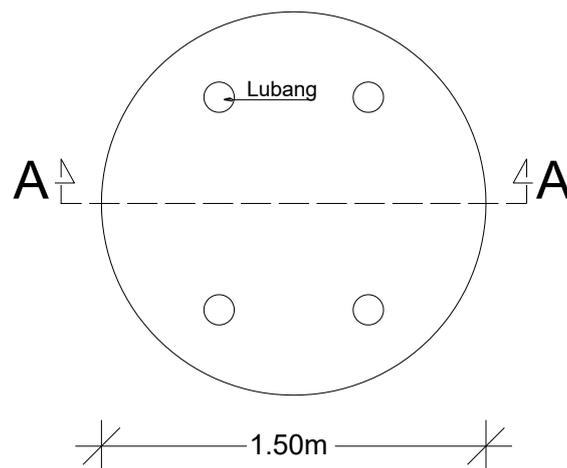
No.	Tipe Rumah	Diameter (m)	T (det)	Faktor Geometrik	Q (m ³ /dt)	H (m)	Jumlah SR
1	30	1.5	5400	5.5	0.007058	2.447	1
2	36	1.5	5400	5.5	0.008470	2.936	1
3	45	1.5	5400	5.5	0.011293	3.915	2

Sumber : Hasil Perhitungan (2014)

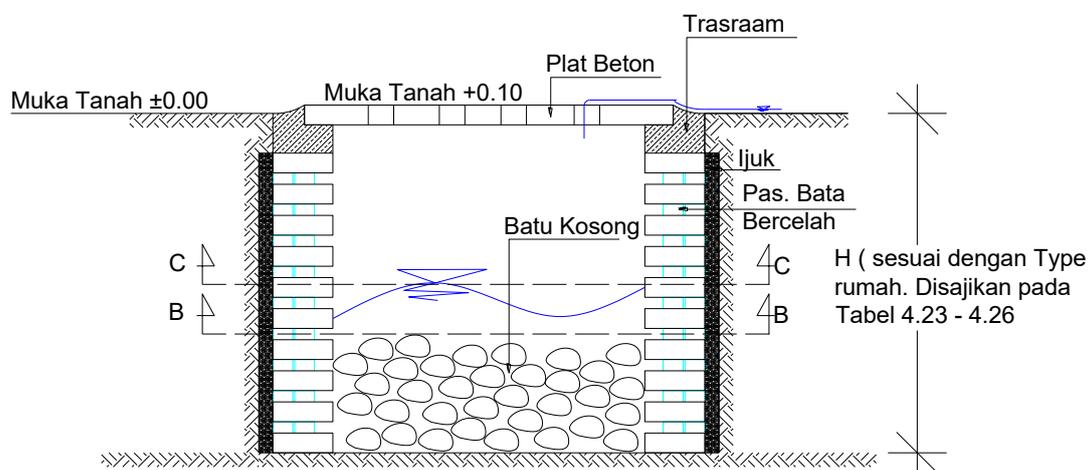
Dari hasil perhitungan dimensi resapan diketahui, rata-rata kedalaman sumur dengan kala ulang 2 tahun 1,298 m, kala ulang 5 tahun 1,953 m, kala ulang 10 tahun 2,477 m, dan kala ulang 25 tahun 3.099 m.

Gambar Rencana Sumur Resapan

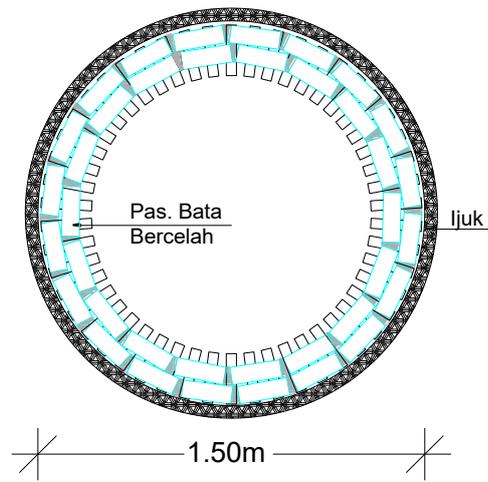
Gambar rencana diperlukan sebagai acuan untuk membuat sumur resapan. Dimensi sumur resapan yang akan dibuat mengacu pada hasil perhitungan dimensi sumur resapan. Adapun gambar rencana sumur resapan sebagai berikut.



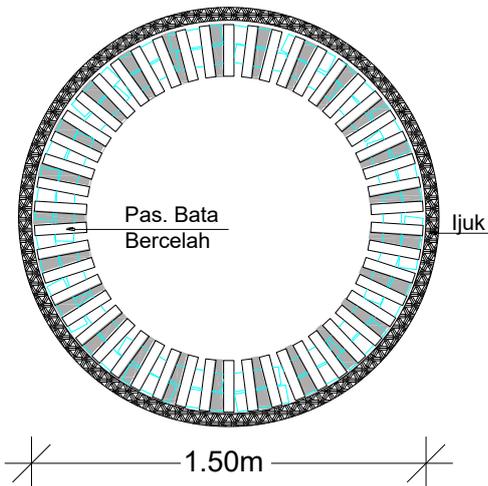
Gambar 5.14 Denah Sumur Resapan



Gambar 5.15 Potongan Melintang (Potongan A-A) Sumur Resapan



Gambar 5.16 Potongan B-B Sumur Resapan



Gambar 5.17 Potongan C-C Sumur Resapan

Bab 6

Sistem Polder

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang teknik penanggulangan banjir perkotaan dengan membuat sistem polder, konsep sistem polder, spesifikasi sistem polder, manfaat sistem polder, sarana dan prasarana sistem polder dan cara merencanakan sistem polder.

Relevansi

Limpasan permukaan (*run off*) yang terlalu besar melewati saluran drainase mengalami luapan sehingga terjadi banjir perkotaan. Untuk mengurangi efek banjir perkotaan dapat pula direncanakan sistem polder. Proses perencanaan sistem polder meliputi perhitungan besaran sisa run off, penentuan konstruksi sistem polder.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami sistem polder dan cara merencanakan sistem polder untuk menanggulangi banjir perkotaan.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

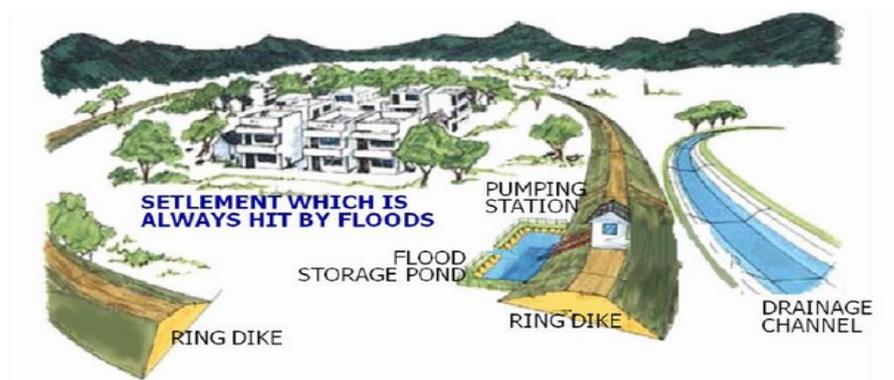
1. Memahami konsep sistem polder
2. Memahami tata letak polder
3. Mengenal sarana dan prasarana polder
4. Memahami tahapan perencanaan polder
5. Memahami macam-macam drainase polder
6. Mengenal cara dan sistem operasi pompa banjir

6.1. Umum

¹⁵ **Polder** adalah sebidang tanah yang rendah, dikelilingi oleh embankment / timbunan atau tanggul yang membentuk semacam kesatuan hidrologis buatan, yang berarti tidak ada kontak dengan air dari daerah luar selain yang dialirkan melalui perangkat manual.

Contoh polder:

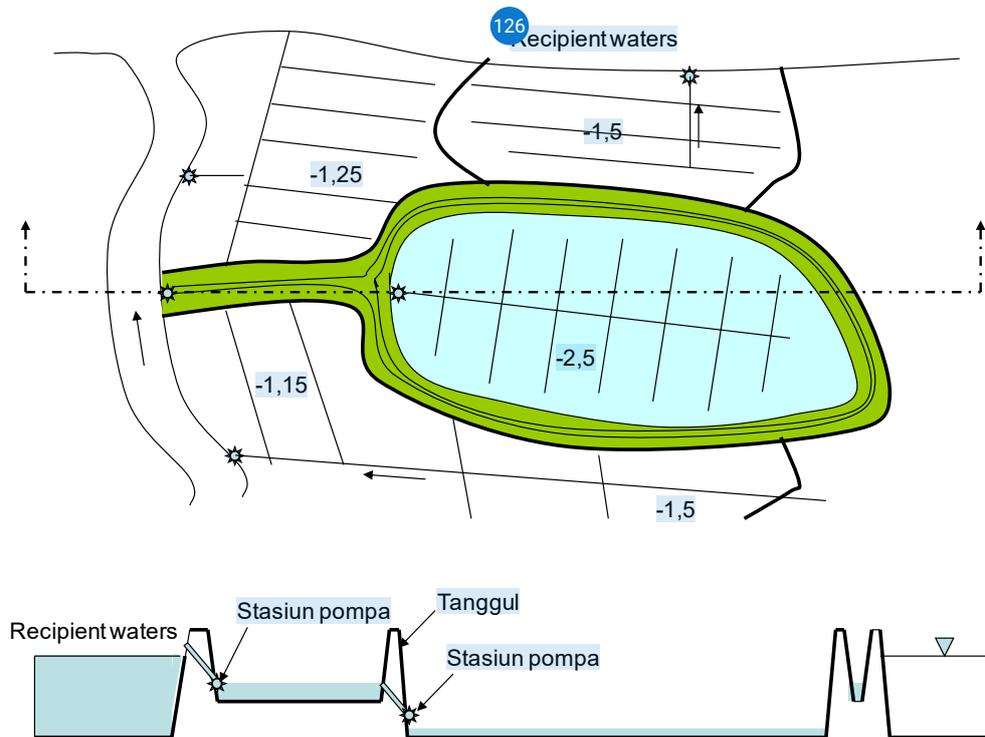
1. Tanah yang direklamasi dari badan air misalnya danau yang dikeringkan dan dijadikan kawasan tertentu.
2. Dataran banjir yang dipisahkan dari laut atau sungai menggunakan tanggul,
3. Rawa yang dikelilingi air yang kemudian dikeringkan.



Gambar 6.1. Layout polder pada areal pemukiman

¹⁹ Tanah dasar berupa rawa yang dikeringkan akan surut seiring berjalannya waktu, namun seluruh polder akan dengan cepat berada dibawah muka air di sekitarnya bila terjadi kenaikan muka air, misalnya ketika pasang atau banjir. Air di sekitar polder akan mulai meresap perlahan ke bawah tanggul dan keluar ke permukaan di dalam lingkungan polder melalui aliran air tanah untuk menyeimbangkan air tekanan air, sehingga lama-lama polder akan tergenang. Ini berarti polder mengalami kelebihan air yang harus dipompa keluar atau dikeringkan dengan membuka pintu air pada saat muka air laut surut. Namun, pengaturan muka air dalam tanah

tidak boleh terlalu rendah. Tanah polder yang terdiri dari peat / tanah turf(bekas rawa) akan memperlihatkan percepatan pemampatan akibat dekomposisi tanah turf pada saat kondisi kering.



Gambar 6.2. Sistem pengaliran polder

¹⁵ Polder senantiasa berada pada bahaya banjir, dan tanggul yang mengelilinginya harus dijaga. Tanggul-tanggul tersebut biasanya dibangun dengan material yang tersedia di daerah tersebut. Tanggul dari pasir rawan runtuh akibat *oversaturation* (tanah terlampaui jenuh air), sementara tanah *peat* kering malah lebih ringan daripada air sehingga berpotensi tidak stabil pada musim kering. Beberapa jenis binatang dapat menggali dan membuat terowongan dan sarang pada struktur tanggul. Polder seringkali ditemukan di [delta](#) sungai dan daerah tepi pantai, walaupun tidak selalu ada.

6.2. Tahapan Perencanaan Polder

Sama halnya dengan cara penanganan sistem konvensional yang lainnya yaitu melalui proses "SIDLACOM" yaitu :

- a. Survey
- b. Investigasi
- c. Desain
- d. Pembebasan Lahan
- e. Konstruksi
- f. Operasi dan Pemeliharaan

1. Survey .

- a. Gunakan peta Topographi Skala 1: 10.000 S/D 1:25.000 untuk mengidentifikasi Daerah Aliran Folder.
- b. Hitung luas masing –masing DAS
- c. Petakan rencana waduk Folder dengan pengukuran geodetik. Dibuat garis kontur ketinggian lahan dengan interfal setiap ketinggian 0.25 s/d 0.50 m

2. Investigasi

- a. Rencanakan dimana instalasi pompa akan ditempatkan beserta konstruksi inlet dan konstruksi bangunan yang terkait dengan instalasi pompa yaitu pada lokasi yang paling dekat dengan badan air.
- b. Lakukan investigasi Geologi terutama Soil Mekanik untuk Perencanaan pondasi Bangunan Air

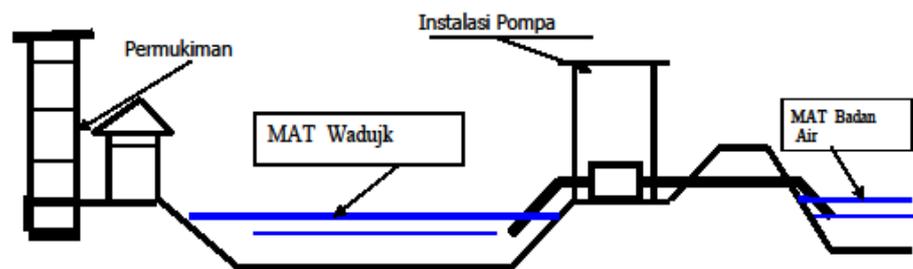
3. Desain Hidrologi Dan Konstruksi

- a. Hitung luas masing-masing luas Daerah Aliran Saluran (DAS) tersebut diatas
- b. Hitung debit sesuai return period yang telah ditetapkan sebagai kriteria design seperti tabel 3.1 dibawah ini.

- c. Buat Hidrograph debit rencana yang akan masuk ke waduk, gunakan program ULTRA untuk area yang tidak begitu luas
- d. Lakukan Reservoir Routing untuk mencari besaran kapasitas pompa yang paling efisien
- e. Buat rencana Konstruksi bangunan air serta instalasi pompa.

6.3. Prasarana dan Sarana Folder

Sistem folder harus mempunyai Prasarana dan Sarana sebagai berikut : Lahan yang mempunyai ketinggian paling rendah dijadikan kolam, long storage untuk DAS yang kecil dan sedang atau waduk penampungan aliran dari DAS yang luas di atasnya.



Gambar 6.3. Skema konstruksi polder

Perhatikan perbedaan muka air tertinggi dalam waduk tidak melebihi tinggimuka tanah disekitarnya.

6.4. Macam-macam Drainase Polder

Pompa Drainase Perkotaan (Stormwater Pumping) adalah pompa air yang umum dipakai untuk membantu mengalirkan aliran dari satu bidang ke bidang lainnya yang lebih tinggi. Jenis Pompa yang ada dan biasa dipergunakan adalah Sebagai berikut :

- a. Poros Tegak (Vertikal propeller and mixed flow)
- b. Pompa dalam air (Submersible vertical dan horizontal)
- c. Centrifugal (horizontal non -clog)

- d. Skrup (screw)
- e. Volute or Angle flow (Vertical)

Secara umum pompa-pompa tersebut adalah pompa yang menggunakan tenaga listrik tetapi ada juga yang menggunakan diesel.

6.5. Operasi dan Pemeliharaan Pompa

6.5.1. Umum

Setiap pabrik pembuat pompa pasti mengeluarkan spesifikasi, Standar Operasi dan pemeliharaan Pompa. Sebab standar operasi pompa terkait dengan kapasitas pompa itu sendiri . Dalam hal ini yang akan dijelaskan adalah yang menyangkut tata cara mengoperasikan yang terkait dengan tinggi rendahnya muka air.

- a. Setiap instalasi pompa harus dilengkapi dengan papan duga air atau peil schal baik yang terbuat dari plat email atau papan kayu yang di cat. Masing-masing mempunyai kelemahan . Untuk papan dari plat yang di email akan termakan karat, sedangkan untuk papan kayu akan mudah lapuk dan catnya mudah terkelupas.
- b. Setiap pemasangan pompa pasti diseting terhadap kondisi air terendah di waduk / kolam atau long storage, sesuai dengan kemampuan daya hisap pompa dan jenis pompa.

6.5.2. Standar Operasi Pompa

Pengoperasian pompa pada system folder lebih ditentukan oleh kondisi Muka Air di waduk/long storage /kolam yang disebabkan oleh hujan atau buangan domestik. Pompa ymag alirannya dibuang ke Laut akan sedikit berbeda dengan yang dibuang di Kanal. Pompa yang membuang kelaut tidak terlalu terpengaruh oleh pasang surutnya air laut., tetapi yang membuang ke kanal umumnya perbedaan tinggi tanggul kanal dapat menjadi kendala. Beberapa kondisi keduanya adalah sebagai berikut :

6.5.3. Pemompaan Dari Waduk Ke Laut

Kondisi muka air di waduk sbb:

1. Muka Air Rendah (normal) pada kondisi tidak hujan, pompa di istirahatkan untuk dilakukan pengecekan ringan, pemberian pelumas, pengecekan kelancaran arus listrik dari sumber dan panel.
2. Muka Air naik karena buangan air domestik masuk biasanya waktu pagi dan sore hari. Pompa dioperasikan sampai muka air di waduk kembali normal
3. Terjadi hujan ringan pompa dioperasikan jika tinggi muka air terjadi kenaikan.
4. Terjadi hujan lebat diarea folder otomatis tinggi muka air akan naik maka poma harus dioperasikan secara maksimal untuk mengembalikan kondisi tinggi muka air menjadi normal kembli.
5. Untuk menjaga agar supaya pompa tidak memompa sampai kering dan akan merusak baling – baling (propeller) rusak maka harus ditentukan batas tinggi muka air terendah. Tinggi muka air terendah ini berada beberapa centimeter diatas mulut bawah pompa.
6. Tinggi muka air normal berada pada level tinggi muka air tanah. Sekalipun waduk dibuat dalam maka setelah dipompa muka air akan kembali ke level normal lagi. Volume waduk yang operasional untuk musim kemarau dimulai dari muka air normal sampai muka air maksimal. Untuk musim hujan volume waduk operasioanal mulai darimuka air terendah mulut pompa sebab volume tampungan dibutuhkan lenbih besar sesuai bsarnya debit yang masuk lewat inlet.

6.5.5. Pemompaan ke Kanal

Pemompaan ke badan air berupa kanal atau sungai prosedurnya sama denagan ke laut. Hanya saja terkadang untuk meletakkan pompa terkendala oleh adanya tanggul. Apalagi kalau diameter pompanya besar

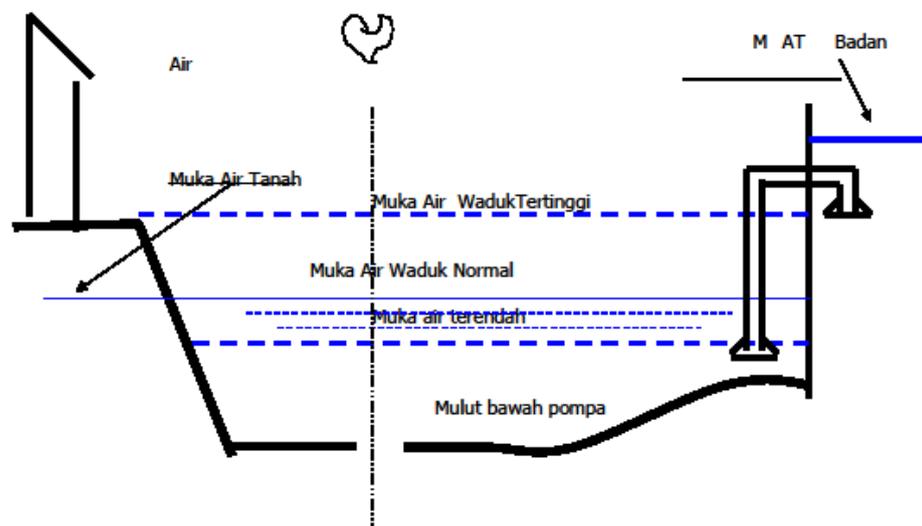
dapat mengganggu lalu lintas di atasnya jika pompa harus diletakkan di atas tanggul. Pemeliharaan pada sistem folder dilakukan terhadap waduk dan bangunan airnya serta pada instalasi pompa dan pompanya. Pemeliharaan dilakukan untuk menjaga fungsi masing-masing komponen agar mencapai usia pakai dan beroperasi maksimal.

6.5.6. Pemeliharaan Waduk.

- a. Pembersihan sampah-sampah yang menyangkut di saringan pintu inlet secara rutin .
- b. Cegah sedini mungkin penyerobotan terhadap lahan dan bantaran waduk dari bangunan-bangunan pemukiman liar.
- c. Secara berkala keruk sedimen yang terlanjur masuk ke waduk agar fungsi daya tampung waduk tidak menyusut.
- d. Angkat rak saringan secara berkala bersihkan dan cat kembali, selama rak dan pintu di lakukan pemeliharaan rak dan pintu cadangan harus dipasang.
- e. Bersihkan saluran penghubung secara ruti.
- f. Lakukan perbaikan secara berkala untuk bangunan air yang mengalami kerusakan.
- g. Periksa kabel kabel dan rante pintu jangan sampai kering dari pelumas agar supaya buka tutup pintu tetap mudah. Sebab bila pintu air macat malapetaka dan amukan masyarakat akan mengancam keselamatan petugas O& P.
- h. Tembok pasangan batu yang rusak segera diperbaiki, untuk ini harus secara rutin dilakukan inspeksi terutama pada stalling basin pintu inlet. Atau waduk dilengkapi dengan saluran gendong biasanya saluran tersebut tepi kanan dan kirinya dilinig dengan pasangan batu kali.

6.5.7. Pemeliharaan Instalasi Pompa

- a. Gedung instalasi sekalipun dibangun dengan konstruksi beton bertulang tetap harus dipelihara agar jangan terkesan angker dan kumuh untuk itu secara rutin petugas harus menjaga kebersihan lingkungan Instalasi .
- b. Secara berkala gedung harus dicat agar dari segi estetika indah nyaman untuk dijadikan sarana rekreasi bila perlu.
- c. Sewaktu Pompa tidak dioperasikan periksa kellempaka saringan sampah dibagian depan pompa. Terutama dari sampah- sampah plastik yang dapat merusak poros dan propeller pompa
- d. Untuk waduk yang ditumbuhi oleh gulma seperti eceng gondok., bila perlu ajak pihak swasta untuk memanfaatkan eceng gondok menjadi komoditi yang berguna seperti pembuatan tas, tikat serta mungkin dapat diolah menjadi gas bio
- e. Periksa secara rutin panel operasi jangan sampai ada kabel yang putus karena termakan usia arau oleh binatang pengerat seperti tikus dll.
- f. Perhatikan engsel-engsel pintu instalasi agar jangan sampai kering . Sebab semua petugas operasional pompa harus tetap siaga menjaga kemungkinan terjadi banjir dadakan



Gambar 6.4. Muka air pada polder

6.6. Contoh Perencanaan Polder

a). Perhitungan Analisa Kapasitas Saluran Di Hilir

Kapasitas saluran yang diperhitungkan adalah kapasitas saluran di bagian hilir dari lokasi rencana kolam tampungan, dalam hal ini yaitu kapasitas penampang melintang saluran.

Tabel 6.1. Hasil Perhitungan kapasitas saluran

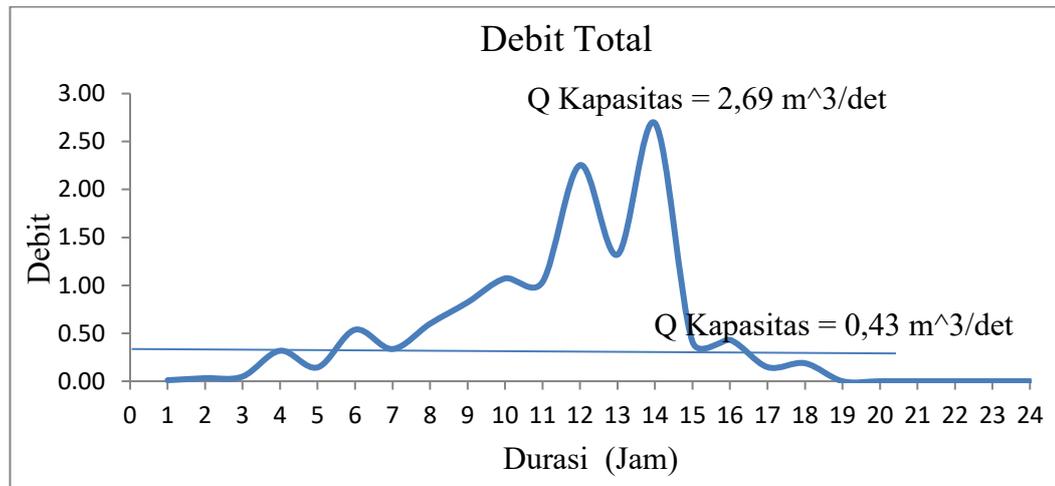
No	Nama Saluran	56	h	H (jagaan)	A	P	R	n	I	V	Fr	Q.sal	Qrec
		(m)	(m)	(m)	m ²	(m)				m/s		m ³ /s	m ³ /s
1	SAL 1ka	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,00296	0,80	0,36	0,33	0,01
2	SAL 1ki	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,00454	0,99	0,44	0,41	0,03
3	SAL 2ka	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,00984	1,46	0,65	0,60	0,05
4	SAL 2ki	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,0105	1,51	0,67	0,62	0,32
5	SAL 3ka	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,01194	1,61	0,72	0,66	0,14
6	SAL 3ki	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,01254	1,65	0,73	0,68	0,54
7	SAL 4ka	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,00218	0,69	0,31	0,28	0,34
8	SAL 4ki	0,75	0,55	0,14	0,413	1,85	0,223	0,025	0,00196	0,65	0,29	0,27	0,60
9	SAL 5ka	0,7	0,5	0,13	0,35	1,7	0,206	0,03	0,00564	0,87	0,41	0,31	0,82
10	SAL 5ki	0,7	0,5	0,13	0,35	1,7	0,206	0,03	0,00544	0,86	0,40	0,30	1,07
11	SAL 6ka	0,6	0,5	0,13	0,3	1,6	0,188	0,03	0,00602	0,85	0,40	0,25	1,03
12	SAL 6ki	0,7	0,6	0,15	0,42	1,9	0,221	0,03	0,00602	0,95	0,40	0,40	2,25
13	SAL 7ka	0,6	0,5	0,13	0,3	1,6	0,188	0,03	0,00706	0,92	0,43	0,28	1,32
14	SAL 7ki	0,7	0,6	0,15	0,42	1,9	0,221	0,03	0,00696	1,02	0,43	0,43	2,69
15	SAL 8ka	0,6	0,5	0,13	0,3	1,6	0,188	0,03	0,01292	1,24	0,58	0,37	0,41
16	SAL 8ki	0,6	0,5	0,13	0,3	1,6	0,188	0,03	0,0133	1,26	0,59	0,38	0,43
17	SAL 9ka	0,6	0,5	0,13	0,3	1,6	0,188	0,03	0,02784	1,82	0,85	0,55	0,15
18	SAL 9ki	0,6	0,5	0,13	0,3	1,6	0,188	0,03	0,0338	2,01	0,94	0,60	0,19

Jadi Q kapasitas maksimum dengan tinggi muka air di hilir sebesar 0,43 m³/

b). Hasil Perhitungan Volume Kolam Tampungan

Untuk mengetahui besarnya volume air yang perlu di tampung di kolam penampungan maka perlu dibandingkan antara debit aliran dengan kapasitas saluran yaitu Q kapasitas rencana – Q kapasitas saluran yaitu:

$$Q \text{ kapasitas rencana } 2,69 - Q \text{ kapasitas saluran } 0,43 = 2,26 \text{ m}^3/\text{detik}$$



Gambar 6.5. Perbandingan Debit Aliran Dengan Kapasitas Saluran

Tabel 6.2. Perhitungan Volume Tampungan Kolam

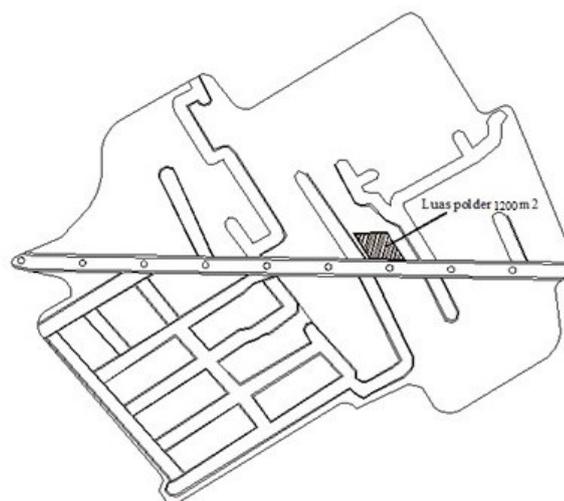
t (jam)	Q (m ³ /det)	volume (m ³)
1	2,26	135,6
2	2,26	271,2
3	2,26	406,8
4	2,26	542,4
5	2,26	678
6	2,26	813,6
Total		2847,6

Dengandirencanakan kolam tampungan tanpa pompa maka tinggimuka air maksimum kolam tampungan sama dengan tinggi mukaair maksimum pada saluran, sehingga diambil kedalaman kolam tampungan (H) yaitu 2,4m.

Untuk luasan kolam tampungan disesuaikan dengan kebutuhan volume tampungan. Dimensi kolam tampungan dengan dinding miring sebesar 1:2 maka luasan kolam yang direncanakan diprediksi dengan pengeplotan lahan pada denah lokasi.

Dalam penempatan lokasi polder ada beberapa faktor yang harus di pertimbangkan supaya pembuatan polder tidak mengalami masalah, faktor-faktor tersebut antara lain :

1. Lahan yang digunakan haruslah lahan kosong.
2. Lokasi polder tersebut berada pada drainase yang tidak mampu menampung debit air.
3. Elevasi polder haruslah lebih rendah dari pada hulu, agar air mengalir dengan lancar ke lokasi penampungan (polder), lokasi yang sesuai dengan persyaratan tersebut yaitu pada elevasi -0,331 karena elevasi tersebut lebih rendah dari -0,159 (elevasi hulu).



Gambar. 6.6. Penempatan Lokasi KolamTampungan

Kapasitas kolam yang direncanakan dapat diketahui dengan membandingkan hubungan tinggi mukaair (H) dan kumulatif tampungan (S kumulatif), yang dapat dilihat pada table 6.3.

Tabel 6.3. Perhitungan Hubungan H dengan Volume

H (m)	Luas (m ²)	volume (m ³)	S Kumulatif (m ³)
0,1	1200	120	120
0,2	1200	240	360
0,3	1200	360	720
0,4	1200	480	1200
0,5	1200	600	1800
0,6	1200	720	2520
0,7	1200	840	3360
0,8	1200	960	4320
0,9	1200	1080	5400
1	1200	1200	6600
1,1	1200	1320	7920
1,2	1200	1440	9360
1,3	1200	1560	10920
1,4	1200	1680	12600
1,5	1200	1800	14400
1,6	1200	1920	16320
1,7	1200	2040	18360
1,8	1200	2160	20520
1,9	1200	2280	22800
2	1200	2400	25200
2,1	1200	2520	27720
2,2	1200	2640	30360
2,3	1200	2760	33120
2,4	1200	2880	36000
2,5	1200	3000	39000
2,6	1200	3120	42120

c). Perhitungan Analisa Kebutuhan Lebar Pintu Air

Dalam perencanaan kolam tampungan digunakan pintu air yaitu Pintu Romijn karena saat penampungan diperlukan mercu untuk membagi aliran sungai sehingga tampungan dapat berfungsi sesuai kapasitas saluran di lokasi tersebut. dimensi pintu yang diperlukan :

•LebarEfektifPintuRomijn

Dengan rumus (Kriteria Perencanaan 04,1986) :

$$Q = C_d * C_v * \sqrt{2/3 * 2.g} * B * h_1^{1,5}$$

Dengan :

$$Q = \text{Debitbanjirm}^3 / \text{dtk}$$

$$C_d = \text{KoefisienDebit}$$

$$= 0,93 + 0,1 * H_1 / L \text{ dengan } L = H_{\text{max}}$$

$$C_v = \text{KoefisienKecepatanDatang}$$

$$= C_d * A' / A_1$$

Dengan A' = Luaspenampangbasahdiatasmejaromijn

A_1 = Luaspenampangbasahsaluranpintu

$$= C_d * b * h_1 / B * (h_1 * 0,5) = C_d * h_1 / (h_1 + 0,5)$$

B = Lebar Efektif Pintu Romijn (m)

H_1 = Tinggi Energi di atas Meja (m)

h_1 = Tinggi Energi Hulu di atas Meja (m)

g = Percepatan Gravitasi = 9,81 m/dtk²

H_1 = $V^2 / 2g$, dengan kecepatan di hulu

Tabel 6.4. Perhitungan Lebar Efektif Pintu

\sqrt{V}	$V^2 / (2 * g)$	H_1	h_1	C_d	C_v	B	Q
0,36	0,007	0,6	0,593	0,96	0,682	0,85	0,43

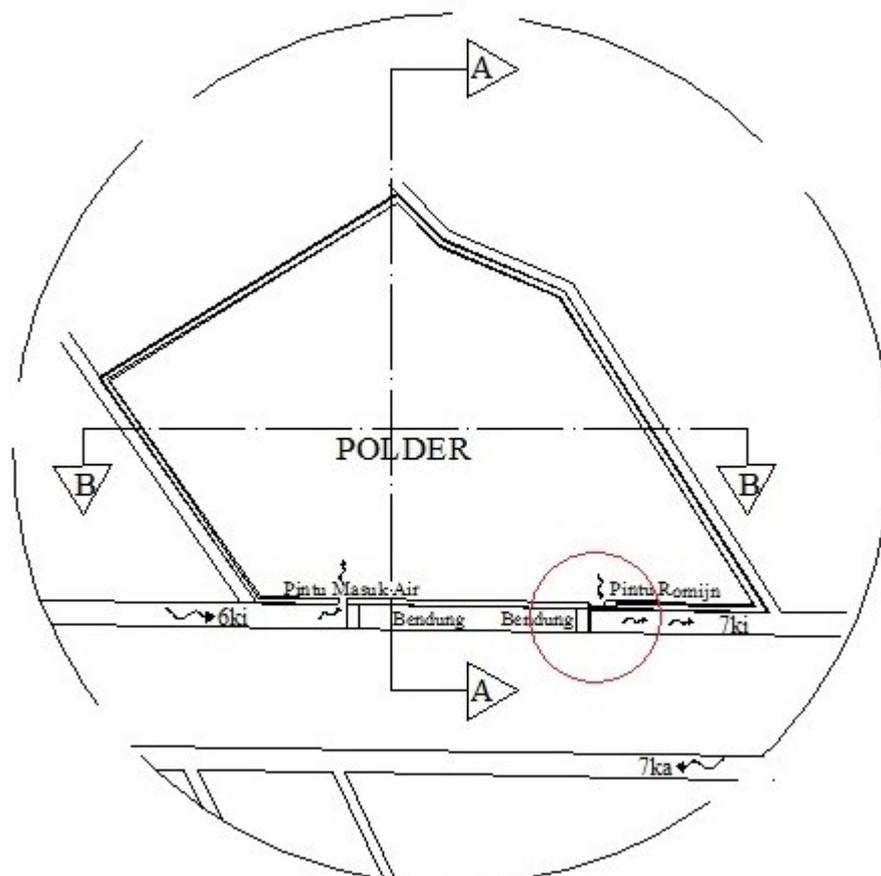
- Lebar Pintu Romijn

Direncanakan jumlah pintu romijn yang akan di perlukan 1 buah.

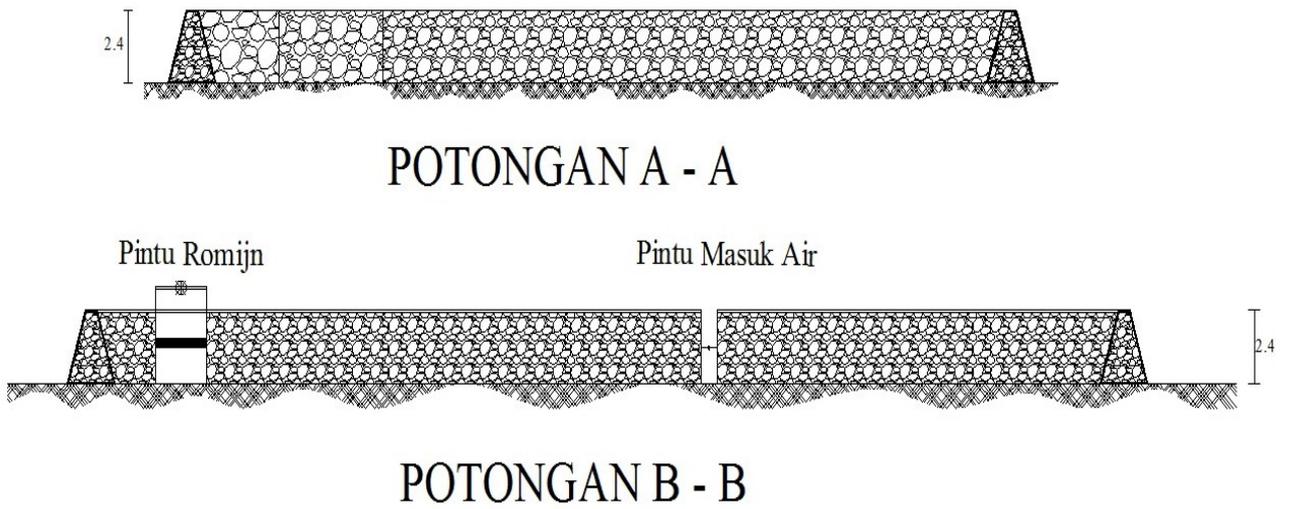
1. Lebar pintu Romijn yang akan direncanakan :

$$\begin{aligned} b_p &= B_e + K_a * H_{max} \\ &= (0,85) + (0,1 * 2,4) \\ &= 1,09 \text{ m} \end{aligned}$$

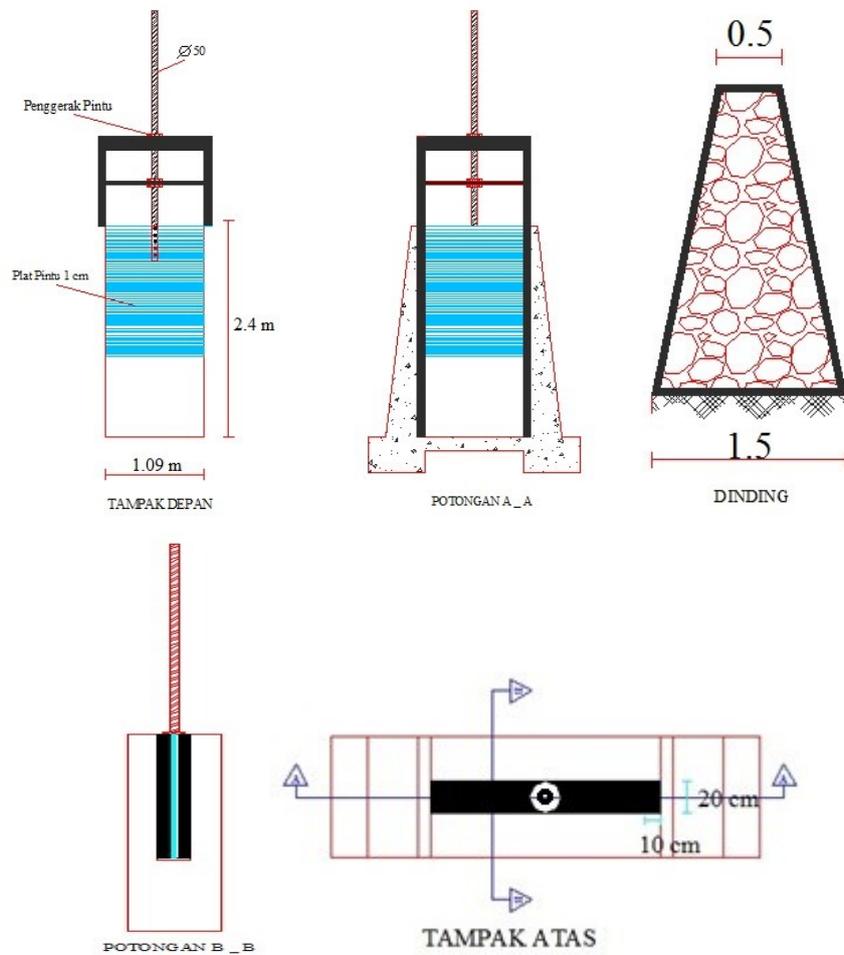
- b_p = Lebar Pintu Romijn
- B_e = Lebar Efektif Pintu Romijn
- K_a = Koefisien abutmen = 0,1
- H_{max} = Tinggi Muka Air banjir di atas 2,4



Gambar.6.7. Denah Rencana Polder



Gambar 6.8. Potongan Bangunan Polder



Gambar 6.9. Detail Bangunan Polder

Bab 7

Mitigasi Banjir Perkotaan

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang teknik mitigasi dan monitoring serta evaluasi sistim drainase perkotaan guna penanggulangan banjir perkotaan dengan merencanakan tahapan-tahapan mitigasi, tahapan-tahapan kegiatan monitoring dan evaluasi sistim drainase perkotaan.

Relevansi

Terjadi banjir perkotaan yang terjadi berulang kali dapat direduksi dampaknya dengan melakukan mitigasi dan melakukan monitoring dan evaluasi terhadap sistim drainase perkotaan yang ada saat ini.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami teknik melakukan mitigasi bencana banjir perkotaan dan teknik melakukan sistim monitoring dan evaluasi sistim drainase perkotaan.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

1. Memahami konsep mitigasi bencana banjir perkotaan
2. Memahami konsep monitoring dan evaluasi sistim drainase perkotaan
3. Memahami tahapan mitigasi bencana
4. Memahami tahapan monitoring dan evaluasi sistim drainase perkotaan

7.1. Umum

Permasalahan banjir dari waktu ke waktu meningkat terus namun penyelesaian atau penanganan banjir, apa disebut pengendalian banjir yakni *flood control*, lebih utama secara fisik/konstruksi dan meluruskan sungai, seperti pada awalnya kemudian disebut mitigasi banjir yakni *flood mitigation*, masih relatif sama dengan tambahan perhatian untuk kegiatan non-struktural dan belakangan disebut pengelolaan banjir *flood management*, dengan melihat lebih menyeluruh dan menekankan pentingnya penanganan non-struktural dan sosial namun semuanya relatif masih berkonsentrasi di sungai dengan mengaggap bahwa kalau banjir masalah utamanya adalah di sungai. Dengan demikian paradigma penanganan banjir adalah selalu di sungai. Kesadaran bahwa dengan meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan tempat tinggal meningkat terus sehingga pembangunan perumahan meningkat terus mengisi lahan-lahan dimana-mana disamping pembangunan perkantoran atau pusat kota dan prasaranan lain seperti jalan (perkerasan jalan), pabrik dan lain-lain. Dengan demikian maka lahan yang tanpa tutupan perumahan atau perkerasan beton atau aspal/jalan semakin menyusut sehingga semakin kecil jumlah luasan lahan tempat meresapnya air (infiltrasi) sehingga imbuhan air tanah (*groundwater recharge*) semakin mengecil dan aliran limpasan air permukaan atau runoff (RO) semakin meningkat terus dari waktu ke waktu. Karena Banjir adalah bencana alam yang paing sering terjadi di kota-kota besar maka ada baiknya dilakukan persiapan dalam hal mitigasi bencana banjir

7.2. Jenis Bencana Banjir

Banjir adalah peristiwa terbenamnya daratan oleh air atau dimana ¹⁴¹ suatu daerah dalam keadaan tergenang oleh air dalam jumlah yang begitu besar. Banjir pada umumnya disebabkan oleh air sungai, got, gorong, kali dan lain sebagainya ¹⁴⁶ yang meluap ke lingkungan sekitarnya karena sebagai akibat curah hujan yang cukup tinggi. Jenis-jenis Banjir:

- Banjir Sungai yang disebabkan oleh air sungai yang meluap.
- Banjir danau yang disebabkan oleh air pada danau yang meluap.
- Banjir bandang banjir di daerah permukaan rendah akibat hujan yang turun secara terus menerus dan munculnya secara tiba-tiba.
- ¹¹⁰ Banjir laut pasang terjadi antara lain akibat adanya badai dan gempabumiseperti tsunami.

Faktor-faktor penyebab terjadinya banjir:

- ¹¹³ Penebangan hutan secara liar tanpa disertai reboisasi.
- Pendakalan sungai.
- Membuang sampah sembarangan, di aliran sungai ataupun di jalan.
- Pembuatan saluran air, got, gorong-gorong yang tidak sesuai dengan syarat-syarat.
- Pembuatan tanggul, setu, danau yang kurang baik.
- Bencana dari alam seperti hujan deras secara terus menerus, gempa bumi di laut yang menyebabkan tsunami dan lain sebagainya.
- Kurangnya lahan hijau dan terbuka di daerah rendah dan padat penduduk untuk penyerapan air.

Tindakan Penanggulangan Banjir:

- Tidak membuang sampah sembarangan.
- reboisasi tanaman khususnya tanaman yang dapat menyerap air dengan cepat dan baik.
- Menjaga kebersihan daerah aliran air seperti danau, sungai, got dan gorong-gorong.
- menyediakan lahan terbuka untuk membuat lahan hijau untuk penyerapan air.
- Mengurangi pembangunan bangunan di daerah-daerah aliran sungai atau penyerapan air.
- Membangun sarana dan prasarana untuk pemantauan dan peringatan dini terhadap sungai-sungai yang relatif besar menyebabkan banjir, bencana alam seperti tsunami dan lain sebagainya.

7.3. Manajemen Bencana Banjir

Sebuah ² banjir adalah peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan. Pengarahan banjir Uni Eropa mengartikan banjir sebagai perendaman sementara oleh air pada daratan yang biasanya tidak terendam air. Dalam arti "air mengalir", kata ini juga dapat berarti masuknya pasang laut. Banjir diakibatkan oleh volume air di suatu badan air seperti sungai atau danau yang meluap atau menjebol bendungan sehingga air keluar dari batasan alaminya. Ukuran danau atau badan air terus berubah-ubah sesuai perubahan curah hujan dan pencairan salju musiman, namun banjir yang terjadi tidak besar kecuali jika air mencapai daerah yang dimanfaatkan manusia seperti desa, kota, dan permukiman lain. Banjir juga dapat terjadi di sungai, ketika

alirannya melebihi kapasitas saluran air, terutama di kelokan sungai. Banjir sering mengakibatkan kerusakan rumah dan pertokoan yang dibangun di dataran banjir sungai alami. Meski kerusakan akibat banjir dapat dihindari dengan pindah menjauh dari sungai dan badan air yang lain, orang-orang menetap dan bekerja dekat air untuk mencari nafkah dan memanfaatkan biaya murah serta perjalanan dan perdagangan yang lancar dekat perairan. Manusia terus menetap di wilayah rawan banjir adalah bukti bahwa nilai menetap dekat air lebih besar daripada biaya kerusakan akibat banjir periodik.

Manajemen Banjir Pengendalian Banjir²⁷ Pengendalian banjir dimaksudkan untuk memperkecil dampak negatif dari bencana banjir, antara lain: korban jiwa, kerusakan harta benda, kerusakan lingkungan, dan terganggunya kegiatan sosial ekonomi. Prinsip Pengendalian Banjir diantaranya :

- 44 a. Menahan air sebesar mungkin di hulu dengan membuat waduk dan konservasi tanah dan air.
- b. Meresapkan air hujan sebanyak mungkin ke dalam tanah dengan sumur resapan atau rorak dan menyediakan daerah terbuka hijau.
- c. Mengendalikan air di bagian tengah dengan menyimpan sementara di daerah retensi.
- d. Mengalirkan air secepatnya ke muara atau ke laut dengan menjaga kapasitas wadah air.
- e. Mengamankan penduduk, prasarana vital, dan harta benda.

7.4. Strategi Pengendalian Banjir

Dalam melakukan pengendalian banjir, perlu disusun strategi agar dapat dicapai hasil yang diharapkan. Berikut ini strategi pengendalian banjir.

- a. Pengendalian tata ruang Pengendalian tata ruang dilakukan dengan perencanaan penggunaan ruang sesuai kemampuannya dengan mempertimbangkan permasalahan banjir, pemanfaatan lahan sesuai dengan peruntukannya, dan penegakan hukum terhadap pelanggaran rencana tata ruang yang telah memperhitungkan Rencana Induk Pengembangan Wilayah Sungai.
- b. Pengaturan debit banjir Pengaturan debit banjir dilakukan melalui kegiatan pembangunan dan pengaturan bendungan dan waduk banjir, tanggul banjir, palung sungai, pembagi atau pelimpah banjir, daerah retensi banjir, dan sistem polder.
- c. Pengaturan daerah rawan banjir
- d. Pengaturan tata guna lahan dataran banjir (flood plain management).

- e. Penataan daerah lingkungan sungai, seperti: penetapan garis sempadan sungai, peruntukan lahan di kiri kanan sungai, dan penertiban bangunan di sepanjang aliran sungai.
- f. Peningkatan peran masyarakat
- g. Peningkatan peran serta masyarakat diwujudkan dalam
- h. ⁴ Pembentukan forum peduli banjir sebagai wadah bagi masyarakat untuk berperan dalam pengendalian banjir. bersama dengan Pemerintah dan pemerintah daerah dalam menyusun dan menyosialisasikan program pengendalian banjir.
- i. Menaati peraturan tentang pelestarian sumber daya air, antara lain tidak melakukan kegiatan kecuali dengan ijin dari pejabat yang berwenang untuk: mengubah aliran sungai; mendirikan, mengubah atau membongkar bangunan-bangunan di dalam atau melintas sungai; membuang benda-benda atau bahan-bahan padat dan/atau cair ataupun yang berupa limbah ke dalam maupun di sekitar sungai yang diperkirakan atau patut diduga akan mengganggu aliran; dan pengerukan atau penggalian bahan galian golongan C dan/atau bahan lainnya. Pengaturan untuk mengurangi dampak banjir terhadap masyarakat ⁴ penyediaan informasi dan pendidikan, rehabilitasi, rekonstruksi, dan/atau pembangunan fasilitas umum, melakukan penyelamatan, pengungsian, dan tindakan darurat lainnya; penyesuaian pajak dan asuransi banjir.

7.5. Kesiapsiagaan Menghadapi Bencana Banjir

¹⁶ Tahap sebelum terjadi banjir Kegiatan yang dilakukan adalah meningkatkan kesiapsiagaan menghadapi ancaman bahaya banjir, meliputi:

- a. Penyebarluasan peraturan perundang-undangan atau informasi-informasi, baik dari Pemerintah maupun pemerintah daerah, berkaitan dengan masalah banjir;
- b. Pemantauan lokasi-lokasi rawan (kritis) secara terus-menerus;
- c. Optimasi pengoperasian prasarana dan sarana pengendali banjir;
- d. Penyebarluasan informasi daerah rawan banjir, ancaman/bahaya, dan tindakan yang harus diambil oleh masyarakat yang tinggal di daerah rawan bencana;
- e. Peningkatan kesiapsiagaan organisasi dan manajemen pengendalian banjir dengan menyiapkan dukungan sumber daya yang diperlukan dan berorientasi kepada pemotivasian individu dalam masyarakat setempat agar selalu siap sedia mengendalikan ancaman/bahaya;
- f. ²⁷ Persiapan evakuasi ke lokasi yang lebih aman;

- g. Penyediaan bahan-bahan banjir untuk keadaan darurat, seperti: karung plastik, bronjong kawat, dan material-material pengisinya (pasir, batu, dan lain-lain), dan disediakan pada lokasi-lokasi yang diperkirakan rawan/kritis
- h. ²⁷ Penyediaan peralatan berat (backhoe, excavator, truk, buldozer, dan lain-lain) dan disiapsiagakan pada lokasi yang strategis, sehingga sewaktu-waktu mudah dimobilisasi
- i. Penyiapan peralatan dan kelengkapan evakuasi, seperti: speed boat, perahu, pelampung, dan lain-lain.

³⁹ Saat terjadi banjir Kegiatan yang dilakukan dititikberatkan pada:

- a. Penyelenggaraan piket banjir di setiap posko.
- b. Pengoperasian sistem peringatan banjir (*flood warning system*) Pemantauan tinggi muka air dan debit air pada setiap titik pantau. Melaporkan hasil pemantauan pada saat mencapai tingkat siaga kepada dinas/instansi terkait, untuk kemudian diinformasikan kepada masyarakat sesuai dengan Standar Prosedur Operasional Banjir.
- ⁴ c. Peramalan-peramalan banjir dapat dilakukan dengan cara: analisa hubungan hujan dengan banjir (rainfall – runoff relationship), metode perambatan banjir (flood routing), metode lainnya.
- d. Komunikasi
Sistim komunikasi digunakan untuk kelancaran penyampaian informasi dan pelaporan, dapat menggunakan radio komunikasi, telepon, faximili, dan sarana lainnya.
- e. Gawar/Pemberitaan Banjir (Pemberitaan)
Gawar/pemberitaan banjir dilakukan dengan sirine, kentongan, dan/atau sarana sejenis lainnya dari masing-masing pos pengamatan berdasarkan informasi dari posko banjir.

¹⁶ 7.6. Penanggulangan Bencana Banjir Mitigasi

Mitigasi ancaman bahaya banjir dilakukan agar keadaan darurat yang ditimbulkan oleh bahaya banjir dapat diringankan atau dijinakan efeknya melalui ¹⁶ pengoperasian dan pemeliharaan sarana dan prasarana pengendalian banjir serta perlindungan sumberdaya air dan lingkungan.

1). Tanggap Darurat

Tanggap darurat ditujukan untuk meningkatkan kemampuan mengatasi keadaan darurat akibat banjir, dilakukan dengan cara:

- a. Mengerahkan sumber daya, seperti: personil, bahan banjiran, peralatan, dana dan bantuan darurat;
- b. Menggerakkan masyarakat dan petugas satuan tugas penanggulangan bencana banjir;
- c. Mengamankan secara darurat sarana dan prasarana pengendali banjir yang berada dalam kondisi kritis
- d. Mengevakuasi penduduk dan harta benda.

2). Pemulihan

Pemulihan dilakukan terhadap sarana dan prasarana sumber daya air serta lingkungan akibat bencana banjir kepada fungsi semula, melalui:

- a. Inventarisasi dan dokumentasi kerusakan sarana dan prasarana sumber daya air, kerusakan lingkungan, korban jiwa, dan perkiraan kerugian yang ditimbulkan;
- b. Merencanakan dan melaksanakan program pemulihan, berupa: rehabilitasi, rekonstruksi atau pembangunan baru sarana dan prasarana sumberdaya air; dan
- c. Penataan kembali kondisi sosial ekonomi masyarakat yang terkena bencana banjir.

3). Pengawasan

Salah satu tugas dinas dan/atau badan hukum yang mengelola wilayah sungai adalah melaksanakan pengendalian banjir. Agar tugas tersebut dapat terlaksana sebagaimana mestinya, maka diperlukan pengawasan oleh BPBD provinsi (atau Satkorlak) dan BPBD kabupaten/kota (Satlak) yang meliputi:

- a. Pengawasan terhadap dampak dari banjir
- b. Pengawasan terhadap upaya penanggulangannya.

4). Kelembagaan

Pengaturan pengendalian banjir di suatu wilayah sungai diselenggarakan oleh Pemerintah, pemerintah daerah, atau badan hukum sesuai kewenangan masing-masing, yang pelaksanaannya dikoordinasikan oleh BNPB, BPBD provinsi (atau Satkorlak), dan BPBD kabupaten/kota (Satlak).

Pengendalian banjir merupakan sebagian tugas yang diemban oleh pengelola sumber daya air wilayah sungai. Untuk melaksanakan tugas tersebut, di dalam struktur organisasi pengelola sumber daya air wilayah sungai terdapat unit yang menanganipengendalianbanjir.

Tugas-tugas unit yang menangani pengendalian banjir adalah:

- a. melaksanakan pengumpulan data, pembuatan peta banjir, penyusunan rencana teknis pengendalian banjir;
- b. melaksanakan analisis hidrologi dan penyebab banjir;
- c. melaksanakan penyusunan prioritas penanganan daerah rawan banjir
- d. melaksanakan pengendalian bahaya banjir, meliputi tindakan darurat pengendalian dan penanggulangan banjir;
- e. menyusun dan mengoperasikan sistem peramalan dan peringatan dini banjir
- f. melaksanakan persiapan, penyusunan, dan penetapan pengaturan dan petunjuk teknis pengendalian banjir; dan menyiapkan rencana kebutuhan bahan untuk penanggulangan banjir.

7.7. Sumberdaya Pendukung

1). Personil

- a. Kelompok tenaga ahli Tenaga ahli yang diperlukan adalah tenaga ahli yang memenuhi kualifikasi di bidang sumber daya air, antara lain: bidang hidrologi, klimatologi, hidrolika, sipil, elektro mekanis, hidrogeologi, geologi teknik, dan tenaga ahli lainnya yang berhubungan dengan masalah banjir.
- b. Kelompok tenaga lapangan dalam pelaksanaan pengendalian banjir, dibutuhkan petugas lapangan dalam jumlah cukup, utamanya untuk kegiatan pemantauan dan tindakan turun tangan.

2). Sarana dan Prasarana

Peralatan dan bahan dalam rangka pengendalian banjir terdiri dari: peralatan hidrologi dan hidrometri (antara lain: peralatan klimatologi, AWLR, ARR, extensometer), peralatan komunikasi (antara lain: radio komunikasi, telepon, faksimili), alat-alat berat dan transportasi (antara lain: bulldozer, excavator, truk), perlengkapan kerja penunjang (antara lain: sekop, gergaji, cangkul, pompa air), perlengkapan untuk evakuasi (antara lain: tenda darurat, perahu karet, dapur umum, obat-obatan), bahan banjir (Misalnya: karung plastik, bronjong kawat, bambu, dolken kayu)

3). Dana

Dalam pengendalian banjir, diperlukan alokasi dana yang diupayakan selalu tersedia. Dana yang diperlukan tersebut harus dialokasikan sebagai dana cadangan yang

bersumber dari APBN, APBD, atau sumber dana lainnya. Dana cadangan disediakan sesuai ketentuan yang berlaku

4). Koordinasi

Lembaga Koordinasi berkaitan dengan pengendalian banjir, lembaga koordinasi yang ada adalah Tim Penanggulangan Bencana Alam. Pada tingkat nasional adalah Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), pada tingkat provinsi adalah BPBD provinsi (jika belum dibentuk dikoordinir oleh Satkorlak PB), dan pada tingkat kabupaten/kota adalah BPBD kabupaten/kota (jika tidak dibentuk dikoordinir oleh Satlak PB). Obyek yang dikoordinasikan dalam pengendalian serta penanggulangan banjir dapat dipisahkan menjadi tahapan sebelum banjir, saat banjir, dan sesudah banjir.

Sebelum Banjir

- a. ²⁷ Perencanaan rute evakuasi dan tempat penampungan penduduk.
- b. Perencanaan program penyelamatan dan pertolongan kepada masyarakat.
- c. Perencanaan rute pengiriman material penanggulangan pada tempat-tempat kritis.
- d. ¹³⁹ Perencanaan rute pengiriman logistik kepada masyarakat.
- e. Perencanaan jenis dan jumlah bahan serta peralatan banjir.
- f. Penyiapan sarana dan prasarana pendukung serta Sumberdaya Manusia.

Saat Banjir

Evakuasi penduduk sesuai dengan prosedur dengan memberikan bantuan kepada penduduk.

Sesudah Banjir

- a. ³⁹ Pemulihan kembali pemukiman penduduk, prasarana umum, bangunan pengendali banjir, dan lain-lain.
- b. Pengembalian penduduk ke tempat semula.
- c. Pengamatan, pendataan kerugian dan kerusakan banjir.

Mekanisme Koordinasi

Koordinasi dalam pengendalian banjir dilakukan secara bertahap melalui BPBD kabupaten (Satlak PB), BPBA, dan BNPB. Dalam forum koordinasi tersebut,

dilakukan musyawarah untuk memutuskan sesuatu yang sebelumnya mendengarkan pendapat dari anggota yang mewakili instansi terkait.

Sistem Pelaporan

Dinas/Instansi/Badan hukum pengelola wilayah sungai melaporkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Karakteristik banjir (antara lain: hidrologi banjir, peta daerah rawan banjir, banjir bandang);
- b. Kejadian banjir (antara lain: waktu, lokasi, lama dan luas genangan banjir);
- c. Kerugian akibat banjir (antara lain: korban jiwa, harta benda, sosial ekonomi);
- d. Kerusakan (antara lain: sarana dan prasarana, permukiman, pertanian, perikanan, lingkungan)
- e. Penanggulangan darurat
- f. Usulan program pemulihan secara menyeluruh. Laporan tersebut di atas disampaikan kepada Bupati/Walikota/Gubernur/Menteri sesuai dengan jenis dan tingkatannya.

Kesimpulan

Penanganan Bencana banjir dilakukan dengan berbagai cara dan dilakukan bersama sama oleh semua pihak-pihak terkait. Hal ini dikarenakan untuk penanganan banjir dibutuhkan penanganan cepat dan efisien terutama untuk menyelamatkan masyarakat. Oleh karena itu dengan melakukan berbagai tindakan yang telah dipaparkan diatas diharapkan dapat memperkecil kerugian moril maupun materil dari bencana banjir.

7.8. Aspek – Aspek Monitoring dan Evaluasi Drainase Perkotaan

Permasalahan-permasalahan terkait dengan pengelolaan sistem drainase dapat ditinjau dari beberapa aspek, yaitu :

- a. Aspek Teknik
- b. Aspek Ekonomi
- c. Aspek Legalitas
- d. Aspek Kelembagaan

7.8.1. Aspek Teknik

Permasalahan-permasalahan pengelolaan drainase secara teknis pada semua wilayah dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya :

a. Pada tahap perencanaan :

- Sebagian kota dan kabupaten **belum memiliki pola yang baku atau rancangan dalam pengelolaan sebuah sistim drainase** yang dituangkan dalam bentuk Rencana tata ruang kota (RTRK) dan **master plan drainase**.
- Pada sebagian kota dalam melakukan **kajian teknis perencanaan dan rivew desain sebuah saluran drainase kurang optimal**, seperti penentuan dimensi kurang memperhatikan aspek aliran dari hulu, kajian hidrologi dan hidrolika aliran.

b. Pada tahap pelaksanaan dan pemeliharaan :

- Jika pola baku berupa master plan drainase dan perencanaan teknis sudah disusun, terjadi **inkonsistensi dalam menjalankan aturan atau kriteria yang sudah ditetapkan**, seperti dimensi saluran yang dibangun tidak sesuai rencana, slope kemiringan saluran kurang.
- **Kualitas pekerjaan konstruksi kurang baik**, banyak terjadi kerusakan konstruksi belum pada waktunya.
- **Lemahnya kegiatan pengawasan atau supervisi** selama pekerjaan konstruksi.
- **Pemeliharaan rutin berupa normalisasi saluran** dari sedimentasi kurang dijalankan dengan baik.

7.8.2. Aspek Ekonomi

Permasalahan-permasalahan drainase yang berkaitan dengan ekonomi berupa tingkat pembiayaan yang dilakukan dalam pengelolaan sistim drainase. Pengelolaan yang dimaksud disini dapat berupa pembangunan sebuah saluran drainase baru, perbaikan saluran drainase yang lama dan normalisasi saluran drainase. Pada sebagian besar pusat kota di Kota atau Kabupaten yang terletak di wilayah timur dijumpai permasalahan-permasalahan sebagai berikut :

- Belum adanya **alokasi dana yang khusus(DAK)** oleh pemerintah baik pusat maupun daerah melalui instansi terkait dalam perencanaan, pembangunan,

dan perbaikan sebuah saluran drainase terutama pada wilayah yang rawan mengalami genangan air.

- **Alokasi dana yang kurang berimbang** dalam pembangunan sebuah infrastruktur yang semestinya semakin banyak infrastruktur yang dibangun semakin bertambah pula anggaran pembangunan saluran drainase, sebab tutupan lahan semakin berkurang yang berarti limpasan permukaan akibat hujan semakin bertambah. Hal ini belum ditambah lagi dari limbah domestik rumah tangga maupun fasilitas sosial yang juga dibuang ke dalam saluran drainase.
- **Kemampuan anggaran dari pemerintah daerah yang cukup rendah** sebab sebagian anggarannya habis untuk pembelanjaan pegawai, pengadaan ATK dan sebagainya. Hal ini dapat terjadi di beberapa Kabupaten yang memiliki Pendapatan Asli Daerah (PAD) yang cukup rendah.

7.8.3. Aspek Legalitas

Aspek legalitas berhubungan dengan pembuatan produk-produk hukum yang terkait dengan pengelolaan jaringan drainase di perkotaan. Dari produk hukum yang sudah berbentuk peraturan-peraturan (PERDA) nantinya disosialisasikan kepada masyarakat. Beberapa permasalahan sistem drainase yang berhubungan dengan aspek legalitas, diantaranya :

- Pada sebagian besar Kota atau kabupaten, **masih kurang produk hukum berupa perda yang terkait dengan pengelolaan sistim drainase** maupun utilitas yang berhubungan dengan drainase, misalnya larangan membuang limbah cair ke dalam saluran drainase.
- **Minimnya sosialisasi tentang perda yang ada**, misalnya dilarang membuang sampah disembarang tempat termasuk sanksi yang akan diberikan jika dilanggar.
- **Pemberlakuan sanksi masih belum dilaksanakan**, misalnya sebagian penduduk perkotaan menggunakan bantaran sungai sebagai pemukiman.
- **Belum adanya aturan baku dalam penerbitan IMB** mewajibkan ada *septictank* pada setiap perumahan, pembuatan IPAL untuk fasilitas sosial dan industri skala kecil di perkotaan.

7.8.4. Aspek Kelembagaan

Aspek kelembagaan berhubungan dengan pengelolaan sistim drainase perkotaan dapat berupa :

- instansi pemerintah yang bertugas mengelola jaringan drainase dan baik satu instansi maupun lintas sektoral.
- Kelembagaan swasta yang merupakan bentukan masyarakat untuk pengelolaan sanitasi lingkungan, termasuk pengelolaan drainase.

Adapun permasalahan-permasalahan terkait dengan pengelolaan drainase perkotaan ditinjau dari aspek kelembagaan diantaranya :

- **Tumpah tindih dan belum adanya kejelasan instansi pemerintah yang bertugas mengelola jaringan drainase** yang ada, sebab saluran drainase sekunder dan primer awalnya merupakan saluran irigasi. Namun akibat perubahan tata guna lahan menjadi permukiman maka saluran irigasi berfungsi menjadi saluran drainase, sehingga instansi pengelola berpindah dari Dinas Pengairan ke Dinas Cipta Karya Kota Maupun Kabupaten. dan baik satu instansi maupun lintas sektoral.
- **Lemahnya Koordinasi antar instansi dalam pengelolaan jaringan drainase.** Misalnya master plan yang sudah disusun oleh Bappekab/Bappeko, seharusnya dijalankan oleh dinas teknis dan pelaksanaannya dibawah koordinasi Bappekab/Bappeko.
- Kelembagaan swasta yang merupakan bentukan masyarakat untuk pengelolaan sanitasi lingkungan, termasuk pengelolaan drainase belum terbentuk.

7.8.5. Genangan Air

Genangan air sangat dipengaruhi dua hal prinsip, yaitu **intensitas hujan dan tata guna lahan**. Genangan air di wilayah perkotaan saat ini cenderung semakin meningkat, hal ini dimungkinkan karena :

- Jumlah penduduk semakin meningkat, sehingga penyediaan infrastruktur semakin bertambah berarti limpasan air hujan meningkat karena koefisien tutupan lahan semakin besar.
- Iklim yang tidak menentu termasuk fluktuasi dan durasi hujan
- Penurunan kinerja saluran drainase karena kerusakan dan sedimentasi.

7.9. Analisa Aspek – Aspek Pengelolaan Drainase Perkotaan

Analisa yang dilakukan berhubungan dengan pengelolaan sebuah sistem drainase perkotaan mengacu pada hasil identifikasi permasalahan dengan indikator penurunan kinerja sebuah sistem drainase. Untuk memudahkan dalam melakukan analisa, maka ditinjau melalui aspek-aspek yang terdapat pada hasil identifikasi masalah, yaitu :

- b. Aspek Teknik
- c. Aspek Ekonomi
- d. Aspek Legalitas
- e. Aspek Kelembagaan

7.9.1. Aspek Teknik

Analisa umum pengelolaan drainase secara teknis pada semua wilayah, diantaranya :

b. Pada tahap perencanaan :

- Pada sebagian kota dan kabupaten yang sudah memiliki pola yang baku atau rancangan dalam pengelolaan sebuah sistim drainase yang dituangkan dalam bentuk Rencana tata ruang kota (RTRK), master plan drainase, maupun hasil perencanaan teknis perlu **dilakukan pengecekan apakah ada kesesuaian antara kondisi eksisting dengan kajian yang sudah dibuat**, termasuk konsistensi dalam melaksanakan master plan yang sudah disusun.
- Sedangkan Pada sebagian kota yang belum memiliki pola yang baku atau rancangan dalam pengelolaan sebuah sistim drainase yang dituangkan dalam bentuk Rencana tata ruang kota (RTRK), master plan drainase, maupun hasil perencanaan teknis perlu dilakukan beberapa hal :
 - Penyusunan peta sistim drainase
 - Setiap melakukan perencanaan sebuah ruas saluran dilakukan perhitungan teknis yang mencakup hitungan hidrologi dan hidrolis saluran.
 - Setiap hasil perhitungan setiap ruas dibuat database, sehingga dalam jangka panjang tersusun data base dan peta perencanaan sisitim

drainase yang terkoneksi antar setiap ruas saluran dalam sebuah sistem drainase.

c. Pada tahap pelaksanaan dan pemeliharaan :

- Dilakukan konsistensi dalam menjalankan aturan atau kriteria yang sudah ditetapkan, seperti hasil kajian RTRK, master plan, dan detail perencanaan teknis.
- Dilakukan evaluasi terhadap hasil pekerjaan konstruksi dan perbaikan kualitas pekerjaan konstruksi.
- Dilakukan pemeliharaan secara rutin berkala berupa normalisasi saluran dari sedimentasi kurang dijalankan dengan baik.

7.9.2. Aspek Ekonomi

Analisa pengelolaan sarana dan prasarana drainase yang berkaitan dengan ekonomi berupa tingkat pembiayaan yang dilakukan dalam pengelolaan sistim drainase. Pengelolaan yang dimaksud disini dapat berupa pembangunan sebuah saluran drainase baru, perbaikan saluran drainase yang lama dan normalisasi saluran drainase. Beberapa analisa pengelolaan sarana dan prasarana drainase yang berkaitan dengan ekonomi sebagai berikut :

- I. Perlu disusun sebuah proposal atau usulan kegiatan penyusunan master plan drainase (untuk kota/kabupaten yang belum memiliki master plan), perencanaan teknis, pembangunan dan normalisasi saluran oleh instansi terkait (Dinas Cipta Karya Kabupaten) yang ditujukan ditingkat Propinsi maupun Pusat.
- II. Melakukan koordinasi secara aktif dengan tim anggaran kabupaten termasuk dengan instansi lain yang terkait (seperti Dinas Bina Marga dan Dinas Pengairan Kabupaten), sehingga ada alokasi dana yang berimbang dalam pembangunan sebuah infrastruktur yang semestinya semakin banyak infrastruktur yang dibangun semakin bertambah pula anggaran pembangunan saluran drainase, sebab tutupan lahan semakin berkurang yang berarti limpasan permukaan akibat hujan semakin bertambah. Hal ini belum ditambah lagi dari limbah domestik rumah tangga maupun fasilitas sosial yang juga dibuang ke dalam saluran drainase.

7.9.3. Aspek Legalitas

Aspek legalitas berhubungan dengan pembuatan produk-produk hukum yang terkait dengan pengelolaan jaringan drainase di perkotaan. Dari produk hukum yang sudah berbentuk peraturan-peraturan (PERDA) nantinya disosialisasikan kepada masyarakat. Beberapa analisa pengelolaan sarana dan prasarana drainase yang berhubungan dengan aspek legalitas, diantaranya :

- Melakukan koordinasi dengan lembaga legislatif guna penerbitan produk-produk hukum berupa peraturan-peraturan daerah (PERDA) yang terkait dengan pengelolaan sistim drainase maupun utilitas yang berhubungan dengan drainase, misalnya larangan membuang limbah cair ke dalam saluran drainase.
- Dilakukan sosialisasi tentang perda yang sudah ada dan pemberlakuan sanksi bagi yang melakukan pelanggaran.

7.9.4. Aspek Kelembagaan

Analisa pengelolaan drainase yang berkaitan dengan aspek kelembagaan berhubungan dengan pengelolaan sistim drainase perkotaan diantaranya :

- instansi pemerintah daerah yang bertugas mengelola jaringan drainase dan baik satu instansi maupun lintas sektoral perlu dibentuk seksi khusus yang menangani masalah drainase.
- Penyusunan kelembagaan swasta yang merupakan bentukan masyarakat untuk pengelolaan sanitasi lingkungan, termasuk pengelolaan sarana dan prasarana drainase.

7.10. Rekomendasi Pengelolaan Drainase Perkotaan

Dengan mengacu dari hasil tinjauan terhadap beberapa hasil studi atau kajian RTRW, Master plan drainase kota, diskusi dan survey instansional yang dilanjutkan dengan survey lapangan, maka didapat catatan permasalahan yang terjadi pada semua kota dan kabupaten di wilayah timur yang harus segera ditangani. Beberapa catatan permasalahan tersebut adalah :

1. Terdapat masalah genangan yang disebabkan penurunan kapasitas saluran penampang saluran akibat sedimentasi dan sampah.

2. Lemahnya koordinasi dalam pembagian kewenangan dalam pengelolaan sarana dan prasarana drainase antar instansi yang terkait.
3. Rendahnya partisipasi masyarakat terhadap pengelolaan sarana dan prasarana drainase.
4. Alokasi dana yang cukup minim untuk pengelolaan sarana dan prasarana drainase.
5. Sebagian kota/kabupaten belum memiliki standarisasi master plan drainase dan sistim atau pola pengelolaan terhadap sistim drainase yang sudah ada.

Untuk memberikan arahan-arahan dalam keberlanjutan pengelolaan sebuah sistim drainase, maka berdasarkan hasil kegiatan monitoring dan evaluasi (MONEV) pemanfaatan sarana dan prasarana drainase yang dilakukan oleh konsultan, akan diberikan rekomendasi secara berjangka sebagai berikut :

- a. Jangka pendek : tahun 2012 s/d 2014.
- b. Jangka menengah : tahun 2015 s/d 2017
- c. Jangka panjang : tahun 2018 s/d 2021

7.10.1. Rekomendasi Jangka Pendek

Rekomendasi jangka pendek ditekankan pada penanganan permasalahan yang paling urgen yaitu **permasalahan genangan di kota/kabupaten** dengan waktu sekitar 3 tahun, mulai tahun 2012 sampai dengan tahun 2014. Secara umum rekomendasi jangka pendek untuk wilayah timur sebagai berikut :

- a. Pembersihan sampah-sampah yang menyumbat di inlet dan saluran.
- b. Normalisasi saluran yang mengalami penyumbatan akibat sedimentasi.
- c. DED dan pekerjaan konstruksi pembuatan inlet-inlet dan sudetan di kawasan yang mengalami genangan.
- d. Sosialisasi tentang pembuangan sampah.

7.10.2. Rekomendasi Jangka Menengah

Rekomendasi jangka menengah ditekankan pada **penanganan permasalahan yang berkaitan dari sistem atau jaringan drainase di kota/kabupaten yang mengalami kendala-kendala** seperti :

- Kapasitas saluran terlalu kecil
- Kerusakan konstruksi saluran drainase

- Arah aliran yang kurang tepat.

dengan waktu sekitar 3 tahun, mulai tahun 2015 sampai dengan tahun 2017. Secara umum rekomendasi jangka menengah untuk wilayah timur sebagai berikut :

- a. Melakukan koreksi dan perbaikan sistim aliran dan layout jaringan drainase yang sudah ada.
- b. Melakukan kajian hidrologis dan hidrolis terhadap sistim yang ada.
- c. Penambahan kapasitas saluran yang ada, bila diperlukan dibuat sudetan.
- d. Normalisasi saluran drainase
- e. Melakukan rehabilitasi atau perbaikan saluran yang mengalami kerusakan.

7.10.3. Rekomendasi Jangka Panjang

Rekomendasi jangka panjang ditekankan pada **peningkatan kinerja sistem atau jaringan drainase di kota/kabupaten dengan konsep keberlanjutan dan berwawasan lingkungan** dengan waktu sekitar 3 tahun, mulai tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Secara umum rekomendasi jangka panjang untuk wilayah timur sebagai berikut :

- a. DED & Pekerjaan konstruksi Sumur Resapan, Boezem/Folder, hutan kota.
- b. Penerbitan PERDA, Sosialisasi dan pemberlakuan sanksi

Berdasarkan uraian pada bab-bab sebelumnya **terdapat permasalahan-permasalahan yang cukup kompleks** dalam pengelolaan sarana dan prasarana drainase perkotaan. Rata-rata permasalahan drainase di setiap kota di kota/kabupaten cukup bervariasi. Hal ini disebabkan berbagai faktor, diantaranya tingkat pengelolaan, kemampuan sumberdaya manusia, koordinasi antar instansi terkait, kemampuan anggaran dan tingkat partisipasi masyarakat.

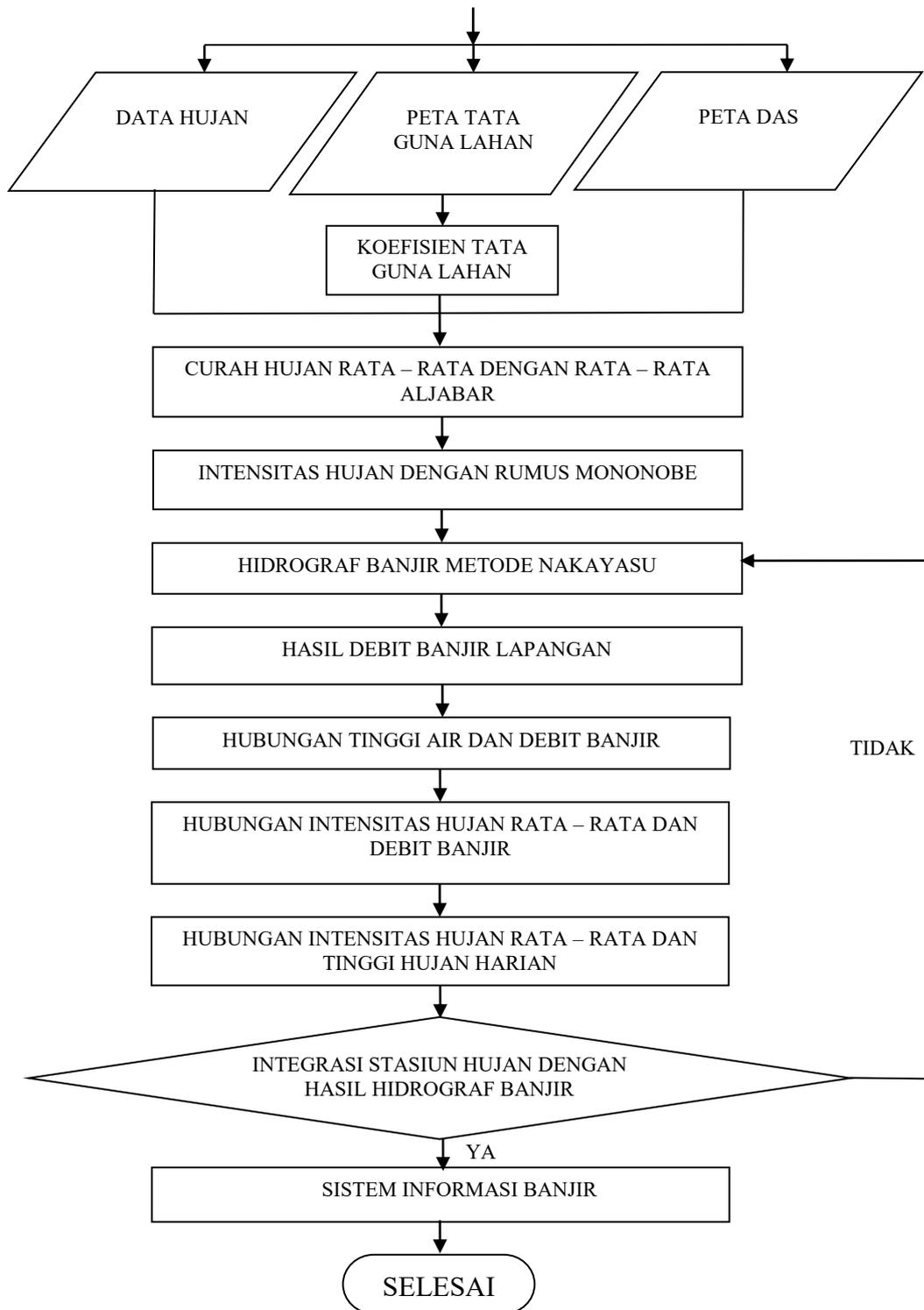
Adapun kesimpulan terhadap permasalahan dalam pengelolaan sarana dan prasarana drainase dapat disajikan sebagai berikut :

- a. Aspek Teknis : Keterbatasan data-data teknis dan pendukung dalam pengelolaan sarana dan prasarana drainase, seperti **tidak adanya rencana umum tata ruang kota (RTRK)** dan kajian **master plan drainase** kota, **perencanaan teknis yang kurang kompherensif**, lemahnya manajemen mutu dalam pelaksanaan

supervisi pekerjaan konstruksi, mekanisme pengelolaan dan pemeliharaan sistem drainase belum tertata dengan baik.

- b. Aspek ekonomis : **Keterbatasan kemampuan alokasi anggaran dari pemerintah kota dan kabupaten** dalam merencanakan, membangun, dan memperbaiki sebuah sistem drainase.
- c. Aspek Legalitas : **Minimnya produk hukum** yang berkaitan dengan aspek pemeliharaan dan pengelolaan sistem drainase dan kurangnya sosialisasi serta tidak adanya pemberian sanksi terhadap pelanggaran sebuah produk hukum yang sudah dikeluarkan.
- d. Aspek Kelembagaan : Belum **adanya pengaturan kelembagaan** yang khusus menangani pengelolaan sistem drainase baik di tingkat pemerintah maupun masyarakat.

7.11. Rancangan Teknologi Mitigasi Bencana Banjir



Gambar. 7.1. Tahapan Rancangan

a). Analisa Penampang Sungai

Untuk mengetahui seberapa besar debit yang dihasilkan ketika hujan turun dengan bervariasi nilai curah hujannya dilakukanlah analisa penampang sungai. Lokasi sungai dalam penelitian ini adalah sungai Dinoyo yang terletak di Desa Glagahwero Kecamatan Panti



Dari hasil pengamatan didapatkan perhitungan berikut ini :

Diket :

Elevasi di hulu	: + 1969
Elevasi di hilir	: + 76
Panjang sungai utama (l)	: 23.358,90 m
Tinggi air (h)	: 2 m
Lebar dasar (b)	: 19,7 m
Tinggi jagaan	: 1 m (karena $Q > 15 \text{ m}^3/\text{dt}$)
Kemiringan talud (m)	: 2 (karena Kedalaman air + tinggi jagaan (D) > 2
Kemiringan dasar saluran(S)	: 0,002
Koefisien kekasaran strickler (k)	: 45 (karena $Q > 10 \text{ m}^3/\text{dt}$)

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{➤ } A &= (b + m \cdot h) h \\ &= (19,7 + 2 \cdot 2) \times 2 \\ &= 47,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } i &= \frac{\Delta h}{l} \\ &= \frac{1969 - 76}{23.358,90} \\ &= 0,081 \end{aligned}$$

- $P = b + 2 \cdot h (\sqrt{m^2 + 1})$
 $= 19,7 + 2 \cdot 2 (\sqrt{2^2 + 1})$
 $= 28,64 \text{ m}$
- $R = A / P$
 $= 47,4 / 28,64$
 $= 1,654 \text{ m}$
- $V = K \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$
 $= 45 \cdot 1,654^{2/3} \cdot 0,081^{1/2}$
 $= 2,815 \text{ m/dt}$
- $Q = V \cdot A$
 $= 2,815 \times 47,4$
 $= 133,454 \text{ m}^3/\text{dt}$

Tabel 7.1. Tinggi hujan harian rata – rata pada tiap stasiun hujan

No.	Durasi hujan (jam)	Sta. Karang Anom	Sta. Pono	Sta. Klatakan	Tinggi Hujan Harian Rata-Rata (mm/hari)
1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0,00
2	1	0	25	25	16,67
3	1	25	25	25	25,00
4	1	25	50	50	41,67
5	1	50	50	50	50,00
6	1	50	75	75	66,67
7	1	75	75	75	75,00
8	1	75	100	100	91,67
9	1	100	100	100	100,00
10	1	105	107	178	130,00

Sumber :Hasil perhitungan

Tabel 7.2. Intensitas hujan rata – rata pada tiga stasiun hujan

No.	Durasi hujan (Jam)	Sta. Karang Anom	Sta. Pono	Sta. Klatakan	Intensitas hujan Sta. Karang Anom	Intensitas hujan Sta. Pono	Intensitas hujan Sta. Klatakan	Intensitas Hujan (mm/jam)	Intensitas Hujan Rata-rata (mm/jam)
1	1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1	0	25	25	0,00	8,67	8,67	17,33	0,01
3	1	25	25	25	8,67	8,67	8,67	26,00	0,01
4	1	25	50	50	8,67	17,33	17,33	43,34	0,02
5	1	50	50	50	17,33	17,33	17,33	52,00	0,03
6	1	50	75	75	17,33	26,00	26,00	69,34	0,04
7	1	75	75	75	26,00	26,00	26,00	78,00	0,04

8	1	75	100	100	26,00	34,67	34,67	95,34	0,05
9	1	100	100	100	34,67	34,67	34,67	104,00	0,06
10	1	105	107	178	36,40	37,09	61,71	135,21	0,08

Sumber :Hasilperhitungan

Tabel7.3.Pemberian status kebencanaanberdasarkantinggi air

No.	Durasih ujan (Jam)	Sta. Karang Anom	Sta. Pono	Sta. Klatakan	Debit Banjir (m3/det)	Tinggi Air (m)	Kecepatan Aliran (m/det)	Kondisi
1	1	0	0	0	0,00	0,163	0,587	(Aman)
2	1	0	25	25	20,21	0,490	1,177	(Aman)
3	1	25	25	25	30,32	0,643	1,388	(Aman)
4	1	25	50	50	50,53	0,930	1,725	(Aman)
5	1	50	50	50	60,64	1,065	1,863	(Waspada)
6	1	50	75	75	80,85	1,315	2,098	(Waspada)
7	1	75	75	75	90,96	1,432	2,199	(Waspada)
8	1	75	100	100	111,17	1,651	2,376	(Siaga)
9	1	100	100	100	121,28	1,752	2,453	(Siaga)
10	1	105	107	178	157,66	2,080	2,686	(Banjir)

Sumber :Hasilperhitungan

Dengan :

Aman = jikatinggi air antaranolsampaisatu meter ($h = 0 - 1$)

Waspada = jikatinggi air antarasatusampaisatukoma lima meter ($h = 1 - 1,5$)

Siaga = jikatinggi air antarasatumoma lima sampaidua meter ($h = 1,5 - 2$)

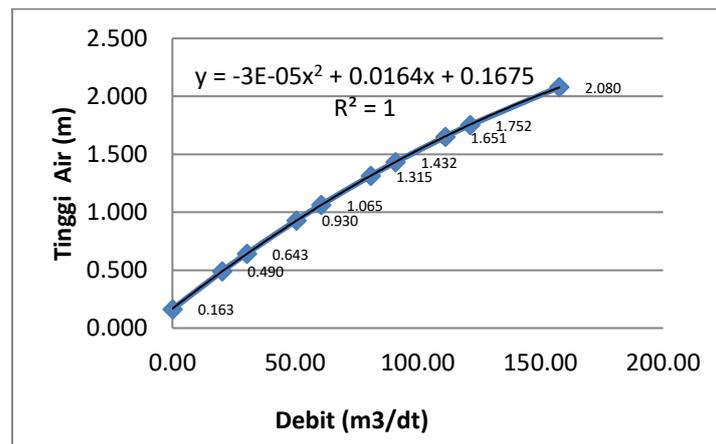
Banjir = jikatinggi air lebihdaridua meter ($h \geq 2$)

Keterangankolom :

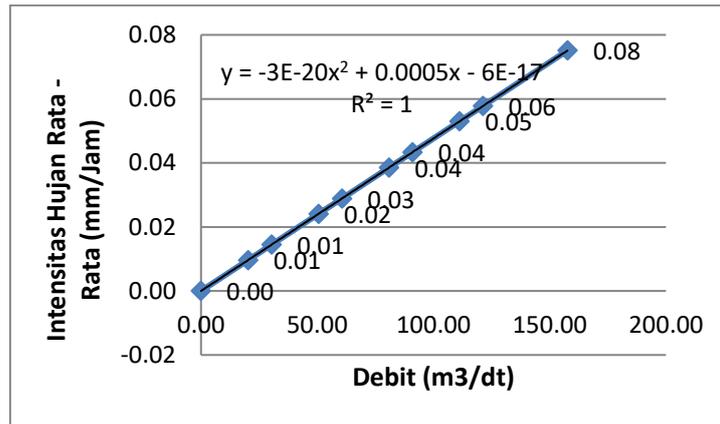
- = nomor urut data
- = lamanya hujan (jam)
- = Stasiun Hujan Karang Anom
- = Stasiun Hujan Pono
- = Stasiun Hujan Klatakan
- = hujanharian rata-rata yang didapat dengan merata – rata curah hujan di tiga stasiun acuan
- = intensitashujan Sta. KarangAnom yang didapat dengan menggunakan rumus mononobe pada acuan curah hujan di Stasiun Hujan Karang Anom

8. = intensitas hujan Sta. Pono yang didapat dengan menggunakan rumus mononobe pada acuan curah hujan di Stasiun Hujan Pono
9. = intensitas hujan Sta. Klatakan Pono yang didapat dengan menggunakan rumus mononobe pada acuan curah hujan di Stasiun Hujan Klatakan
10. = intensitas Hujan (mm/jam) yang merupakan hasil dari penjumlahan intensitas pada 3 stasiun hujan pada saat itu
11. = intensitas hujan rata-rata (mm/jam) yang didapatkan dari intensitas dibagi 30 detik x 60 menit
12. = debit Banjir didapatkan dari konversi curah hujan harian rata – rata kedalam perhitungan dengan metode Hidrograf Banjir Nakayasu
13. = tinggi air sungai
14. = kecepatan pada aliran sungai
15. = status kebencanaan sungai apakah termasuk kedalam status aman, waspada, siaga, ataupun banjir.

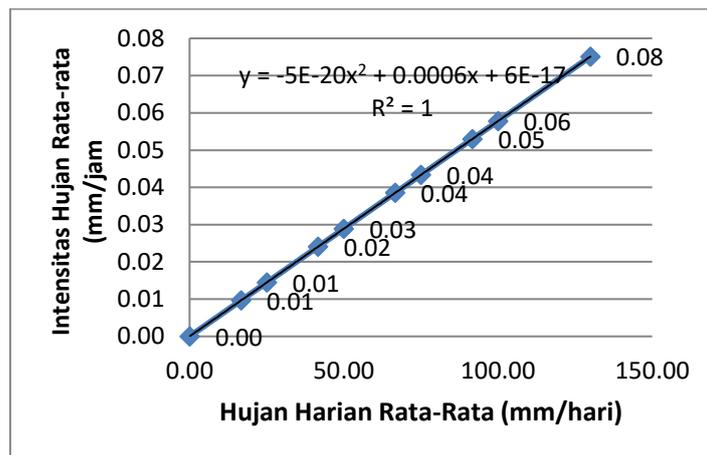
Dari hasil di atas kita dapat mengetahui beberapa persamaan, diantaranya :



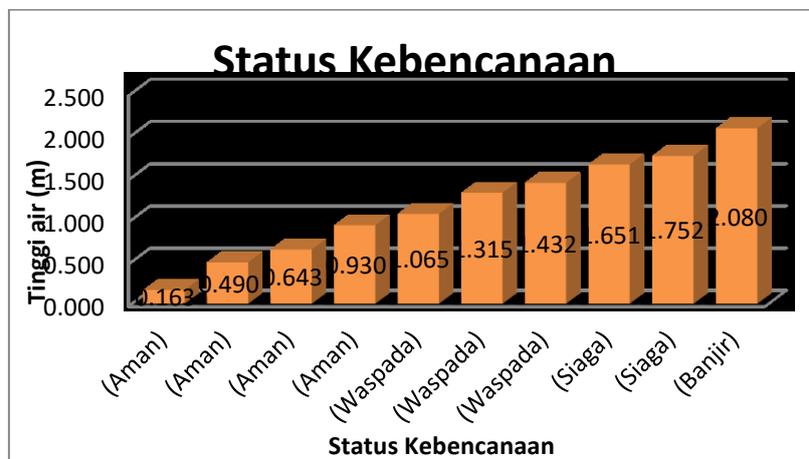
Gambar 7.2. Grafik hubungan antara tinggi air dan debit banjir



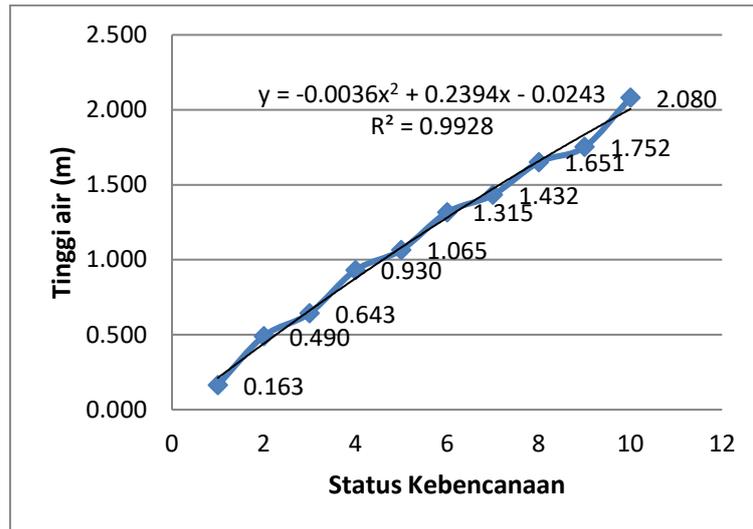
Gambar7.3. Grafik hubungan antarintensitas hujan rata – rata dan debit banjir



Gambar. 7.4. Grafik hubungan antara intensitas hujan harian rata – rata dan hujan harian rata – rata



Gambar. 7.5. Grafik hubungan antara tinggi hujan dan status bencana I



Gambar. 7.6. Grafik hubungan antara tinggi hujan dan status bencana II

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan hasil bahwa sungai dapat menampung air dengan maksimal debit sebesar $133,454 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan dari hasil pengolahan data, debit yang dihasilkan pada saat banjir bandang di Kecamatan Panti pada tanggal 1 Januari adalah sebesar $157,66$ dalam status kebencanaan yang diperoleh adalah banjir.

b) Integrasi Dengan Sistem Sensor

Pada saat hujan, Air hujan akan masuk melalui permukaan corong yang digunakan untuk menarik/ menangkap air hujan, kemudian mengalir untuk mengisi salahsatu bucket. Setiap jumlah air hujan yang masuk sebanyak 0.5 mm . atausejumlah 20 ml maka bucket akan berjungkit, dimana bucket yang satunya akan terangkat dan menerima air hujan yang akan masuk berikutnya secara bergantian.



Gambar 7.7. Tipping Bucket

Alat sensor yang ada di Universitas Muhammadiyah Jember di setting untuk mengirimkan sms sebanyak satu kali berupa jumlah hujan setiap detik ke 10. Pada saat pembelajaran berlangsung tidak ada air hujan, maka pada layar LCD Mikrokontroler arduino adalah 0.

Sensor yang digunakan pada alat ini adalah sensor magnet. Sensor ini akan berfungsi saat dipicu oleh besi yang berada di sekitar jungkat – jungkit/ tipping bucket dan tempat sensor.

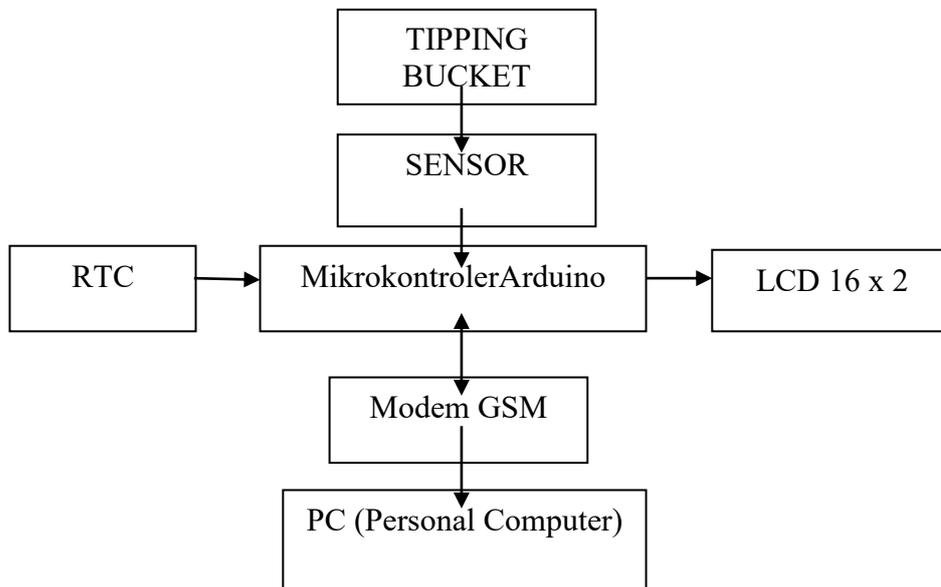


Gambar 7.8. Sensor Magnet

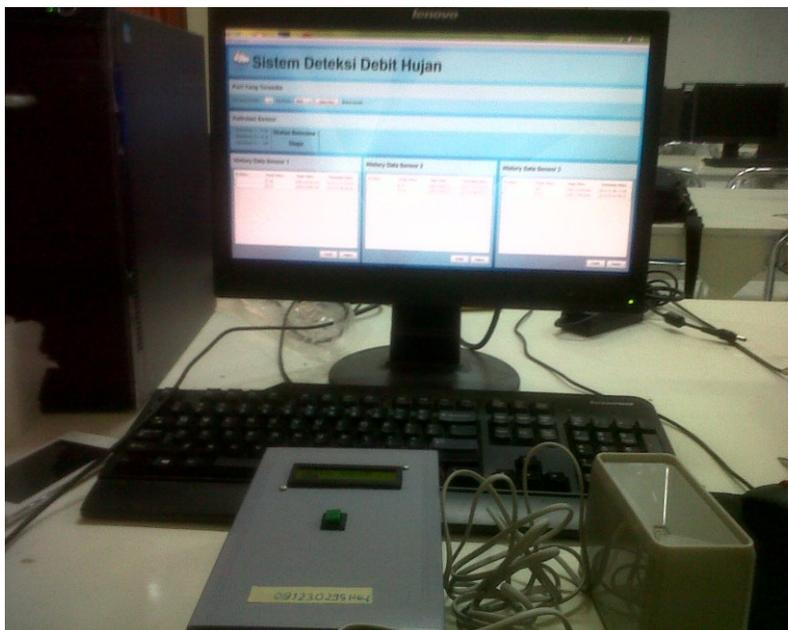


Gambar 7.9. Tampilan LCD Mikrokontroler pada saat tidak terjadi hujan

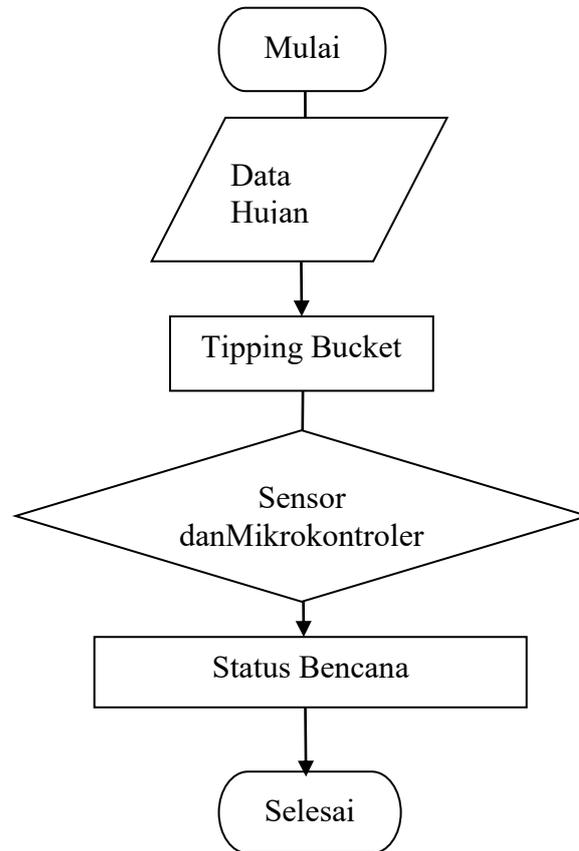
Mikrokontroler berfungsi untuk mengontrol atau menghitung inputan dari sensor hujan dengan menampilkan hasil dari sensor dan terdapat pula RTC yang terletak di dalam mikrokontroler yang konsepnya seperti jam digital yang otomatis mengikuti waktu pada saat itu. Dari hasil output dari mikrokontroler, maka data akan dikirim menggunakan modem kepada PC (Personal Komputer)



Gambar7.10..Skema susunan alat sensor



Gambar7.11. Sensor hujan



Gambar7.12. Diagram alur cara kerja alat sensor hujan

c) Sistem Informasi Bencana

Dari sistem ini akan disajikan data hasil pengukusemua stasiun hujan yakni di Sta. Karang Anom, Sta. Pono dan Sta. Klatakan. Dari hasil analisis sensor akan keluar atau dihasilkan status bencana yang terjadi pada saat itu. Sensor ini akan dipasang bersebelahan atau bersama dengan alat penakar hujan yang telah ada sebelumnya.

Bentuk tampilan sistem informasi bencana terdapat empat macam, yakni tampilan dengan kondisi kebencanaan aman, kondisi kebencanaan waspada, kebencanaan siaga dan kondisi kebencanaan banjir. Adapun bentuk tampilan dari sistem informasi bencana akan ditampilkan pada gambar berikut :

Sistem Deteksi Debit Hujan

Port Yang Tersedia

Port yang tersedia : Baud Rate : 4800 (Belum Koneksi)

Kalkulasi Sensor

Data Sensor 1 : 20
Data Sensor 2 : 10
Data Sensor 3 : 10

Status Bencana : Aman

History Data Sensor 1

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
15	20	6281230295144	2015-07-09 18:08...
12	100	6281230295144	2015-07-09 18:04...
8	27.82	6281230295144	2015-07-07 09:09...
4	22.91	6281230295144	2015-07-06 09:49...

History Data Sensor 2

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
18	10	6281230295221	2015-07-09 18:10...
14	30	6281230295221	2015-07-09 18:08...
13	50	6281230295221	2015-07-09 18:05...
7	8.18	6281230295221	2015-07-07 09:03...
5	42.55	6281230295221	2015-07-06 09:54...

History Data Sensor 3

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
17	10	6282132451640	2015-07-09 18:10...
16	50	6282132451640	2015-07-09 18:08...
11	50	6282132451640	2015-07-09 18:04...
10	100	6282132451640	2015-07-09 17:59...
9	42.55	6282132451640	2015-07-07 09:15...

Gambar 7.13. Tampilan sistem pada saat kondisi kebencanaan aman

Sistem Deteksi Debit Hujan

Port Yang Tersedia

Port yang tersedia : Baud Rate : 4800 (Belum Koneksi)

Kalkulasi Sensor

Data Sensor 1 : 30
Data Sensor 2 : 30
Data Sensor 3 : 50

Status Bencana : Waspada

History Data Sensor 1

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
15	20	6281230295144	2015-07-09 18:08...
12	100	6281230295144	2015-07-09 18:04...
8	27.82	6281230295144	2015-07-07 09:09...
4	22.91	6281230295144	2015-07-06 09:49...

History Data Sensor 2

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
14	30	6281230295221	2015-07-09 18:08...
13	50	6281230295221	2015-07-09 18:05...
7	8.18	6281230295221	2015-07-07 09:03...
5	42.55	6281230295221	2015-07-06 09:54...

History Data Sensor 3

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
16	50	6282132451640	2015-07-09 18:08...
11	50	6282132451640	2015-07-09 18:04...
10	100	6282132451640	2015-07-09 17:59...
9	42.55	6282132451640	2015-07-07 09:15...

Gambar 7.14. Tampilan sistem pada saat kondisi kebencanaan waspada

Sistem Deteksi Debit Hujan

Port Yang Tersedia

Port yang tersedia : Baud Rate : 4800 (Belum Konek)

Kalkulasi Sensor

Data Sensor 1 : 27.82
Data Sensor 2 : 8.18
Data Sensor 3 : 100

Status Bencana :
Siaga

History Data Sensor 1

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
6	27.82	6281230295144	2015-07-07 09:09:...
4	22.91	6281230295144	2015-07-06 09:46:...

History Data Sensor 2

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
7	8.18	6281230295221	2015-07-07 09:03:...
5	42.55	6281230295221	2015-07-06 09:54:...

History Data Sensor 3

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
10	100	6282112451640	2015-07-09 17:59:...
9	42.55	6282112451640	2015-07-07 09:15:...

Gambar 7.15. Tampilan sistem pada saat kondisi kebencanaan siaga

Sistem Deteksi Debit Hujan

Port Yang Tersedia

Port yang tersedia : Baud Rate : 4800 (Belum Konek)

Kalkulasi Sensor

Data Sensor 1 : 100
Data Sensor 2 : 50
Data Sensor 3 : 50

Status Bencana :
Banjir

History Data Sensor 1

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
12	100	6281230295144	2015-07-09 18:04:...
6	27.82	6281230295144	2015-07-07 09:09:...
4	22.91	6281230295144	2015-07-06 09:46:...

History Data Sensor 2

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
13	50	6281230295221	2015-07-09 18:04:...
7	8.18	6281230295221	2015-07-07 09:03:...
5	42.55	6281230295221	2015-07-06 09:54:...

History Data Sensor 3

ID Inbox	Pesan Inbox	Nope Inbox	Timestamp Inbox
11	50	6282112451640	2015-07-09 18:04:...
10	100	6282112451640	2015-07-09 17:59:...
9	42.55	6282112451640	2015-07-07 09:15:...

Gambar 7.16.. Tampilan sistem pada saat kondisi kebencanaan banjir

Bab 8

Kebijakan Nasional & Sistim Drainase Beberapa Negara

Deskripsi

Pada bab ini akan dipelajari tentang kebijakan nasional yang telah dilakukan pemerintah terkait bencana banjir, implementasi kebijakan nasional, langkah-langkah yang sudah dilaksanakan dan uraian tentang kota-kota di dunia yang telah sukses menangani masalah banjir perkotaan, penyebab terjadinya banjir perkotaan, tahapan-tahapan yang dilakukan untuk mengatasi banjir perkotaan, dan hasil yang sudah diperoleh dari perbaikan sistim drainase.

Relevansi

Banjir perkotaan merupakan dampak dari system yang menyangkut banyak aspek mulai dari perkembangan kota, peningkatan jumlah penduduk, perubahan perilaku masyarakat, kebijakan pemerintah sehingga harus dipahami dengan tepat agar mendapat solusi yang efektif dalam mengatasi banjir perkotaan.

Standar Kompetensi

Mahasiswa dapat memahami tentang kebijakan nasional dalam penanganan bencana banjir dan formulasikan teknik perbaikan drainase perkotaan yang telah dilakukan oleh kota-kota di dunia sehingga terbebas dari bencana banjir perkotaan.

Tujuan Instruksional :

Mahasiswa mampu :

1. Mengetahui kebijakan nasional pemerintah dalam menangani bencana
2. Mengetahui implementasi kebijakan nasional pemerintah dalam menangani bencana dan langkah-langkah yang sudah dilaksanakan
3. Mengenal sistim drainase perkotaan di beberapa kota di dunia
4. Mengenal pengalaman cara-cara mengatasi banjir perkotaan
5. Mengenal tahapan-tahapan perbaikan sistem drainase
6. Mengetahui hasil dari perbaikan kota
7. Merencanakan sebuah sistim drainase terntegrasi dengan tata ruang wilayah

8.1. Kebijakan Umum

Penjelasan mengenai kebijaksanaan dan program nasional penanganan bencana banjir ini telah disampaikan oleh Depkimpraswil kepada DPR-RI, Sidang Kabinet, maupun rapat-rapat koordinasi teknis dengan unsur-unsur terkait (BKTRN, Pemerintah Daerah se-Jabodetabek, REI, dsb) pada tahun 2002. Kebijakan nasional tersebut meliputi 5 (lima) bidang utama, yakni : (1) penataan ruang, (2) pengembangan sumber daya air, (3) pengembangan prasarana perkotaan, (4) pengembangan perumahan dan permukiman, serta yang terakhir (5) peningkatan pelayanan masyarakat. Dimensi keterpaduan sendiri, baik yang sifatnya lintas sektor maupun lintas wilayah, dikembangkan melalui instrumen penataan ruang, guna menjamin tercapainya harmonisasi dan keseimbangan fungsi-fungsi ruang antara kawasan lindung dan budidaya, kawasan perkotaan dengan kawasan perdesaan, maupun kawasan hulu dan hilir.

8.2. Pendekatan Penanggulangan Bencana

Penanggulangan banjir nasional dilakukan dengan pendekatan secara komprehensif melalui penataan ruang dalam satu kesatuan konsep Satuan Wilayah Sungai (SWS). Seperti telah diuraikan diatas dari keseluruhan 89 SWS di Indonesia, 59 SWS diantaranya mempunyai potensi banjir (kritis) terhadap perkotaan maupun lahan-lahan pertanian dan industri. Secara khusus kebijakan nasional penanganan banjir di bidang permukiman dan prasarana wilayah telah ditetapkan yaitu : (1) penataan ruang, (2) pengembangan sumber daya air, (3) pengembangan prasarana perkotaan, (4) pengembangan perumahan dan permukiman, dan (5) peningkatan pelayanan pada masyarakat.

1. Penataan Ruang

Berdasarkan UU No.24/1992 pengertian penataan ruang tidak hanya berdimensi *perencanaan* pemanfaatan ruang saja, namun lebih dari itu termasuk dimensi *pemanfaatan* ruang dan *pengendalian* pemanfaatan ruang. Mengingat karakteristik penataan ruang terkait dengan ekosistem, maka upaya penataan ruang harus didekati secara sistem tanpa dibatasi oleh batas-batas kewilayahan dan sektor. Untuk itu dalam rangka penanganan banjir, ada 4 (empat) prinsip pokok penataan ruang yang perlu dipertimbangkan yakni : (a) holistik dan terpadu, (b) keseimbangan kawasan hulu dan hilir, (c) keterpaduan penanganan secara lintas sektor dan lintas wilayah – dengan skala propinsi untuk keterpaduan lintas

Kabupaten/Kota dan skala pulau untuk keterpaduan lintas propinsi, serta (d) pelibatan peran serta masyarakat mulai tahap perencanaan, pemanfaatan dan pengendalian pemanfaatan ruang.

Berdasarkan prinsip-prinsip diatas maka kebijakan pokok penataan ruang yang perlu dilaksanakan dalam rangka penanganan banjir adalah melaksanakan upaya *revitalisasi dan operasionalisasi rencana tata ruang (RTR)* yang berorientasi kepada pemanfaatan dan pengendalian rencana tata ruang yang ada melalui kegiatan-kegiatan pokok seperti inventarisasi perubahan fungsi lahan penyebab banjir; pengkajian ulang rencana tata ruang yang ada; menyiapkan dukungan pemanfaatan rencana tata ruang; dan pengendalian pemanfaatan ruang.

Dengan demikian, kebijakan penataan ruang dikembangkan untuk mewujudkan keterpaduan ¹⁶⁹ pembangunan wilayah yang mampu mendorong peningkatan kualitas kehidupan masyarakat dan lingkungan hidup, melalui upaya pengaturan keseimbangan kawasan lindung (daerah aliran sungai, daerah resapan air, ruang terbuka hijau, hutan lindung dll) serta arahan sistem jaringan prasarana wilayah (sistem transportasi, pengendalian banjir, penyediaan air baku, sistem pembuangan limbah) dengan melibatkan peran pemerintah, masyarakat dan dunia usaha.

2. Pengembangan Sumber Daya Air

Pengendalian banjir dilakukan berdasarkan konsep pengelolaan sumber daya air secara utuh dalam kesatuan wilayah sungai dari hulu sampai dengan hilirnya melalui kerangka “**Satu Sungai, Satu Rencana, dan Satu Pengelolaan Terpadu**”. Kebijakan sumber daya air dengan pedoman pengendalian dan penanggulangan daya rusak air serta peningkatan kesiapan dan keswadayaan masyarakat menghadapi bencana banjir dan daya rusak lainnya guna mengamankan daerah produksi pangan dan permukiman serta memulihkan ekosistem dari kerusakan akibat daya rusak air.

3. Pengembangan Prasarana Perkotaan

Pengembangan prasarana perkotaan meliputi jaringan drainase, prasarana pengelolaan limbah, pengelolaan persampahan, penyediaan air bersih, jalan kota,

dan utilitas lainnya. Prasarana kota dikembangkan untuk mendukung fungsi kota sesuai dengan arahan sistem perkotaan nasional dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN). Prasarana kota perlu dikembangkan secara terpadu sehingga sinergis melayani kegiatan sosial ekonomi kota dan mendukung pelestarian lingkungan (mengurangi polusi, menghindari banjir dll) kota dan wilayah sekitarnya. Pembangunan prasarana kota harus diupayakan sinkron dengan pembangunan prasarana wilayah seperti jalan dan jaringan sungai (sistem makro/pengendalian banjir) serta perdesaan sekitar. Hal ini perlu agar dapat dihindari genangan/banjir di kawasan kota dan dapat diwujudkan keterkaitan kota dengan wilayah sekitarnya, dan antar kota-desa (*urban rural linkage*)

4. Pengembangan Perumahan dan Permukiman

Kebijakan operasional bidang perumahan dan permukiman, khususnya yang terkait dengan penanganan strategis bencana banjir di tingkat daerah, berpedoman pada Kebijakan dan Strategi Nasional Perumahan dan Permukiman (KSNPP), antara lain pengendalian pemanfaatan ruang sesuai Rencana Tata Ruang (RTR) Rencana Program Pembangunan Perumahan dan Permukiman Daerah (RP4D). Selanjutnya adalah pengembangan lembaga koordinasi lintas instansi sampai ke daerah ; pemberian bantuan teknis dalam rangka pemberdayaan masyarakat dan pencapaian kualitas fisik perumahan dan lingkungannya.

5. Peningkatan Pelayanan pada Masyarakat dalam rangka *Good Governance*

Kebijakan peningkatan pelayanan pada masyarakat dikembangkan untuk mewujudkan pemerintahan yang baik (*good governance*), melalui pelaksanaan prinsip-prinsip akuntabilitas dan transparansi. Dalam era otonomi, kebijakan ini pun ditempuh melalui peningkatan kemampuan daerah dalam memberikan pelayanan yang sifatnya antisipatif-preventif maupun kuratif terhadap bencana yang timbul. Kebijakan ini diarahkan untuk menghindari dampak banjir yang semakin besar dan luas, untuk menjamin berlangsungnya roda perekonomian.

8.3. Lingkup Program dan Kegiatan Terpadu

Mengacu kepada 5 (lima) kebijakan nasional penanganan banjir di atas, maka lingkup program dan kegiatan terpadu untuk masing-masing kebijakan meliputi:

1. **Program dan Kegiatan Penataan Ruang :**
 Revitalisasi penataan ruang (perencanaan, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang) yang meliputi inventarisasi penyimpangan pemanfaatan ruang ; review RTRW Pulau, Propinsi, Kabupaten/Kota dan RDTR Kawasan ; penyiapan pedoman dan peningkatan sumber daya manusia (kelembagaan) dan sosialisasi produk-produk penataan ruang.
2. **Program dan Kegiatan Pengembangan Sumber Daya Air :**
 Terdapat 2 (dua) program utama terkait dengan penanganan banjir, yakni :
 (1) pengembangan, pengelolaan dan konservasi sungai, danau, dan sumber-sumber air lainnya melalui rehabilitasi dan konservasi waduk, situ dan DAS hulu, pengendalian sedimen, dam serta pengendalian banjir dan (2) pengendalian banjir dan pengamanan pantai melalui pembangunan prasarana pengendali banjir, tanggul, peningkatan kapasitas sungai, saluran banjir, normalisasi alur sungai, rehabilitasi dan konservasi situ. Selain pendekatan yang sifatnya struktural, dikembangkan pula pendekatan non-struktural meliputi : *flood profiling*, pengaturan *building code*, tata guna lahan, pengelolaan daerah hulu (*upper watershed management*).
3. **Program dan Kegiatan Pengembangan Prasarana Perkotaan :** meliputi : rehabilitasi sistem jaringan drainase berupa normalisasi saluran, pembangunan polder/situ, peningkatan pelayanan persampahan, air limbah dan air bersih, serta pemeliharaan dan rehabilitasi jaringan jalan kota termasuk sistem drainasenya.
4. **Program dan Kegiatan Perumahan dan Permukiman :**
 meliputi : Penampungan pengungsi, penyiapan stimulus pembangunan perumahan, dan penyiapan rumah susun sewa (RUSUNAWA), relokasi/penataan kembali permukiman di sepanjang bantaran sungai, serta pengendalian kawasan permukiman skala besar di daerah rawan banjir.

5. **Program dan Kegiatan Peningkatan Pelayanan Masyarakat**

Penyiapan prosedur operasi standar untuk penanganan bencana secara umum – termasuk banjir – yang dimulai dengan sistem peringatan dini (*early warning system*), sistem tanggap darurat, hingga pada penyiapan kantong-kantong penampungan pengungsi (dapur umum, pelayanan kesehatan masyarakat, dsb).

8.4. Implementasi Kebijakan Nasional

Penanganan banjir di kawasan Jabodetabek dan Bopunjur tidak dapat dilepaskan dari keberadaan 3 (tiga) sungai utama, yakni : Citarum, Ciliwung dan Cisadane. Ketiga sungai tersebut saat ini berada dalam kondisi kritis, sama halnya dengan sebagian besar sungai lainnya di Pulau Jawa. Untuk itu, kebijakan nasional penanganan banjir untuk kawasan Jabodetabek dan Bopunjur yang memiliki sifat strategis nasional perlu dilaksanakan secara komprehensif pula mencakup 5 (lima) aspek, yakni :

1. Aspek Penataan Ruang dengan tujuan untuk konservasi kawasan lindung serta mengendalikan pembangunan sesuai pola peruntukan ruangnya yang menjamin fungsi kawasan-kawasan resapan air dan penahan air lainnya.
2. Aspek Prasarana Sumber Daya Air dalam satuan wilayah sungai yang merupakan kesatuan perencanaan, pemanfaatan, dan pengelolaan untuk menjamin adanya keseimbangan antara *supply* dan *demand* bagi berbagai kebutuhan masyarakat.
3. Aspek Pengembangan Prasarana Perkotaan, yakni pengembangan sistem jaringan drainase, air limbah dan pengelolaan persampahan terpadu, termasuk utilitas lainnya untuk menghindari terjadinya genangan banjir serta meningkatkan kondisi lingkungan permukiman dan kawasan budidaya lainnya.
4. Aspek Penataan Kawasan Perumahan Dan Permukiman yang sesuai dengan rencana tata ruang kota, seperti pengendalian permukiman skala besar dan penataan kembali permukiman di sepanjang bantaran sungai.
5. Aspek Peningkatan Pelayanan pada Masyarakat dengan tujuan untuk menghindari terjadinya dampak-dampak yang sangat merugikan, terutama

hilangnya korban jiwa, kerugian material, kerusakan prasarana dan sarana umum, wabah penyakit, serta lumpuhnya roda perekonomian masyarakat.

Implementasi dari kebijakan nasional dalam penanganan banjir tersebut di kawasan Jabodetabek dan Bopunjur meliputi :

1. Pendekatan keterpaduan penanganan banjir yang sifatnya lintas wilayah dan lintas sektor melalui penataan ruang. Untuk itu diperlukan revitalisasi dan operasionalisasi penataan ruang pada kawasan Jabodetabek dan Bopunjur, yang mencakup : (a) revitalisasi perencanaan, pemanfaatan, dan pengendalian pemanfaatan ruang, (b) penyiapan norma, standar, prosedur dan manual (NSPM), (c) pemantapan sistem informasi dan pemetaan untuk monitoring dan evaluasi pemanfaatan ruang, serta (d) pelaksanaan *public campaign* dan *public services*.
Tata Ruang kawasan Bopunjur telah ditetapkan dengan Keppres No. 114/1999 (sampai dengan tahun 2014) yang perlu ditindaklanjuti dengan evaluasi dan penegakan hukum dalam kegiatan pemanfaatannya. Sedangkan penataan ruang untuk kawasan Jabodetabek telah dipersiapkan melalui kerjasama antara 3 (tiga) propinsi yang perlu pula ditetapkan dengan Keppres.
2. Pengembangan prasarana sumber daya air khususnya pada SWS Ciliwung dan Cisadane, sebagaimana telah dipersiapkan dalam Master Plan 1973 yang terakhir diupdate pada tahun 1997. Dalam Master Plan tersebut telah dicakup pengamanan banjir seluas 27.000 ha di Jakarta dengan pembangunan 2 (dua) buah waduk di hulu Sungai Ciliwung dan Cisadane, normalisasi Banjir Kanal Barat, pembangunan Banjir Kanal Timur serta kawasan di sekitar Jakarta (propinsi Banten dan Jawa Barat seluas 23.000 ha). Disamping itu akan dinormalisasi pula seluruh sungai yang ada, serta peningkatan fungsi polder dan pompa di Jakarta bagian Utara.
3. Pengembangan prasarana drainase, air limbah, jalan kota, dan pengelolaan persampahan dikembangkan berdasarkan pada Master Plan yang telah disusun sebelumnya pada tahun 2000 dengan mempertimbangkan perkembangan kota hingga 10-15 tahun mendatang.

4. Penataan kembali perumahan dan permukiman skala besar yang pada waktu lalu telah diberikan ijinnya untuk sekitar 98.000 ha, serta mencari solusi untuk relokasi perumahan yang berada di bantaran sungai.
5. Penyiapan langkah-langkah antisipatif-preventif terhadap kemungkinan terjadinya bencana banjir yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah bersama-sama dengan masyarakat, seperti penyiapan kantong-kantong penampungan pengungsi (dapur umum, pelayanan kesehatan/obat-obatan, penyediaan air bersih, dsb) dan sistem tanggap darurat (*early warning system*).

8.5. Langkah-langkah yang sudah dilakukan

Dalam rangka pelaksanaan 5 (lima) kebijakan nasional mengenai penanganan banjir, telah dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Pada tanggal 5 Pebruari 2002, telah ditetapkan Keppres RI No.111/2001 tentang Perubahan Keppres No.3/2001 tentang Badan Koordinasi Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi (Bakornas PBP).
- b. Rapat Kerja dengan Komisi IV DPR-RI mengenai Bencana Banjir dan Tanah Longsor di Indonesia, 11 Pebruari 2002.
- c. Pada tanggal 11 Pebruari 2002, telah diterbitkan Surat Menteri Kimpraswil No. Um.01.01-Mn/43 kepada 3 (tiga) Gubernur Propinsi DKI Jakarta, Jawa Barat dan Banten perihal Pemberhentian sementara penerbitan izin lokasi dan evaluasi dampak pembangunan perumahan dan permukiman skala besar.
- d. Rapat Koordinasi Bidang Perekonomian mengenai Tata Ruang, tanggal 13 Pebruari 2002.
- e. Rapat Koordinasi Departemen Kimpraswil dengan Real Estate Indonesia (REI) dan Pemerintah Propinsi Kabupaten dan Kota di wilayah ¹⁵² Jakarta – Bogor – Depok – Tangerang – Bekasi (Jabodetabek) dan Bogor – Puncak – Cianjur (Bopunjur) yang diselenggarakan pada tanggal 14 Pebruari 2002.
- f. Sidang Kabinet Terbatas mengenai Program Penanganan Banjir Bidang Tata Ruang di Jabodetabek dan Bopunjur, tanggal 21 Pebruari 2002.
- g. Rapat Konsultasi Menteri Kimpraswil beserta instansi terkait dengan Komisi IV DPR-RI, tanggal 25 Pebruari 2002

- h. Workshop Penanganan Program Banjir di Jabodetabek dan Bopunjur bersama Pemerintah Propinsi dan Kabupaten/Kota pada tanggal 26 – 27 Pebruari 2002, yang dilaksanakan di Cipayung, Jawa Barat yang menghasilkan Nota Kesepakatan program dan *action-plan*.
- i. Rapat Koordinasi Bidang Perekonomian mengenai Bencana Banjir secara Nasional, tanggal 1 Maret 2002.
- j. Koordinasi pembahasan program dengan BKTRN
- k. Pada tanggal 12 Maret 2002, telah dilakukan penyampaian RaKeppres Jabodetabek dan Rancangan Inpres Penanganan Khusus Pengendalian Pembangunan melalui Penataan Ruang Wilayah di Pulau Jawa kepada Setkab untuk diproses penetapannya.
- l. Pada tanggal 13 – 14 Maret 2002, telah dilakukan koordinasi dengan Pemerintah Daerah terkait untuk mereview Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten/Kota secara *series*, yang dimulai dari penyiapan review RTRW Kabupaten Cianjur.
- m. Telah dibentuk Tim Pengendalian Pembangunan Perumahan Skala Besar di Jabodetabek yang ditetapkan berdasarkan SK Menteri Kimpraswil pada awal bulan Maret tahun 2002.
- n. Pada tanggal 19 – 20 Maret 2002 dilakukan pemaparan pada Lokakarya Banjir Nasional di Bappenas

Dalam rangka penanganan banjir nasional secara terpadu, maka keterpaduan dari kelima kebijakan nasional yang saling bersinergi, merupakan hal yang mutlak untuk dilaksanakan. Kebijakan tersebut pun perlu memperoleh dukungan dan peran serta aktif masyarakat sebagai subyek pembangunan, termasuk peran dan kontribusi para ilmuwan dan cendekiawan dari berbagai disiplin ilmu.

Beberapa aspek yang perlu mendapatkan perhatian bersama karena sifatnya mendesak diantaranya adalah : (1) revitalisasi dan operasionalisasi penataan ruang ; (2) keterpaduan penanganan banjir lintas wilayah dan lintas sektor ; (3) penanganan kesatuan wilayah sungai dari hulu sampai hilir dalam kerangka “satu sungai, satu rencana, dan satu pengelolaan terpadu” ; (4) pengembangan prasarana banjir perkotaan untuk menjamin perwujudan fungsi kota ; (5) penataan permukiman sepanjang bantaran sungai dan pengendalian permukiman skala besar

berdasarkan arahan rencana tata ruang kawasan dan wilayah, serta (6) peningkatan kemampuan daerah dalam antipasi banjir, serta peningkatan pelayanan masyarakat dalam rangka penyelenggaraan prinsip-prinsip *good governance*, seperti akuntabilitas dan transparansi.

8.6. Kota-kota Dunia yang Sukses Menangani Bencana

Peristiwa terendahnya sebagian besar wilayah Ibu Kota Jakarta pekan lalu membuat sejumlah kalangan menekankan pentingnya kita belajar dari pengalaman negara lain dalam mengatasi banjir. Sejumlah kota di dunia sudah banyak yang mengalami permasalahan banjir seperti Jakarta saat ini. Kota-kota yang berhasil mengatasi banjir tentu patut dicontoh dan dipelajari. Bagaimana kisah dan cara kota-kota di dunia mengatasi banjir perkotaan berikut ini:

1. Curitiba (Brasil)

Brasil adalah negara dengan populasi perkotaan terbesar no.4 di dunia setelah China, India, dan AS. Penduduk Brasil tumbuh 1,8% setiap tahun antara tahun 2005 dan 2010. Namun di kota Curitiba, ibu kota negara bagian Parana, Brasil, tantangan ini berhasil diatasi dalam beberapa dekade terakhir dengan menggunakan sistem yang inovatif sehingga Curitiba menjadi inspirasi kota-kota lain di negara itu bahkan di dunia.



Gambar 8.1. Ilustrasi Kota Curitiba – Brazil

Curitiba memakai pola pembangunan 'radial segaris-bercabang' (radial linear-branching pattern) yang melalui kombinasi pengaturan zona lahan dan infrastruktur transportasi

public berupaya mengalihkan lalu lintas dari pusat kota dan membangun perumahan, pusat layanan dan industri dalam lokasi sumbu radial. Curitiba berhasil mengatasi masalah banjir dengan mengubah area yang rawan menjadi taman dan menciptakan danau buatan untuk menampung banjir.

Biaya yang dibutuhkan untuk strategi ini -termasuk untuk merelokasi wilayah pemukiman kumuh- diperkirakan lima kali lebih rendah dibanding ketika kota harus membangun saluran kanal banjir. Efek positif lain yang patut diperhitungkan; nilai properti dan penerimaan pajak di wilayah ini juga terus naik. Curitiba adalah contoh sebuah kota yang dengan perencanaannya yang cerdas berhasil menghindari kerugian sosial, ekonomi dan lingkungan akibat pertumbuhan ekonomi, sekaligus berhasil meningkatkan efisiensi, produktivitas dan kualitas hidup penduduknya.

2. Tokyo (Jepang)

Bagaimana cara Tokyo atasi banjir? Kehidupan Tokyo ditopang dari bawah tanah. Saking banyaknya terowongan bawah tanah yang terintegrasi membuat kehidupan bawah tanah Tokyo sangat kompleks. Terdapat drainase kota, pengendali banjir, subway, underground highway, pipa air minum dan gas, dan lain-lain. Semuanya saling terintegrasi dengan perencanaan yang luar biasa matang. Terowongan Deep Tunnel Tokyo utamanya didesain dan dibuat untuk mengatasi banjir, terutama pada musim hujan dan musim badai topan.



Gambar 8.2. Ilustrasi Kota Tokyo – Jepang

(Jepang adalah Negara subtropik kepulauan dengan bahaya badai topan). Musim hujan di Jepang jatuh pada bulan Juni, dalam masa pancaroba sebelum musim panas, terkadang hujan turun 4-5 hari tanpa henti, mencurahkan jutaan gallon air yang harus sanggup ditampung oleh Deep Tunnel tersebut. Apalagi kalau dilanda badai topan, jumlah air dalam 1 hari sama dengan curah hujan 2 bulan.

Proses desain dan pembuatan Tokyo Deep Tunnel membutuhkan waktu 19 tahun dan menyedot banyak kas uang APBD Tokyo. Selama 19 Tahun hal itu dilaksanakan dengan penuh komitmen. Awal pengerjaan dimulai dengan desain yang melibatkan banyak pakar, dari tata kota, geologis, ekonomi, sosial, dari berbagai elemen. Mulai dari struktur tanah, harus tahan gempa, kekuatan menahan derasnya jutaan galon air, efek pendanaan terhadap perekonomian, efek sosial yang terjadi, dan seterusnya. Perencanaan yang matang dengan eksekusi yang penuh tanggung jawab membuat proyek 19 tahun ini sukses.

3. Kuala Lumpur (Malaysia)

Pembangunan yang pesat di Kuala Lumpur dan menurunnya kapasitas sungai yaitu Sungai Klang untuk menyerap air, kota besar seperti Kuala Lumpur, Malaysia, tak terlepas juga dari masalah banjir. Untuk mengatasi banjir tersebut, maka Kuala Lumpur membuat proyek pengendalian banjir yang disebut Stormwater Management and Road Tunnel (SMART).



Gambar 8.3. Ilustrasi Kota Kuala Lumpur – Malaysia

Proyek ini dibiayai oleh Kerajaan Malaysia dan pengerjaan sepenuhnya dilaksanakan oleh pihak swasta. Proyek ini melibatkan berbagai instansi di Malaysia

seperti Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, serta Lembaga Lebuhraya Malaysia. Tujuan projek ini bukan hanya untuk pengendalian banjir di Kuala Lumpur, tapi juga mengatasi kemacetan di pintu masuk Kuala Lumpur dari arah selatan Sungai Besi. Lingkup projek SMART ini mencakup pembuatan terowongan (bypass tunnel) sepanjang kira-kira 9,7 km, pembuatan kolam-kolam penampung air, pembuatan twin box culvert outlet structure dan lain sebagainya. Dari kajian yang dilakukan, kolam-kolam penampung dan terowongan ini akan mampu menampung air banjir sebanyak 3 juta meter kubik.

4. Rotterdam (Belanda)

Selama ribuan tahun tanah Belanda yang sebagian besar lebih rendah dari permukaan laut- membuat bangsa Belanda selalu mencari cara untuk mengatasi banjir dari laut utara yang ganas yang sewaktu-waktu dapat memporakporandakan negeri itu. Pembangunan benteng-benteng pertahanan dari banjir, adalah dengan membuat bendungan-bendungan dan tanggul-tanggul dengan sistem buka tutup yang kompleks. Satu hal memicu penemuan hal lainnya, setelah ditemukannya pompa sistem hidrolik dengan menggunakan kincir angin untuk mengeringkan air laut.



Gambar 8.4. Ilustrasi Kota Rotterdam – Belanda

Sebagai kota dengan memiliki pelabuhan terbesar di Belanda, Kota Rotterdam mampu menangani banjir yang selama ini menggenangi kawasan industri dan pusat kota, telah mengubahnya menjadi kota yang indah. Penerapan teknologi guna mengatasi problem

banjir di Rotterdam, menggunakan sistim buka tutup pintu bendungan yang bergerak otomatis di saat air laut pasang maupun surut.

5. Bangkok (Thailand)

Selain berhasil menekan kemacetan dengan pengembangan kereta bawah tanah, Bangkok, Ibu kota Thailand juga telah lama berhasil mengendalikan banjir. Bangkok telah berpengalaman puluhan tahun dalam menghadapi banjir yang menimpa daerahnya. Warganya tidak lagi perlu takut akan adanya banjir parah, karena ibu kota Thailand ini mempunyai sistem yang disebut pipi monyet.

Pipi monyet adalah sistem penampungan yang terdiri dari 21 wadah penampungan air hujan. Penampungan ini dapat menampung air hujan yang berlebih hingga 30 juta kubik. Lalu pada musim panas, air ini dapat digunakan untuk keperluan konsumsi warga Bangkok, termasuk di antaranya air minum dan air keran. Nama ini terinspirasi dari monyet yang biasanya makan berlebih. Kelebihan makanan ini disimpan di pipinya, sehingga pipinya menggebu. Ketika nanti dia merasa lapar, dia akan memakan makanan di pipinya tersebut.



Gambar 8.5. Ilustrasi Kota Bangkok – Thailand

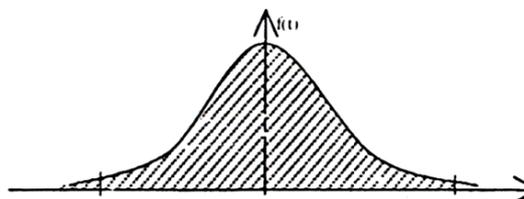
Sebenarnya Bangkok yang terletak satu meter di bawah permukaan laut rawan terkena banjir. Ditambah lagi jika terjadi hujan lebat, gelombang tinggi dari Sungai Chao Praya akan meluap hingga ke pusat kota. Bangkok juga memiliki tanggul sepanjang 72 kilometer dan saluran air sepanjang 75 kilometer untuk mengalirkan air yang meluap dari sungai Chao Phraya. Sistem pengendalian banjir ini mulai dikembangkan oleh Bangkok

setelah kota ini didera banjir parah 27 tahun lalu. Kala itu Bangkok tenggelam selama hampir tiga bulan.

1. Anonim, *Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), Bogor*, 2004
2. Anonim, *Studi Penelitian dan Penyiapan Tata Ruang Wilayah GKS Plus, Laporan Pendahuluan*, 2007
3. Anonim, 2007, *Desain Embun dan Kolam Penampung Air. DPU.*
4. Bisri M., 2003, *Aliran Airtanah*, UPT Unibraw : Malang
5. Chow, Ven Te. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Erlangga, Jakarta
- 57 6. Jhon M. Reynolds, 2003, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Jhon Wiley & Sons.
7. Lily motarcih. 2009. *Hidrologi Teknik Terapan*. CV. Ansrori, Malang.
- 70 8. Loebis, J. 1992. *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Departemen Pekerjaan Umum. Chandy Buana Kharisma, Jakarta.
- 149 9. Sri Harto Br. 1993. *Analisa Hidrologi*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
10. Sosrodarsono, Suyono. 2004. *Teknik Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Pradnya Paramitha, Jakarta
- 122 11. Soemarto C D. 1995. *Hidrologi Teknik Edisi Ke-2*. Erlangga : Jakarta.
12. Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Andi Offset, Yogyakarta
13. Sudjarwadi. 1987. *Teknik Sumber Daya Air*. UGM-Press, Yogyakarta.
- 57 14. Telford W.M, 2005, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press.
- 13 15. Wanielista, M.P. 1990. *Hydrology and Water Quality Control John Wiley & Sons*. Florida-USA.

Lampiran 1

Tabel Luas daerah di bawah kurva normal.



t	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0022	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0036	0.0034	0.0033	0.0032	0.0030	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0040	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0546	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2006	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3831	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 2

Tabel Luas daerah di bawah kurva normal.

<i>t</i>	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9717	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9896	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9971	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

<i>z</i>	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 3

Tabel Luas daerah di bawah kurva normal.

1.0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1.1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1.2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1.3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1.4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4278	0,4292	0,4306	0,4319
1.5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1.6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1.7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1.8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1.9	0,4713	0,4717	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2.0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2.1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2.2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2.3	0,4893	0,4896	0,4696	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2.4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2.5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2.6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2.7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2.8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2.9	0,4971	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3.0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3.1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3.2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3.3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3.4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 4

Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss.

No.	Periode ulang T (tahun)	Peluang	K _T
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,950	-1,640
5	1,110	0,900	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,750	-0,670
8	1,430	0,700	-0,520
9	1,670	0,600	-0,250
10	2,000	0,500	0,000
11	2,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840
15	10,000	0,100	1,280
16	20,000	0,050	1,640
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1000,000	0,001	3,090

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 5

Tabel Nilai ⁶⁶K untuk distribusi Log-Person III

Koef, G	interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), tahun (periode ulang)							
	1,0101	1,250	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (<i>Percent chance of being exceeded</i>)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,000	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,800	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,600	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,400	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,200	-0,905	0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,000	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,800	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,600	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,400	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,200	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,000	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,800	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,600	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,400	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,231	2,615
0,200	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,000	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,200	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,400	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,600	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,800	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,000	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,280	1,366	1,492	1,588
-1,200	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,400	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,600	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,800	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,000	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,200	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,400	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,600	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,800	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,000	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 6

Tabel ²⁴ Reduced Mean, Yn.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5110	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5532	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5554	0,5453	0,5458	0,5463	0,5463	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5604	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 7

3
Tabel Reduced Standard Deviation, Sn

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0846	1,0945	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1628	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,8810	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2056	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,1087	1,2209	1,2093	1,2096

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 8

Tabel Reduced Variate, ²² Y_{Tr} sebagai fungsi periode ulang

periode ulang, T_r (tahun)	Reduced Variate, Y_{Tr}	periode ulang, Tr (tahun)	Reduced Variate, Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,5100	250	0,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber : Suripin 2004

Lampiran 9

Tabel Uji Smirnov Kolmogorof : Nilai Kritis (Δ_{cr}) Smirnov-Kolmogorof

Ukuran Sampel (n)	Level of Significance α (persen)				
	20	15	10	5	1
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,829
3	0,494	0,525	0,564	0,624	0,734
5	0,446	0,474	0,510	0,563	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,409	0,486
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,391
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,380
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,370
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352
Rumus	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$
Asimotik	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Sumber : Lily motarcih, 2009 : 73

Lampiran 10

Tabel Faktor Sifat Distribusi Log Person Tipe III untuk CS Positif

Skew	1,0191	1,953	1,1111	1,2500	2	5	10	25	50	100	200
	99	95	90	80	Percent Change			4	2	1	0,5
					50	20	10				
3.0	-0,667	-0,665	-0,660	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,061	4,970
2.9	-0,690	-0,688	-0,681	-0,651	-0,390	0,440	1,196	2,277	3,134	4,013	4,909
2.8	-0,714	-0,711	-0,702	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973	4,847
2.7	-0,740	-0,736	-0,724	-0,681	-0,376	0,479	1,224	2,272	3,097	3,932	4,783
2.6	-0,769	-0,762	-0,747	-0,695	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2.5	-0,799	-0,790	-0,771	-0,711	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652
2.4	-0,832	-0,819	-0,795	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,029	3,800	4,584
2.3	-0,867	-0,850	-0,819	-0,739	-0,341	0,555	1,274	2,248	2,997	3,753	4,515
2.2	-0,905	-0,882	-0,844	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,454
2.1	-0,946	-0,914	-0,869	-0,765	-0,319	0,592	1,294	2,230	2,942	3,656	4,372
2.0	-0,990	-0,949	-0,896	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298
1.9	-1,037	-0,984	-0,920	-0,788	-0,294	0,627	1,310	2,207	2,881	3,553	4,223
1.8	-1,087	-1,020	-0,945	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147
1.7	-1,140	-1,056	-0,970	-0,808	-0,268	0,660	1,324	2,179	2,815	3,444	4,069
1.6	-1,197	-1,093	-0,994	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990
1.5	-1,256	-1,131	-1,018	-0,825	-0,240	0,690	1,333	2,146	2,745	3,330	3,910
1.4	-1,318	-1,163	-1,041	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1.3	-1,388	-1,206	-1,064	-0,838	-0,210	0,719	1,339	2,108	2,666	3,211	3,745
1.2	-1,449	-1,243	-1,086	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661
1.1	-1,518	-1,280	-1,107	-0,848	-0,180	0,745	1,341	2,066	2,585	3,087	3,575
1.0	-1,588	-1,317	-1,128	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0.9	-1,660	-1,353	-1,147	-0,854	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,967	3,401
0.8	-1,733	-1,388	-1,166	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891	3,312
0.7	-1,806	-1,423	-1,183	-0,857	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223
0.6	-1,880	-1,458	-1,200	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,123
0.5	-1,965	-1,491	-1,216	-0,856	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041
0.4	-2,029	-1,524	-1,231	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949
0.3	-2,104	-1,555	-1,245	-0,853	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0.2	-2,175	-1,586	-1,258	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0.1	-2,225	-1,616	-1,270	-0,846	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670
0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,064	2,064	2,576

Sumber : Lily motarjih, 2009 : 67

Lampiran 11

Tabel Faktor Sifat Distribusi Log Person Tipe III untuk CS Negatif

Skew Coef. (Cs)	1,0101	1,0526	1,1111	1,2500	2	5	10	25	50	100	200
	99	95	90	80	Percent Change			4	2	1	0,5
					50	20	10				
0	-2,336	-1,645	-1,282	-0,824	0,000	0,842	1,282	1,750	2,054	2,326	2,576
-0.1	-2,400	-1,673	-1,292	-0,836	0,017	0,846	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482
-0.2	-2,472	-1,700	-1,301	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388
-0.3	-2,544	-1,762	-1,309	-0,824	0,050	0,853	1,245	0,163	1,890	2,104	2,294
-0.4	-2,615	-1,750	-1,317	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201
-0.5	-2,686	-1,774	-1,323	-0,808	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108
-0.6	-2,755	-1,797	-1,328	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016
-0.7	-2,824	-1,819	-1,333	-0,790	0,116	0,857	1,183	1,488	1,633	1,800	1,936
-0.8	-2,891	-1,839	-1,336	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,484	1,608	1,733	1,837
-0.9	-2,957	-1,858	-1,339	-0,769	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749
-1.0	-3,022	-1,877	-1,340	-0,758	0,164	0,852	1,108	1,366	1,492	1,588	1,664
-1.1	-3,087	-1,894	-1,341	-0,745	0,180	0,848	1,107	1,324	1,435	1,518	1,581
-1.2	-3,149	-1,910	-1,340	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501
-1.3	-3,211	-1,925	-1,339	-0,719	0,210	0,838	1,064	1,240	1,324	1,383	1,424
-1.4	-3,271	-1,938	-1,337	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,196	1,270	1,316	1,351
-1.5	-3,330	-1,961	-1,333	-0,690	0,240	0,825	1,018	1,157	1,217	1,256	1,282
-1.6	-3,388	-1,962	-1,329	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,168	1,197	1,216
-1.7	-3,444	-1,972	-1,324	-0,660	0,268	0,808	0,970	1,075	1,116	1,140	1,155
-1.8	-3,499	-1,981	-1,318	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097
-1.9	-3,553	-1,989	-1,310	-0,627	0,294	0,788	0,920	0,996	1,023	1,037	1,044
-2.0	-3,605	-1,996	-1,302	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,969	0,980	0,990	0,995
-2.1	-3,656	-2,001	-1,294	-0,592	0,319	0,765	0,869	0,923	0,939	0,346	0,949
-2.2	-3,705	-2,006	-1,284	-0,574	0,330	0,732	0,849	0,888	0,900	0,905	0,907
-2.3	-3,753	-2,009	-1,274	-0,555	0,341	0,739	0,819	0,855	0,864	0,867	0,869
-2.4	-3,800	-2,011	-1,262	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832	0,833
-2.5	-3,845	-2,012	-1,250	-0,518	0,360	0,711	0,771	0,793	0,796	0,799	0,800
-2.6	-3,889	-2,013	-1,238	-0,499	0,368	0,696	0,747	0,764	0,767	0,769	0,769
-2.7	-3,932	-2,011	-1,224	-0,479	0,376	0,681	0,724	0,738	0,740	0,740	0,741
-2.8	-3,973	-2,010	-1,210	-0,460	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,734	0,714
-2.9	-4,013	-2,007	-1,195	-0,440	0,330	0,651	0,681	0,683	0,689	0,690	0,690
-3.0	-4,051	-2,003	-1,180	-0,420	0,390	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,657

Sumber : Lily motarcih, 2009 : 67

Lampiran 12

Tabel Chi Square : Nilai Kritis untu Distribusi Chi Square (X^2)

d ^k	α derajat kepercayaan							
	t _{0,995}	t _{0,99}	t _{0,975}	t _{0,95}	t _{0,05}	t _{0,025}	t _{0,01}	t _{0,005}
1	0.039	0.016	0.098	0.393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.1	0.201	0.506	0.103	5.991	0.738	9.21	10.597
3	0.717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.07	12.832	15.086	16.75
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.09	21.925
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.94	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.92	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.3
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.66	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.39	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.884	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.26	9.591	10.851	31.41	34.17	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.26	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.982	45.558
25	10.52	11.524	13.12	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.29
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

Sumber : Lily motarcih, 2009 : 77

GLOSARIUM

aliran spiral, aliran pusaran berbentuk spiral karena lengkung pada konstruksi

aliran subkritis, aliran yang kecepatannya lebih kecil dari kecepatan kritis, atau $Fr < 1$

aliran superkritis, aliran dengan kecepatan lebih besar dari kecepatan kritis, atau bilangan Froude (Fr) > 1

aliran tenggelam, aliran melalui suatu ambang, di mana muka air di bagian hilir dipengaruhi oleh muka air di bagian hulu

aliran turbulen, aliran tidak tetap di mana kecepatan aliran pada suatu titik tidak tetap

angka rembesan, perbandingan antara panjang jalur rembesan total dengan beda tinggi energi (lihat angka rembesan Lane) buatan manusia

AWLR, Automatic Water Level Recorder, alat duga muka air otomatis

banjir rencana, banjir maksimum dengan periode ulang tertentu (misal : 5, 10, 50, 100 tahun), yang diperhitungkan untuk perencanaan suatu konstruksi

bilangan Froude, bilangan tak berdimensi yang menyatakan hubungan antara kecepatan gravitasi dan tinggi aliran. dengan rumus : $F < 1$: subkritis, $F = 1$: kritis, $F = v/\sqrt{gh}$, di mana, $F > 1$: superkritis

daerah aliran sungai (DAS), daerah yang dibatasi bentuk topografi, di mana seluruh curah hujan di sebelah dalamnya mengalir ke satu sungai

debit puncak, debit yang terbesar pada suatu periode tertentu

debit rencana, debit untuk perencanaan bangunan atau saluran

debit rencana, debit untuk perencanaan suatu bangunan air

jaringan pembuang, seluruh bangunan dan saluran pembuang

jaringan saluran sistim saluran, hubungan antara satu saluran dengan saluran lainnya

pedoman teknis, adalah acuan yang bersifat umum yang harus dijabarkan lebih lanjut dan dapat di sesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan daerah setempat.

pengolahan lahan, pelumpuran sawah, tindakan menghaluskan struktur tanah untuk mereduksi porositas dan kelulusan dengan cara, misalnya pembajakan sawah

perencanaan hidrolis, perhitungan hidrolis untuk menetapkan dimensi bangunan

periode ulang, suatu periode di mana diharapkan terjadi hujan atau debit maksimum

perkolasi, gerakan air dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah

peta topografi peta yang menggambarkan kondisi topografi, letak dan ketinggian medan

vegetasi, tumbuh-tumbuhan/tanaman penutup

8 waktu konsentrasi, adalah waktu yang diperlukan oleh satu titik hujan dari tempat terjauh dalam suatu daerah aliran sungai mengalir ke tempat yang ditetapkan, misal lokasi bendung

● **17% Overall Similarity**

Top sources found in the following databases:

- 8% Internet database
- Crossref database
- 13% Submitted Works database
- 3% Publications database
- Crossref Posted Content database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	ciptakarya.pu.go.id Internet	<1%
2	Cita Hati Christian High School on 2020-05-03 Submitted works	<1%
3	Universitas International Batam on 2019-03-12 Submitted works	<1%
4	Universitas Negeri Jakarta on 2018-10-04 Submitted works	<1%
5	State Islamic University of Alauddin Makassar on 2021-08-23 Submitted works	<1%
6	awin759.blogspot.com Internet	<1%
7	Sultan Agung Islamic University on 2017-10-03 Submitted works	<1%
8	idoc.pub Internet	<1%

9	nanopdf.com Internet	<1%
10	Sultan Agung Islamic University on 2021-07-30 Submitted works	<1%
11	Sultan Agung Islamic University on 2020-02-19 Submitted works	<1%
12	Universitas Siliwangi on 2018-05-04 Submitted works	<1%
13	Syiah Kuala University on 2020-12-30 Submitted works	<1%
14	Universitas Pendidikan Indonesia on 2021-04-05 Submitted works	<1%
15	id.wikipedia.org Internet	<1%
16	Universitas Pendidikan Indonesia on 2022-05-30 Submitted works	<1%
17	Universitas Ibn Khaldun on 2019-01-07 Submitted works	<1%
18	ft-sipil.unila.ac.id Internet	<1%
19	magicterangers.blogspot.com Internet	<1%
20	Sultan Agung Islamic University on 2021-12-07 Submitted works	<1%

21	Universitas Negeri Jakarta on 2021-02-15	<1%
	Submitted works	
22	University of Malaya on 2020-02-28	<1%
	Submitted works	
23	es.slideshare.net	<1%
	Internet	
24	Politeknik Negeri Bandung on 2017-07-28	<1%
	Submitted works	
25	deamaulana.blogspot.com	<1%
	Internet	
26	Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-11	<1%
	Submitted works	
27	Universitas Samudra on 2022-02-22	<1%
	Submitted works	
28	repository.ump.ac.id	<1%
	Internet	
29	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-10	<1%
	Submitted works	
30	sinta.unud.ac.id	<1%
	Internet	
31	St. Ursula Academy High School on 2022-10-05	<1%
	Submitted works	
32	Universitas Pancasila on 2021-07-20	<1%
	Submitted works	

33	Ikrima Staddal, Oteng Haridjaja, Yayat Hidayat. "Analisis debit aliran su...	<1%
	Crossref	
34	dokumen.tech	<1%
	Internet	
35	Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada on 2020-10-10	<1%
	Submitted works	
36	tatinoviati.staff.gunadarma.ac.id	<1%
	Internet	
37	Politeknik Negeri Bandung on 2017-07-26	<1%
	Submitted works	
38	Universitas Diponegoro on 2020-03-19	<1%
	Submitted works	
39	Brookdale Community College on 2022-07-06	<1%
	Submitted works	
40	Politeknik Negeri Bandung on 2017-06-16	<1%
	Submitted works	
41	Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-14	<1%
	Submitted works	
42	Universitas Bung Hatta on 2022-02-18	<1%
	Submitted works	
43	Diana Irvindiaty Hendrawan, Melati Ferianita Fachrul, Astri Rinanti, Sih ...	<1%
	Crossref	
44	IAIN Bukit Tinggi on 2022-09-03	<1%
	Submitted works	

45	Sriwijaya University on 2020-01-29	<1%
	Submitted works	
46	Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti on 2020-...	<1%
	Submitted works	
47	Universitas Pendidikan Indonesia on 2021-04-05	<1%
	Submitted works	
48	Politeknik Negeri Bandung on 2019-08-05	<1%
	Submitted works	
49	ejournal.uika-bogor.ac.id	<1%
	Internet	
50	Universitas Bung Hatta on 2022-02-09	<1%
	Submitted works	
51	Universitas Bung Hatta on 2022-02-15	<1%
	Submitted works	
52	Noor Salim. "Studi Ketercukupan Kapasitas Saluran Jalan Pada Jalan ...	<1%
	Crossref	
53	Hoa Sen University on 2020-05-15	<1%
	Submitted works	
54	repo.itera.ac.id	<1%
	Internet	
55	repository.unj.ac.id	<1%
	Internet	
56	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-09	<1%
	Submitted works	

57	publikasiilmiah.ums.ac.id	Internet	<1%
58	sipkp.ciptakarya.pu.go.id	Internet	<1%
59	Politeknik Negeri Bandung on 2019-08-05	Submitted works	<1%
60	Universitas Pancasila on 2022-07-13	Submitted works	<1%
61	Noor Salim. "Study of Polder System for Flood Control In Kembang Res...	Crossref	<1%
62	Politeknik Negeri Bandung on 2017-07-28	Submitted works	<1%
63	Erlina Erlina. "ANALISIS BANJIR DAN SEDIMENTASI WILAYAH SUNGAI..."	Crossref	<1%
64	Sriwijaya University on 2021-02-18	Submitted works	<1%
65	Universitas Bung Hatta on 2022-02-11	Submitted works	<1%
66	Universitas Andalas on 2018-07-17	Submitted works	<1%
67	jurnal.univpgri-palembang.ac.id	Internet	<1%
68	Universitas Bung Hatta on 2022-07-05	Submitted works	<1%

69	jurnal.untan.ac.id	Internet	<1%
70	ojs.uho.ac.id	Internet	<1%
71	Universitas Bung Hatta on 2022-08-01	Submitted works	<1%
72	Universitas Gunadarma on 2020-06-29	Submitted works	<1%
73	Universitas Islam Indonesia on 2018-08-30	Submitted works	<1%
74	Politeknik Negeri Bandung on 2020-02-12	Submitted works	<1%
75	Sultan Agung Islamic University on 2022-08-16	Submitted works	<1%
76	lib.unnes.ac.id	Internet	<1%
77	Andriana Marwanto, Mualim Mualim. "Pemanfaatan lubang biopori seb...	Crossref	<1%
78	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-08	Submitted works	<1%
79	Universitas Bung Hatta on 2022-02-22	Submitted works	<1%
80	Universitas Muhammadiyah Makassar on 2020-01-06	Submitted works	<1%

81	repository.uma.ac.id	Internet	<1%
82	Muhamad Syahroni. "PEAK DEBIT ANALYSIS USING SYNTHETIC UNIT ...	Crossref	<1%
83	Politeknik Negeri Bandung on 2021-10-06	Submitted works	<1%
84	Suwarsito Suwarsito, Radin Alhif Dirgantara, Esti Sarjanti. "Kajian Pote...	Crossref	<1%
85	Universitas Bung Hatta on 2022-07-15	Submitted works	<1%
86	University of Malaya on 2020-07-01	Submitted works	<1%
87	eprints.umm.ac.id	Internet	<1%
88	zombiedoc.com	Internet	<1%
89	Higher Education Commission Pakistan on 2019-08-21	Submitted works	<1%
90	Universitas Bung Hatta on 2022-01-28	Submitted works	<1%
91	University of Malaya on 2020-02-11	Submitted works	<1%
92	ejournal.uniks.ac.id	Internet	<1%

93	University of Malaya on 2020-02-12	<1%
	Submitted works	
94	endahpurnasari.blogspot.com	<1%
	Internet	
95	repository.unhas.ac.id	<1%
	Internet	
96	Universitas Jember on 2019-10-24	<1%
	Submitted works	
97	eprints.ums.ac.id	<1%
	Internet	
98	Hoa Sen University on 2020-05-15	<1%
	Submitted works	
99	Sultan Agung Islamic University on 2019-09-25	<1%
	Submitted works	
100	Universitas Pelita Harapan	<1%
	Submitted works	
101	digilib.uinsgd.ac.id	<1%
	Internet	
102	Universitas Bung Hatta on 2021-08-09	<1%
	Submitted works	
103	Universitas Islam Indonesia on 2018-01-04	<1%
	Submitted works	
104	oktaviaskayanti.blogspot.com	<1%
	Internet	

105	Dwi Wahyu Purwiningsih. "Kemampuan MOL (Mikroorganisme Lokal) P... Crossref	<1%
106	Sriwijaya University on 2020-09-18 Submitted works	<1%
107	Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti on 2018-... Submitted works	<1%
108	Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti on 2020-... Submitted works	<1%
109	Universitas Islam Indonesia on 2017-12-21 Submitted works	<1%
110	Universitas Muhammadiyah Surakarta on 2022-04-28 Submitted works	<1%
111	Universitas Brawijaya on 2021-02-22 Submitted works	<1%
112	Universitas Brawijaya on 2021-04-27 Submitted works	<1%
113	Universitas Pendidikan Indonesia on 2022-11-15 Submitted works	<1%
114	Akhmad Gazali, Fathurrahman Fathurrahman. "Penyuluhan Pembangu... Crossref	<1%
115	Syiah Kuala University on 2018-08-14 Submitted works	<1%
116	jurnal.ugj.ac.id Internet	<1%

117	Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada on 2021-01-13 Submitted works	<1%
118	Unika Soegijapranata on 2015-04-27 Submitted works	<1%
119	Syiah Kuala University on 2018-08-29 Submitted works	<1%
120	Masni Erika Firmiana, Rochimah Imawati, Meithya Rose Prasetya. ""Go ... Crossref	<1%
121	School of Business and Management ITB on 2021-09-14 Submitted works	<1%
122	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2020-01-07 Submitted works	<1%
123	Universitas Andalas on 2018-07-17 Submitted works	<1%
124	Universitas Muhammadiyah Makassar on 2020-01-07 Submitted works	<1%
125	digilib.itb.ac.id Internet	<1%
126	slideserve.com Internet	<1%
127	Hoa Sen University on 2020-05-15 Submitted works	<1%
128	Universitas Semarang on 2021-06-23 Submitted works	<1%

129	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2018-04-30	<1%
	Submitted works	
130	Universitas Islam Indonesia on 2017-12-21	<1%
	Submitted works	
131	Universitas Islam Malang on 2021-02-03	<1%
	Submitted works	
132	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-10-07	<1%
	Submitted works	
133	Muhamad Arifin. "ANALISIS SISTEM DRAINASE KOTA PURWOKERTO ...	<1%
	Crossref	
134	Rafael M. Osok, Silwanus M. Talakua, Alfredo Manusama, Pieter J. Ku...	<1%
	Crossref	
135	Septi Kurnia Hayati Romah, Besperi Besperi, Gusta Gunawan. "REDESA...	<1%
	Crossref	
136	Sriwijaya University on 2021-02-09	<1%
	Submitted works	
137	Tri Susilawati, Eti Kurniati, Dedy Dharmawansyah, Hermansyah Herma...	<1%
	Crossref	
138	Universitas Islam Negeri Antasari Banjarmasin on 2022-07-18	<1%
	Submitted works	
139	Andi Nur aina Sudirman, Rosmin Ilham, Silvana Panigoro. "Edukasi Ma...	<1%
	Crossref	
140	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-13	<1%
	Submitted works	

141	Universitas Muria Kudus on 2017-04-26	<1%
	Submitted works	
142	Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti on 2020-...	<1%
	Submitted works	
143	Hendy Apriyanza, Khairul Amri, Gusta Gunawan. "ANALISIS KEMAMPU...	<1%
	Crossref	
144	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-13	<1%
	Submitted works	
145	Suci Perwita Sari, Chairunnisa Amelia, Indah Pratiwi. "Biopori Sebagai ...	<1%
	Crossref	
146	Syifa Nurillah, Delly Maulana, Budi Hasanah. "Manajemen Mitigasi Pen...	<1%
	Crossref	
147	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2018-04-24	<1%
	Submitted works	
148	Washoe County School District on 2021-07-03	<1%
	Submitted works	
149	iGroup on 2013-12-24	<1%
	Submitted works	
150	jurnalnasional.ump.ac.id	<1%
	Internet	
151	repository.trisakti.ac.id	<1%
	Internet	
152	Muhar Junef. "Penegakan Hukum dalam Rangka Penataan Ruang Gun...	<1%
	Crossref	

153	Sriwijaya University on 2020-04-08 Submitted works	<1%
154	Syiah Kuala University on 2018-10-04 Submitted works	<1%
155	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2021-03-19 Submitted works	<1%
156	Universitas Bung Hatta on 2022-02-18 Submitted works	<1%
157	Universitas Pancasila on 2022-07-13 Submitted works	<1%
158	zadoco.site Internet	<1%
159	Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-08 Submitted works	<1%
160	Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-14 Submitted works	<1%
161	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-10 Submitted works	<1%
162	Sriwijaya University on 2019-08-05 Submitted works	<1%
163	Sriwijaya University on 2021-01-17 Submitted works	<1%
164	Sriwijaya University on 2021-04-16 Submitted works	<1%

165	Sultan Agung Islamic University on 2019-08-27 Submitted works	<1%
166	Sultan Agung Islamic University on 2019-08-28 Submitted works	<1%
167	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2020-01-06 Submitted works	<1%
168	Universitas Bung Hatta on 2022-08-04 Submitted works	<1%
169	Universitas International Batam on 2018-08-24 Submitted works	<1%
170	Universitas Negeri Semarang on 2021-02-01 Submitted works	<1%
171	Universitas Pendidikan Indonesia on 2014-07-08 Submitted works	<1%
172	Universitas Semarang on 2018-02-20 Submitted works	<1%
173	Universitas Wijaya Kusuma Surabaya on 2022-05-09 Submitted works	<1%
174	ojs.unikom.ac.id Internet	<1%
175	repository.unib.ac.id Internet	<1%
176	wrap.warwick.ac.uk Internet	<1%