

**OPTIMASI DOSIS FLOKULAN, pH DAN WAKTU TINGGAL PADA
PROSES PEMURNIAN DEFEKASI UNTUK MENINGKATKAN
KUALITAS NIRA JERNIH MENGGUNAKAN UJI *JAR TEST***

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jember



**HILMY NAUFAL HUMAM
NIM. 2410681002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER
2026**

**OPTIMASI DOSIS FLOKULAN, pH DAN WAKTU TINGGAL PADA
PROSES PEMURNIAN DEFEKASI UNTUK MENINGKATKAN
KUALITAS NIRA JERNIH MENGGUNAKAN UJI *JAR TEST***

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jember



**HILMY NAUFAL HUMAM
NIM. 2410681002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER
2026**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**OPTIMASI DOSIS FLOKULAN, pH DAN WAKTU TINGGAL PADA
PROSES PEMURNIAN DEFEKASI UNTUK MENINGKATKAN
KUALITAS NIRA JERNIH MENGGUNAKAN UJI *JAR TEST***

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jember

Oleh:

HILMY NAUFAL HUMAM

NIM. 2410681002

Jember, 16 Juli 2026

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Penguji I



Dr. Ir. Mokh. Hairul Bahri, S.T., M.T.

NIDN. 0717087203

Penguji II



Setyo Pambudi, S.T., M.T.

NIDN. 0707099302

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

OPTIMASI DOSIS FLOKULAN, pH DAN WAKTU TINGGAL PADA PROSES PEMURNIAN DEFEKASI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS NIRA JERNIH MENGGUNAKAN UJI *JAR TEST*

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jember

Oleh:

HILMY NAUFAL HUMAM

NIM. 2410681002

Jember, 16 Juli 2026

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Yuni Susanti, S.Si., M.Si.

NIDN. 0712069203



Dr. Ir. Latifa Mirzatilla Al-Rosyid S.T., M.T

NIDN. 0709099101

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi

Universitas Muhammadiyah Jember

Teknik Kimia



Prof. Dr. Ir. Muntar, S.T., M.T., IPM.

NIDN. 0010067301



Yuni Susanti, S.Si., M.Si.

NIDN. 0712069203

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hilmy Naufal Humam

NIM : 2410681002

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang berjudul: "Optimasi Dosis Flokulan, pH Dan Waktu Tenggat Pada Proses Pemurnian Defekasi untuk Meningkatkan Kualitas Nira Jernih Menggunakan Uji *Jar Test* " adalah hasil karya saya sendiri, bukan karya jiplakan, dan belum pernah diajukan oleh orang lain di perguruan tinggi mana pun. Kecuali secara tertulis disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Saya bertanggung jawab atas kebenaran dan keabsahan karya penelitian ini. Apabila dikemudian hari ditemukan bukti bahwa saya memberikan pernyataan palsu dan ada pihak lain yang mengklaim bahwa penelitian ini merupakan hasil karyanya, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dan ditandatangani dalam keadaan sadar tanpa tekanan dan paksaan oleh siapapun.

Banyuwangi, 16 Juli 2026
Yang menyatakan,



Hilmy Naufal Humam
NIM. 2410681002

ABSTRAK

Pemurnian defekasi merupakan tahapan krusial dalam industri gula untuk menghilangkan kotoran pada nira tanpa menyebabkan kehilangan sukrosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan dosis flokulan, derajat keasaman (pH), dan waktu tinggal pada proses pemurnian defekasi guna meningkatkan kualitas nira jernih di PG Glenmore. Simulasi proses dilakukan menggunakan metode uji *jar test*. Desain eksperimen dibangun menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Box-Behnken Design* (BBD) yang terdiri dari 17 unit percobaan. Variabel bebas yang dianalisis meliputi dosis flokulan 3–7 ppm, pH nira 7,0–7,6, dan waktu tinggal 45–75 menit. Sementara itu, parameter kualitas yang diukur adalah warna larutan (IU), *turbidity* (ppm SiO₂), persentase endapan (%), dan persentase kenaikan kemurnian (%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga variabel bebas memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas nira jernih. Parameter warna dan *turbidity* mengikuti model regresi kuadratik, sedangkan parameter endapan dan kenaikan kemurnian mematuhi model linier. Kondisi operasional paling optimal tercapai pada formulasi dosis flokulan 5,87 ppm, pH nira 7,56, dan waktu tinggal 69,51 menit. Pada kondisi tersebut, model memprediksi bahwa nira jernih memiliki nilai warna larutan 22.229 IU, *turbidity* 82,67 ppm SiO₂, persentase endapan 19,29%, dan kenaikan kemurnian sebesar 2,48%. Formulasi ini telah memenuhi dan melampaui standar baku mutu yang ditetapkan oleh perusahaan.

Kata Kunci: Pemurnian defekasi, Nira jernih, *Jar test*, *Response Surface Methodology* (RSM).

ABSTRACT

Defecation purification is a crucial stage in the sugar industry to remove impurities from sugarcane juice without causing sucrose loss. This study aims to optimize the flocculant dose, acidity (pH), and residence time in the defecation purification process to improve the quality of clear juice at PG Glenmore. Process simulation was conducted using the jar test method. The experimental design was developed using Response Surface Methodology (RSM) with a Box-Behnken Design (BBD), comprising 17 experimental runs. The independent variables analyzed were flocculant dose (3–7 ppm), juice pH (7.0–7.6), and residence time (45–75 minutes). Meanwhile, the quality parameters measured were solution color (IU), turbidity (ppm SiO₂), precipitate percentage (%), and purity increase percentage (%). The results showed that all three independent variables significantly influenced the quality of clear juice. Color and turbidity parameters followed a quadratic regression model, whereas the precipitate and purity increase parameters adhered to a linear model. The optimal operating conditions were achieved with a flocculant dose of 5.87 ppm, a juice pH of 7.56, and a residence time of 69.51 minutes. Under these conditions, the model predicts that the clear juice will have a solution color of 22,229 IU, a turbidity of 82.67 ppm SiO₂, a precipitate percentage of 19.29%, and a purity increase of 2.48%. This formulation has met and exceeded the company's quality standards.

Keywords: *Defecation purification, Clear juice, Jar test, Response Surface Methodology (RSM).*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Dosis Flokulan, pH Dan Waktu Tenggat Pada Proses Pemurnian Defekasi untuk Meningkatkan Kualitas Nira Jernih Menggunakan Uji *Jar Test*”. Penyusunan skripsi ini merupakan suatu proses pembelajaran yang memberikan banyak pengalaman, pengetahuan, serta pemahaman baru bagi saya, baik dalam bidang akademik maupun penelitian. Selama proses penyusunan skripsi ini, saya menyadari bahwa keberhasilan penelitian dan penyelesaian naskah skripsi tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan bagi saya sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini
2. Prof. Dr. Ir. Muhtar, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember
3. Ibu Yuni Susanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyusunan skripsi ini
4. Ibu Dr. Ir. Mirzatika Al-Rosyid, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyusunan skripsi ini
5. Bapak Dr. Ir. Mokh. Hairul Bahri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I
6. Bapak Setyo Pambudi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II
7. Seluruh dosen dan staf Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama ini
8. PG Glenmore yang telah memberikan izin melakukan penelitian di laboratorium QA.

9. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral, serta motivasi yang tiada henti.
10. Istri tercinta Novianti, A.Md. dan buah hati tersayang Aqila Zefanya Aiza, yang senantiasa memberikan doa, pengertian, serta keceriaannya yang selalu menjadi penghilang lelah sehingga saya selalu memiliki semangat ekstra untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman angkatan 2024 Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jember yang telah memberikan dukungan dan semangat selama perkuliahan.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan penyempurnaan karya ilmiah ini di masa mendatang. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang Teknik Kimia.

Banyuwangi, 16 Juli 2026
Yang menyatakan,


Hilmy Naufal Humam
NIM. 2410681002

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	II
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	III
SURAT PERNYATAAN	IV
ABSTRAK	V
ABSTRACT	VI
KATA PENGANTAR.....	VII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIII
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Tebu (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	5
2.2 Monosakarida	7
2.3 Disakarida.....	7
2.4 Reaksi Inversi	8
2.5 Nira Mentah (<i>Mixed Juice</i>).....	9
2.6 Pemurnian Defekasi	12
2.7 <i>Jar Test</i>	19
2.8 Nira Jernih (<i>Clear Juice</i>)	19
2.9 Analisa Laboratorium.....	19
2.10 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	22
2.11 Penelitian Terdahulu.....	23
2.12 Hipotesis	24

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Waktu dan Tempat	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Prosedur Penelitian	27
3.4 Variabel Penelitian	30
3.5 Analisis Data	31
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.7 Matrik Eksperimen	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 <i>RSM Analysis</i> Parameter Warna Larutan	40
4.2 <i>RSM Analysis</i> Parameter <i>Turbidity</i>	46
4.3 <i>RSM Analysis</i> Parameter Endapan	52
4.4 <i>RSM Analysis</i> Parameter Kenaikan Kemurnian	59
4.5 Optimalisasi Variabel	64
BAB 5 PENUTUP.....	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN-LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

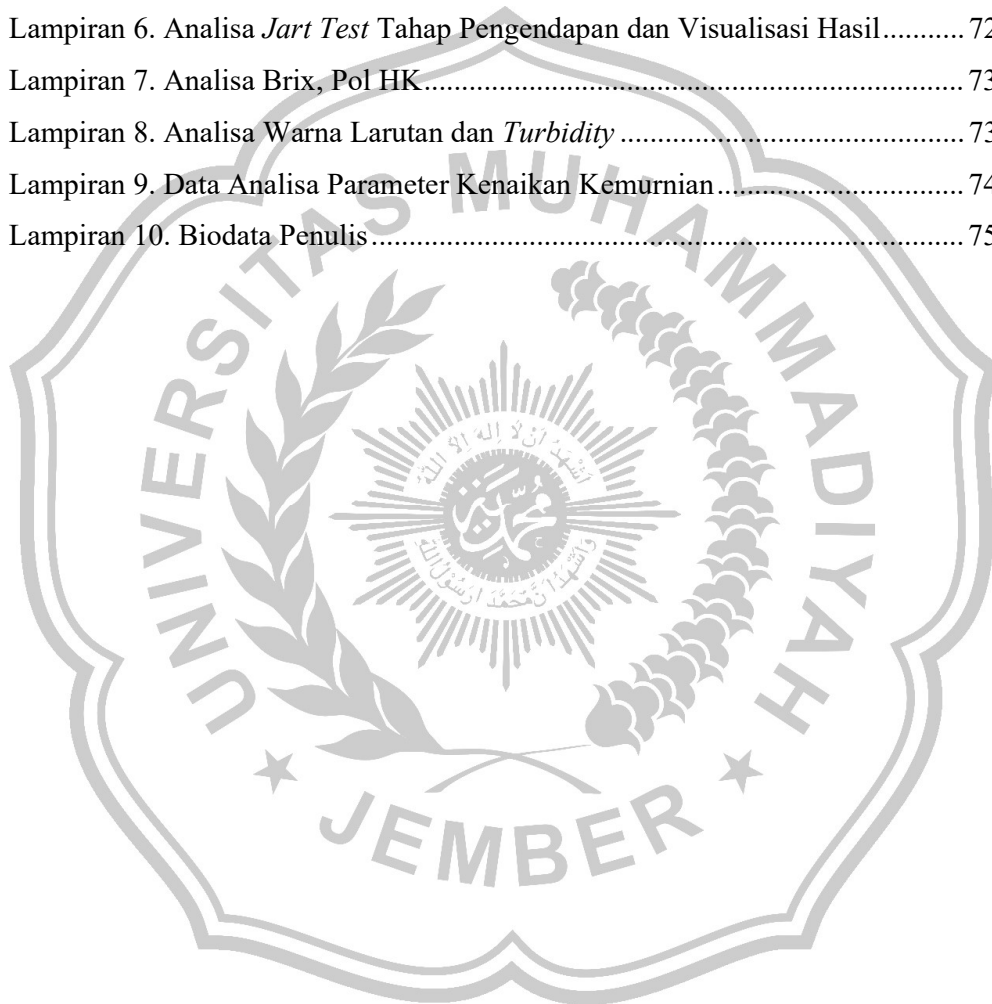
Tabel 2.1 Taksonomi Tebu	5
Tabel 2.2 Standar Mutu Nira Jernih	19
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Tahapan Kegiatan	25
Tabel 3.2 Daftar Alat.....	25
Tabel 3.3 Variabel Desain.....	30
Tabel 3.4 Matriks Eksperimen	33
Tabel 4.1 Hasil Analisa <i>Pra-Jar Test</i>	34
Tabel 4.2 Hasil Analisa <i>Pasca-Jar Test</i>	36
Tabel 4.3 Rekomendasi Model Parameter Warna Larutan.....	41
Tabel 4.4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Parameter Warna Larutan	41
Tabel 4.5 <i>Fit Statistics</i> Parameter Warna Larutan	42
Tabel 4.6 Rekomendasi Model Parameter <i>Turbidity</i>	47
Tabel 4.7 <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA) Parameter <i>Turbidity</i>	47
Tabel 4.8 <i>Fit Statistics</i> Parameter <i>Turbidity</i>	48
Tabel 4.9 Rekomendasi Model Parameter Endapan	53
Tabel 4.10 <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA) Parameter Endapan	53
Tabel 4.11 <i>Fit Statistics</i> Parameter Endapan	54
Tabel 4.12 Rekomendasi Model Parameter Kenaikan Kemurnian.....	59
Tabel 4.13 <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA) Parameter Kenaikan Kemurnian....	60
Tabel 4.14 <i>Fit Statistics</i> Parameter Kenaikan Kemurnian	60
Tabel 4.15 Rekomendasi Variabel Optimum.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Foto Tanaman Tebu	6
Gambar 2.2 Diagram Komposisi dan Struktur Komponen Tebu.....	6
Gambar 2.3 Aliran Nira Mentah	9
Gambar 2.4 Pembentukan Trikalsium Fosfat.....	16
Gambar 2.5 Pembentukan Flok – Flok	17
<i>Gambar 2.6 Procces Flow Diagram (PFD) Stasiun Pemurnian</i>	<i>18</i>
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 <i>Contour Plot</i> Parameter Warna Larutan.....	43
Gambar 4.2 3D <i>Surface</i> Parameter Warna Larutan	43
Gambar 4.3 Grafik <i>Predicted vs Actual</i> Parameter Warna Larutan.....	45
Gambar 4.4 <i>Contour Plot</i> Parameter <i>Turbidity</i>	49
Gambar 4.5 3D <i>Surface</i> Parameter <i>Turbidity</i>	49
Gambar 4.6 Grafik <i>Predicted vs Actual</i> Parameter <i>Turbidity</i>	51
Gambar 4.7 <i>Contour Plot</i> Parameter Endapan.....	55
Gambar 4.8 3D <i>Surface</i> Parameter Endapan.....	56
Gambar 4.9 Grafik <i>Predicted vs Actual</i> Parameter Endapan.....	57
Gambar 4.10 <i>Contour Plot</i> Parameter Kenaikan Kemurnian	62
Gambar 4.11 3D <i>Surface</i> Parameter Kenaikan Kemurnian	62
Gambar 4.12 Grafik <i>Predicted vs Actual</i> Parameter Kenaikan Kemurnian	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat Gilingan Contoh	70
Lampiran 2. Sampel Tebu	70
Lampiran 3. Nira Mentah.....	71
Lampiran 4. Analisa <i>Jart Test</i> Tahap Penambahan Susu Kapur.....	71
Lampiran 5. Analisa <i>Jart Test</i> Tahap Penambahan Flokulan	71
Lampiran 6. Analisa <i>Jart Test</i> Tahap Pengendapan dan Visualisasi Hasil.....	72
Lampiran 7. Analisa Brix, Pol HK.....	73
Lampiran 8. Analisa Warna Larutan dan <i>Turbidity</i>	73
Lampiran 9. Data Analisa Parameter Kenaikan Kemurnian.....	74
Lampiran 10. Biodata Penulis.....	75



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Sinergi Gula Nusantara atau lebih sering dikenal dengan *Sugar Co* adalah *sub holding* PT Perkebunan Nusantara III (Persero) *Holding* Perkebunan yang ditugaskan untuk mengelola seluruh pabrik gula yang ada di lingkungan PTPN Group, didirikan sebagai wujud salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN). Pabrik Gula Glenmore merupakan salah satu unit pabrik gula yang di miliki oleh PT Sinergi Gula Nusantara memiliki kapasitas giling 6000 *Ton Cane Per Day* (TCD) dan kapasitas terpasang 8000 *Ton Cane Per Day* (TCD) dengan teknologi pemurnian terbaru yaitu Defekasi, *Remelt*, dan Karbonatasi (DRK) guna memenuhi standar Gula Kristal Putih (GKP) SNI 3140.3 2010. Proses produksi gula di PG Glenmore melibatkan rangkaian tahapan unit operasi yang saling berkesinambungan untuk mengekstraksi sukrosa dari tanaman tebu agar menjadi gula dengan kualitas sesuai dengan regulasi. Rangkaian proses ini dimulai dari stasiun gilingan, stasiun pemurnian defekasi, stasiun penguapan, stasiun kristalisasi A-B-C, stasiun karbonatasi, stasiun kristalisasi R, stasiun putaran dan stasiun pengemasan.

Pemurnian defekasi merupakan salah satu penentu keberhasilan dalam proses produksi pabrik gula yang berfungsi untuk menghilangkan kotoran yang terkandung dalam nira tanpa menimbulkan kehilangan gula, sehingga diperoleh produk gula kristal yang bersih. Proses pemurnian harus dijaga agar tidak terjadi kerusakan kualitas nira jernih karena dapat menimbulkan dampak kerugian pada tahapan berikutnya. Komposisi nira mentah terdiri dari air, zat kering yang terlarut (brix), zat gula yang terlarut (pol) dan bukan gula (kotoran) maka perlu dilakukan proses pengendapan di *single tray clarifier* untuk memisahkan endapan-endapan hasil reaksi defekasi berdasarkan perbedaan berat jenis secara gravimetris (Widyasih *et al.*, 2023). Untuk mempercepat pengendapan dan menghasilkan kualitas nira jernih secara maksimal terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain faktor suhu nira, dosis flokulan, pH nira dan waktu tinggal pengendapan.

Pemisahan zat bukan gula yang tidak sempurna akan memengaruhi warna larutan dan turbiditas nira jernih, sehingga berdampak pada penurunan kualitas produk gula. Dari sisi operasional, hal ini berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pabrik akibat adanya pembentukan kerak dan peningkatan viskositas.

Penelitian terkait pemurnian nira telah banyak dilakukan dengan meninjau berbagai parameter. Djasmari *et al.* (2022), misalnya, berfokus pada efektivitas penambahan flokulan terhadap kejernihan nira, sementara (Oktaviani *et al.*, 2023) menitikberatkan pada pengaruh suhu dan waktu. Namun, sebagian besar pada penelitian tersebut hanya fokus pada variabel tertentu sedangkan pada prosesnya setiap variabel saling berkaitan yang tidak dapat terpisahkan untuk menentukan formulasi yang optimum sehingga mendapatkan kualitas nira jernih sesuai dengan standar. Dosis flokulan terlalu sedikit dapat menyebabkan flok kurang terbentuk, namun jika terlalu banyak dapat mengakibatkan *restabilization* dan pemborosan. Penyesuaian pH proses juga penting karena mencakup pembentukan CaCO_3 dan kemampuan koagulasi. Sementara itu, waktu tinggal berpengaruh terhadap proses pengendapan (Widyasih *et al.*, 2023). Ketiga variabel ini berinteraksi dan harus ditentukan secara terkontrol.

Mengingat kompleksitas proses di skala industri, simulasi pemurnian sistem defekasi perlu dilakukan terlebih dahulu pada skala laboratorium untuk menentukan kondisi operasi yang paling optimum. Metode *jar test* dipilih sebagai pendekatan standar untuk mensimulasikan proses koagulasi dan flokulasi tersebut sehingga dapat sebagai acuan penentuan parameter operasional pemurnian defekasi (Nury *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses pemurnian dengan meninjau variabel yang lebih komprehensif dibandingkan penelitian sebelumnya, yaitu pengaruh dosis flokulan, derajat keasaman (pH), dan waktu tinggal. Penelitian ini secara khusus menerapkan metode statistik *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan eksperimen *Box-Behnken Design* (BBD). Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan untuk memodelkan hubungan kompleks antara tiga variabel bebas dosis flokulan, pH nira, dan waktu tinggal secara simultan terhadap respon kualitas nira jernih. Dengan menggunakan pendekatan RSM-BBD, penelitian ini mampu

mengevaluasi pengaruh interaksi antar-variabel serta menentukan titik kondisi operasional yang paling optimal dengan jumlah eksperimen yang efisien dan tingkat akurasi statistik yang tinggi, sehingga memberikan kontribusi nyata bagi optimasi proses di stasiun pemurnian PG Glenmore.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan berkaitan dengan penelitian adalah:

1. Bagaimana pengaruh dosis flokulan, pH dan waktu tinggal untuk meningkatkan kualitas nira jernih?
2. Apa formulasi yang paling optimum dosis flokulan, pH dan waktu tinggal untuk meningkatkan kualitas nira jernih?
3. Bagaimana pemodelan empiris yang sesuai dengan hasil percobaan berdasarkan analisis RSM-BBD?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah antara lain:

1. Variabel yang diteliti meliputi, dosis flokulan, pH dan waktu tinggal
2. Pengujian kualitas nira jernih hanya dilakukan dengan metode *jar test* skala laboratorium, hasil uji tidak diverifikasi secara langsung dengan penerapan skala pabrik.
3. Parameter kualitas nira jernih yang diukur terbatas parameter warna larutan (IU), *turbidity* (ppm SiO_2), persentase endapan (%) dan kenaikan kemurnian (%).

1.4 Tujuan

Berdasarkan judul yang diambil maka tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dosis flokulan, pH dan waktu tinggal terhadap kualitas nira jernih pada proses pemurnian defekasi.
2. Menentukan formulasi yang optimum dosis flokulan, pH dan waktu tinggal untuk meningkatkan kualitas nira jernih.

3. Menentukan pemodelan empiris yang sesuai dengan hasil percobaan berdasarkan analisis RSM-BBD

1.5 Manfaat

Dengan dilaksanakannya penelitian ini berharap agar dapat memiliki manfaat antara lain:

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu bidang teknik kimia khususnya PG Glenmore sehingga dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan studi lebih lanjut mengenai proses pemurnian defekasi.
2. Penelitian ini dapat menjadi dasar menentukan formulasi pemurnian defekasi paling optimal sehingga meningkatkan kualitas nira jernih.
3. Secara tidak langsung penelitian ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas produk gula yang dikonsumsi masyarakat.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.)

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) pada Gambar 2.1 merupakan komoditas utama dalam industri gula yang termasuk dalam famili rumput-rumputan (*Poaceae*). Sebagai tanaman monokotil, tebu memiliki karakteristik biologis yang spesifik yang membedakannya dari tanaman penghasil pemanis lainnya. Klasifikasi ilmiah atau taksonomi dari tanaman tebu secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Taksonomi Tebu

Tingkatan	Nama Ilmiah	Penjelasan Singkat
Kingdom	<i>Plantae</i>	Tumbuh-tumbuhan
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>	Tumbuhan berbunga
Kelas	<i>Liliopsida</i>	Tumbuhan berkeping satu
Ordo	<i>Poales</i>	Bangsa rumput-rumputan
Famili	<i>Poaceae</i>	Suku rumput-rumputan
Genus	<i>Saccharum</i>	Marga tebu-tebuan.
Spesies	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Spesies tebu budidaya penghasil gula utama.

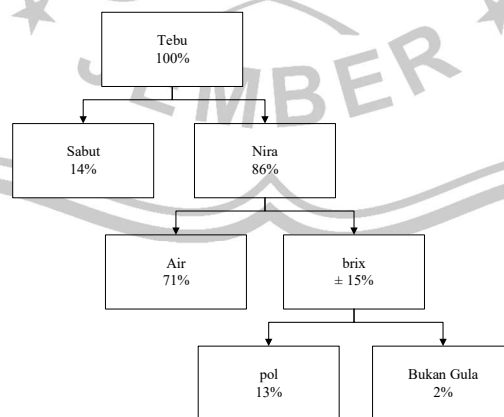
Sumber : *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS)

Tanaman tebu pada Gambar 2.1 dengan nama latin *Saccharum Officinarum*, L., merupakan komoditas penting di sektor perkebunan dan menjadi bahan baku utama pabrik gula. Tanaman yang termasuk ke dalam famili *poaceae* (rumput-rumputan) ini tumbuh subur di wilayah tropis dan sub tropis dengan iklim yang hangat dan curah hujan yang cukup.



Gambar 2.1 Foto Tanaman Tebu
(Sumber : dokumentasi pribadi)

Bagian batang tebu merupakan komponen terpenting karena berfungsi sebagai tempat penyimpanan nira yaitu sumber sukrosa yang akan diekstrak dalam proses penggilingan. Kualitas nira yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kualitas mutu salah satunya ditentukan oleh proses Tebang Muat Angkut (TMA). Seringkali tebu tercampur dengan material non-tebu (*trash*) seperti daduk, pucuk, dan tanah. Hal ini sejalan dengan pendapat (Wahyudi, 2023) yang menyatakan bahwa penerapan prinsip MBS (Manis, Bersih, Segar) dalam TMA mutlak diperlukan untuk meminimalkan kehilangan gula dan mencegah penurunan brix mulai dari proses tebang hingga antrian giling. Rein, (2007) dalam bukunya *cane sugar engineering* menjelaskan bahwa komposisi dan struktur komponen tebu tertuang dalam diagram Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Diagram Komposisi dan Struktur Komponen Tebu
(Sumber : sucrotech.com)

2.2 Monosakarida

Monosakarida merupakan golongan karbohidrat paling sederhana yang tidak dapat dihidrolisis menjadi bentuk yang lebih kecil, dengan komponen utama berupa glukosa dan fruktosa. Secara kimiawi, monosakarida memiliki gugus aldehid atau keton bebas yang membuatnya bersifat reaktif, terutama terhadap panas dan perubahan pH. Dalam konteks teknologi gula, keberadaan monosakarida sering kali dianggap sebagai indikator kualitas bahan baku tebu yang masih muda atau yang sudah mengalami kerusakan biologis cenderung memiliki kadar monosakarida yang tinggi. Dalam kaitannya dengan proses pemurnian defekasi, keberadaan monosakarida dalam nira jernih memerlukan perhatian khusus karena sifat ketidakstabilannya pada suasana basa dan suhu tinggi. Proses defekasi yang melibatkan penambahan susu kapur dan pemanasan hingga titik didih dapat memicu degradasi monosakarida jika pH nira menjadi terlalu basa. Menurut Chen & Chou (1993), pada kondisi alkalinitas tinggi, glukosa dan fruktosa dapat terdegradasi menjadi asam-asam organik yang justru menurunkan pH kembali, serta membentuk zat warna cokelat tua yang sulit dihilangkan. Oleh karena itu, pada nira jernih hasil defekasi, kadar monosakarida diharapkan serendah mungkin untuk meminimalkan sifat melasigenik yang dapat menghambat kristalisasi sukrosa di stasiun masakan.

2.3 Disakarida

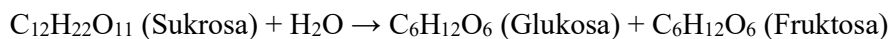
Disakarida adalah karbohidrat yang terbentuk dari penggabungan dua molekul monosakarida melalui ikatan glikosidik, dengan sukrosa sebagai komponen disakarida terpenting dalam industri gula. Sukrosa terbentuk dari ikatan antara α *D*-glukosa dan β *D*-fruktosa. Sifat fisik dan kimia sukrosa, seperti kelarutan dan rotasi optik, menjadi dasar utama dalam proses ekstraksi dan kristalisasi gula. Secara umum, tujuan utama pabrik gula adalah mendapatkan konsentrasi disakarida setinggi mungkin dalam nira jernih dengan membuang komponen non-gula lainnya. Pada proses pemurnian defekasi, peran utama pengolahan adalah melindungi disakarida ini dari kerusakan sekaligus memurnikannya dari zat pengotor. Defekasi bekerja dengan menetralkan asam

organik alami dalam nira mentah menggunakan susu kapur untuk mencapai pH netral pada nira jernih. Hugot (1986) menjelaskan bahwa nira jernih hasil defekasi yang baik ditandai dengan kenaikan Harkat Kemurnian (HK), yang berarti rasio disakarida terhadap total padatan terlarut meningkat. Proses koagulasi protein dan pengendapan kotoran oleh ion Ca^{2+} selama defekasi bertujuan agar disakarida dalam nira jernih tersisa dalam keadaan murni dan stabil, siap untuk dipekatkan di stasiun penguapan tanpa terganggu oleh keberadaan koloid atau zat bukan gula (Rein, 2007)

2.4 Reaksi Inversi

Reaksi inversi adalah proses hidrolisis kimiawi di mana sukrosa terpecah menjadi dua monosakarida penyusunnya, yaitu glukosa dan fruktosa, dengan bantuan air. Reaksi ini umumnya dikatalisis oleh ion hidrogen (H^+) dalam suasana asam atau dipercepat oleh suhu yang tinggi. Secara stoikiometri, reaksi ini menyebabkan satu molekul sukrosa mengikat satu molekul air untuk menghasilkan gula invert. Fenomena ini sangat merugikan dalam industri gula karena secara langsung mengurangi rendemen gula kristal yang dapat dihasilkan (Honig, 1963). Dalam konteks pemurnian defekasi, pencegahan reaksi inversi adalah tujuan utama dari pengendalian pH. Nira mentah secara alami bersifat asam pH 5,2–5,4 yang merupakan kondisi ideal bagi terjadinya inversi. Melalui proses defekasi, penambahan kapur bertujuan menaikkan pH hingga titik netral untuk menghentikan laju inversi tersebut. Namun, Doherty (2011) memperingatkan bahwa jika kontrol pH pada nira jernih tidak stabil reaksi inversi akan aktif kembali. Hal ini mengakibatkan *undetermined losses* pada nira jernih, di mana kadar sukrosa menurun drastis dan warna nira menjadi gelap akibat dekomposisi produk inversi tersebut pada suhu tinggi di evaporator.

Reaksi inversi :



2.5 Nira Mentah (*Mixed Juice*)

Nira mentah atau yang dikenal dengan *mixed juice* pada Gambar 2.3 adalah cairan yang dihasilkan dari proses ekstraksi mekanis di stasiun gilingan. Tebu yang akan digiling melewati *cane preparation* yaitu tahapan pemotongan tebu dengan ukuran tertentu menggunakan *cane cutter* dilanjut pembentukan serabut menggunakan *Heavy Duty Hammer Shredder* (HDHS) agar mempermudah mengekstraksi nira mentah di setiap sel tebu (Layli & Wahyudi, 2021). Nira mentah merupakan bahan baku utama dalam pembuatan gula kristal putih dengan komponen terbesar dalam nira mentah adalah air 71% dan sukrosa 13% (Rein, 2007).



Gambar 2.3 Aliran Nira Mentah
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Komponen yang tidak hanya mengandung air dan sukrosa, tetapi juga berbagai senyawa lain disebut sebagai zat bukan gula. Keberadaan zat bukan gula inilah menjadi tantangan utama dalam pabrik gula, karena dapat mempengaruhi hasil proses pemurnian nira (Hugot, 1986). Zat bukan gula dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.5.1 Senyawa Anorganik

Kelompok senyawa anorganik merujuk pada semua garam mineral dan unsur anorganik yang diserap oleh tanaman tebu dari tanah dan pupuk. Ketika nira diuapkan dan dibakar di laboratorium dengan suhu tinggi, komponen tersuspensi akan habis terbakar, dan yang tersisa adalah residu

inilah yang disebut dengan abu yang terdiri dari unsur kation seperti kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan sejumlah kecil besi (Fe^{3+}) dan unsur anion seperti aluminium (Al^{3+}) dan fosfat (PO_4^{3-}), silikat (SiO_3^{2-}), sulfat (SO_4^{2-}), dan klorida (Cl^-). Kandungan abu dalam nira mentah berkisar antara 0,5% - 1,5% dari total padatan terlarut (Rein, 2007). Kehadiran garam-garam anorganik ini bersifat melasitogenik, artinya mereka dapat meningkatkan kelarutan sukrosa dan menghambat proses kristalisasi. Akibatnya, lebih banyak sukrosa yang akan tertinggal dalam molases dan tidak dapat dikristalkan, sehingga menurunkan rendemen gula (Hugot, 1986). Selain itu, silika (SiO_2) dan garam kalsium dapat membentuk kerak yang sangat keras pada dinding-dinding pipa evaporator. Kerak ini bertindak sebagai isolator panas, sehingga mengurangi efisiensi perpindahan panas dan memaksa pabrik untuk berhenti beroperasi secara berkala untuk pembersihan (Rein, 2007).

2.5.2 Senyawa Organik BM Rendah

Kelompok senyawa yang terdiri dari molekul-molekul tersuspensi sederhana yang larut dalam air dan bersifat reaktif secara kimia selama proses pengolahan.

a. Gula Pereduksi

Gula pereduksi terdiri dari fruktosa dan glukosa, gula ini terbentuk secara alami di dalam batang tebu dan juga akibat proses inversi sukrosa oleh enzim atau kondisi asam. Kehadiran gula pereduksi sangat tidak diinginkan karena pada kondisi panas dan pH tinggi selama proses pemurnian, mereka akan terdegradasi membentuk senyawa pewarna yang sangat gelap melanoidin melalui reaksi maillard dengan asam amino. Senyawa tersuspensi sangat sulit dihilangkan dan menjadi penyebab utama warna gelap pada gula kristal (Chen & Chou, 1993).

b. Asam Amino

Seperti asparagin dan glutamin, merupakan komponen pembangun protein. Peran utamanya adalah sebagai reaktan bersama gula pereduksi dalam reaksi *maillard*, yang berkontribusi signifikan terhadap pembentukan warna pada produk gula (Hugot, 1986).

c. Asam Organik

Asam yang paling dominan dalam nira tebu adalah asam akonitat. Selain itu, terdapat juga asam suksinat, malat, dan glikolat. Asam-asam ini mempengaruhi pH alami nira. Selama proses defekasi, asam-asam ini akan bereaksi dengan susu kapur (Ca(OH)_2) membentuk garam kalsium. Sebagian garam ini dapat larut dan tetap berada dalam nira, yang selanjutnya dapat berkontribusi pada pembentukan kerak di *evaporator* (Hugot, 1986).

2.5.3 Senyawa Organik BM Tinggi

Kelompok ini terdiri dari makromolekul yang tidak benar-benar larut dalam nira, melainkan terdispersi dalam bentuk koloid. Partikel-partikel ini bertanggung jawab atas *turbidity* dan viskositas nira.

a. Protein

Merupakan senyawa kompleks yang akan mengalami denaturasi dan penggumpalan saat nira dipanaskan. Gumpalan protein ini membantu dalam proses penjernihan awal, namun jika tidak dihilangkan secara sempurna, sisa protein dapat berkontribusi pada pembentukan buih dan warna dalam proses selanjutnya (Hugot, 1986).

b. Pati

Butiran pati yang terbawa selama proses penggilingan akan larut dalam nira panas dan secara signifikan meningkatkan viskositas larutan. Viskositas yang tinggi mempersulit proses pengendapan lumpur, filtrasi, dan yang paling kritis, menghambat pertumbuhan kristal sukrosa. Kehadiran pati seringkali menghasilkan kristal gula

yang berbentuk jarum memanjang (*needle-like crystals*), yang sulit dipisahkan dari molases di stasiun putaran (Rein, 2007).

c. Pektin dan *Gums*

Pektin dan *gums* adalah kelompok polisakarida kompleks yang juga berkontribusi besar terhadap peningkatan viskositas nira. Sama seperti pati, mereka menghambat laju pengendapan dan filtrasi (Chen & Chou, 1993).

d. Lilin dan Lemak

Berasal dari lapisan pelindung pada kulit luar batang tebu. Senyawa ini bersifat hidrofobik dan dapat menyebabkan masalah penyumbatan pada saringan dan kain filter, serta dapat terakumulasi pada permukaan alat pengolahan (Hugot, 1986).

e. Dekstran

Dekstran tidak berasal dari tanaman tebu itu sendiri, melainkan produk dari aktivitas mikroorganisme bakteri *Leuconostoc mesenteroides* pada tebu yang terluka, memar, atau terlalu lama disimpan setelah tebang. Dekstran adalah masalah yang paling ditakuti karena bahkan dalam konsentrasi yang sangat kecil, ia dapat meningkatkan viskositas secara ekstrem, membuat larutan menjadi sangat lengket dan sulit diolah, serta menghasilkan kristal gula yang sangat tidak beraturan (Rein, 2007).

2.6 Pemurnian Defekasi

Pemurnian defekasi merupakan salah satu metode pemurnian dalam gula yang bertujuan untuk menetralkan asam bebas dan mengendapkan zat bukan gula dalam bentuk flok-flok yang mudah dipisahkan (Hugot, 1986). Proses ini sangat krusial untuk menghasilkan kristal gula yang berkualitas tinggi dengan melalui beberapa tahapan.

2.6.1 Penambahan Asam Fosfat (*Phosphoric Acid*)

Fosfat dalam nira tebu bukan berasal dari zat aditif, melainkan bersumber langsung dari tanaman tebu itu sendiri. Tanaman menyerap

fosfor dari tanah, yang ketersediaannya sangat dipengaruhi oleh praktik pemupukan di kebun. Kandungan fosfat dalam nira dinyatakan dalam satuan ppm P_2O_5 . Tingkat kandungan fosfat yang ideal untuk proses pemurnian yang efektif adalah sekitar 250-350 ppm (Rein, 2007). Jika kandungan fosfat yang terlalu rendah akan berdampak kurangnya endapan kalsium fosfat yang terbentuk sehingga tidak akan cukup mengikat semua kotoran dan akan mengakibatkan kualitas nira jernih tidak sesuai dengan standar. Karena pentingnya peran fosfat, pabrik gula secara rutin menganalisis kadar P_2O_5 dalam nira mentah. Jika kadarnya di bawah level ideal, maka dilakukan proses koreksi yang disebut fosfatasi, yaitu penambahan asam fosfat (H_3PO_4) ke dalam nira sebelum proses defekasi. Tujuannya adalah untuk menaikkan kadar P_2O_5 hingga mencapai rentang optimal agar proses pemurnian dapat berjalan dengan efisien.

2.6.2 *Juice Heater 1*

Pemanasan awal nira mentah menggunakan *juice heater* pertama hingga mencapai suhu sekitar $75^{\circ}C$ adalah preparasi yang krusial dalam proses pembuatan gula. Pemanasan ini dilakukan sebelum penambahan susu kapur dan memiliki beberapa tujuan teknis yang sangat penting untuk menunjang keberhasilan tahap pemurnian selanjutnya. Pemanasan nira mentah pada tahap ini tidak bertujuan untuk mendidihkan, melainkan untuk mengkondisikan nira secara fisik dan kimia.

a. Inaktivasi Enzim Invertase

Pemanasan nira hingga suhu $75^{\circ}C$ secara efektif akan mendenaturasi dan menginaktivasi enzim invertase. Dengan menghentikan aktivitas enzim ini, kehilangan sukrosa dapat ditekan seminimal mungkin, sehingga rendemen gula tetap terjaga. Jika inversi terjadi, gula pereduksi yang terbentuk dapat menyebabkan masalah pada proses selanjutnya, seperti pembentukan warna yang tidak diinginkan.

b. Mempersiapkan Suhu Reaksi

Pemanasan berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi kimia pada tahap defekasi (penambahan kapur). Reaksi antara kapur (Ca(OH)_2) dengan fosfat dan kotoran lainnya dalam nira akan berlangsung lebih cepat dan lebih sempurna pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan pada suhu kamar (Rein, 2007). Dengan memanaskan nira terlebih dahulu, efisiensi penggunaan kapur menjadi lebih baik dan pembentukan endapan kalsium fosfat menjadi lebih optimal.

c. Mengurangi Viskositas Nira

Pemanasan akan menurunkan viskositas nira, membuatnya lebih encer. Nira yang lebih encer memungkinkan proses pencampuran dengan susu kapur menjadi lebih homogen dan merata. Selain itu, sirkulasi dan pemompaan nira di dalam pabrik juga menjadi lebih mudah dan efisien (Chen & Chou, 1993).

d. Koagulasi Parsial

Nira mengandung sejumlah kecil protein, terutama albumin, dan juga lilin dari kulit tebu. Pemanasan awal ini akan memulai proses koagulasi albumin dan melelehkan lilin. Proses ini merupakan awal untuk memisahkan kotoran-kotoran koloid tersebut dari larutan, yang nantinya akan disempurnakan pada pemanasan kedua setelah penambahan kapur.

2.6.3 Penambahan Susu Kapur (*Calcium Hydroxide*)

Penambahan susu kapur adalah salah satu tahapan paling krusial dalam stasiun pemurnian. Tujuan utamanya adalah untuk menetralkan keasaman nira dan mengendapkan sebanyak mungkin zat bukan gula yang terlarut maupun tersuspensi (Milaniyah *et al.*, 2022), nira jika dalam kondisi asam maka akan terjadi pengrusakan oleh mikroorganisme yang akan menyebabkan sulitnya proses pengkristalan maka dari itu perlu adanya penambahan susu kapur (Sayekti *et al.*, 2022).