

Studi Balok Kantilever Bentang Panjang Terhadap Pengaruh Beban Gempa Arah Vertikal

Study of long span cantilever beam on the influence of earthquake vertical

Joko Prasetyo¹, Muhtar², Pujo Priyono.³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : jokopras1602@gmail.com

²Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : muhtar@unmuhjember.ac.id

³Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : pujo@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Kantilever merupakan sebuah struktur bangunan dimana pada struktur tersebut hanya ditopang pada satu sisi saja. Banyak arsitek dalam mendesain bangunan gedung menggunakan struktur kantilever dikarenakan dapat memunculkan estetika dalam sebuah gedung. Dalam dunia architect tidak sedikit designer membuat desain yang hampir mustahil untuk dibangun, dimana estetika yang paling utama sehingga menuntut para teknik sipil dapat merencanakan kekuatan struktur dari desain tersebut. Acuan dari perhitungan yang digunakan SNI – 2847 – 2019 yang mengatur mengenai “ Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI – 1726 – 2019 yang mengatur mengenai “ Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung”. Untuk data gempa didapatkan melalui website puskim.pu.go.id dengan jenis tanah sedang. Dari hasil analisa didapatkan bahwa dimensi balok kantilever dengan bentang 12 m, didapatkan dimensi dengan tinggi (h) = 3 m dan lebar (b) = 1.6 m, dengan mutu beton 45 MPa, mutu baja ulir = 550 MPa dan mutu baja polos = 390 MPa, dengan diameter tulangan (\emptyset) ulir = 36 mm dan diameter tulangan (\emptyset) polos = 16 mm.

Kata Kunci: Perhitungan plat lantai 2 arah dan 1 arah, perhitungan balok dan balok kantilever, perhitungan kolom, SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019.

Abstract

Cantilever is a building structure where the structure is only supported on one side only. Many architects in designing buildings use cantilever structures because they can bring out the aesthetics of a building. In the world of architects, not a few designers make designs that are almost impossible to build, where aesthetics is the most important, so that it requires civil engineers to plan the structural strength of the design. The reference for the calculations used is SNI - 2847 - 2019 which regulates "Requirements for structural concrete for buildings, SNI - 1726 - 2019 which regulates "Procedures for planning earthquake resistance for building and non-building structures". Earthquake data obtained through the website puskim.pu.go.id with medium soil types. From the results of the analysis, it was found that the dimensions of the cantilever beam with a span of 12 m, obtained dimensions with height (h) = 3 m and width (b) = 1.6 m, with concrete quality 45 MPa, screw steel quality = 550 MPa and plain steel quality = 390 MPa, with diameter of reinforcement (\emptyset) thread = 36 mm and diameter of reinforcement (\emptyset) plain = 16 mm.

Keywords: Calculation of 2-way and 1-way floor slabs, calculation of cantilever beams and beams, calculation of columns, SNI-2847-2019 and SNI-1726-2019.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kantilever merupakan sebuah struktur bangunan dimana pada struktur tersebut hanya ditopang pada satu sisi saja. Banyak arsitek dalam mendesain bangunan gedung menggunakan struktur cantilever dikarenakan dapat memunculkan estetika dalam sebuah gedung. Di setiap daerah mempunyai potensi gempa dengan skala gempa yang berbeda-beda sehingga dalam perencanaan bangunan tidak lupa untuk merencanakan bangunan yang tahan terhadap gempa. Untuk itu diperlukan perancangan dan pengawasan khusus untuk menekan resiko yang terjadi akibat gempa.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis akan merancang struktur bertingkat dengan terdapatnya sistem balok terhadap pengaruh beban gempa arah vertikal. Dalam balok kantilever sangat perlu untuk ditinjau gempa vertikal. Ada 2 jenis gempa, yaitu Gempa vertikal dan Gempa horizontal, Gempa vertikal adalah bangunan yang berpindah posisi ke atas atau kebawah saat gempa terjadi. Sedangkan gempa horizontal adalah bangunan yang berpindah posisi ke kanan atau kiri saat gempa terjadi. Pada Tugas Akhir ini hanya merencanakan gempa vertikal saja.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Bagaimana merancang struktur Kantilever balok menerus.
2. Bagaimana melakukan analisa struktur akibat gempa vertikal.

C. Batasan Masalah

1. Bagaimana perencanaan balok kantilever terhadap pengaruh beban gempa.
2. Bagaimanakah kontrol keamanan hasil analisa perhitungan dan perencanaan terhadap gravitasi dan beban gempa.

3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut : Diharapkan dengan berakhirnya Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dalam bidang teknik

sipil, yaitu dapat merancang struktur bangunan gedung dimana terdapat struktur cantilever balok menerus.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jika suatu balok disangga atau dijepit hanya pada salah satu ujungnya sedemikian sehingga sumbu balok tidak dapat berputar pada titik tersebut, maka balok tersebut disebut balok kantilever (cantilever beam).

A. Pengaruh Beban Gempa Vertikal

Pengaruh beban gempa vertikal, E_v , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 17 berikut:

$$E_v = 0.2 \times SDS \times D$$

Keterangan :

SDS = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek yang diperoleh dari 6.10.4.

D = pengaruh beban mati.

B. Pengaruh Gempa Rencana

Gaya gempa desain horizontal (F_p) harus diterapkan pada titik berat element dan didistribusikan massa element dan harus ditentukan sesuai dengan :

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right)$$

F_p tidak perlu lebih besar dari :

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p$$

Dan F_p tidak boleh lebih kecil dari :

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p$$

Keterangan:

F_p = gaya seismik rencana.

S_{DS} = percepatan spektra pada periode pendek, seperti yang ditentukan 6.3.

A_p = faktor amplifikasi elemen, bervariasi dari 1,00 sampai 2,50 (gunakan nilai yang sesuai dari Tabel 18 atau 19).

I_p = faktor keutamaan elemen, bervariasi dari 1 sampai 1,5 (Lihat 9.1.1).

W_p = berat operasional elemen.

R_p = faktor modifikasi respons elemen, bervariasi dari 1 sampai 12 (gunakan nilai yang sesuai dari Tabel 18 atau 19).

Z = tinggi struktur di mana elemen ditambatkan, diukur dari dasar. Untuk elemen di lantai dasar atau di bawah lantai dasar, z dapat diambil 0. Nilai untuk / hz tidak perlu lebih dari 1,0.

H = tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap.

Gaya (F_p) harus diterapkan secara independen pada sekurangnya dua arah horizontal yang ortogonal dan dikombinasikan dengan beban-beban layan yang bekerja pada elemen. Untuk sistem kantilever vertikal, gaya F_p harus diasumsikan bekerja di arah horizontal sebarang. Selain itu, elemen tersebut harus didesain untuk suatu gaya gempa vertikal sebesar r 0,2 DSWS p yang bekerja secara bersamaan dengan F_p . Faktor redundansi, U , dapat diambil sebesar 1 dan faktor kuat lebih, γ , tidak berlaku disini.

PENGECEUALIAN : Gaya gempa vertikal tidak perlu diperhitungkan untuk panel lantai dan langit-langit yang diletakkan tanpa tambahan.

Jika beban-beban non seismik pada elemen nonstruktural melebihi F_p , maka beban-beban tersebut akan menentukan perencanaan elemen berbasis kekuatan, tetapi ketentuan dan batasan detailing yang diberikan pada pasal ini harus tetap berlaku.

Sebagai ganti gaya-gaya yang ditentukan dengan Persamaan 64, percepatan pada sebarang tingkat dapat ditentukan dengan prosedur analisis ragam berdasarkan 7.9 dengan $R = 1,0$. Gaya gempa ditentukan :

$$F_p = \frac{a_i a_p W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)}$$

C. Kombinasi Beban Terfaktor dan Beban Layan

1. Kombinasi Pembebanan Dasar

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di

bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 0 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

- 1.4D
- 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r atau R)
- 1.2D + 1.6(L_r atau R) + (Latau 0.5W)
- 1.2D + 1W + L + 0.5(L_r atau R)
- 0.9D + 1W

PENGECEUALIAN: Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_o) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m², kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

2. Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik.

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(E_v, E_h)$ (pada 0 atau 0) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

- 1.2D + E_v + E_h + L
- 0.9D – E_v + E_h

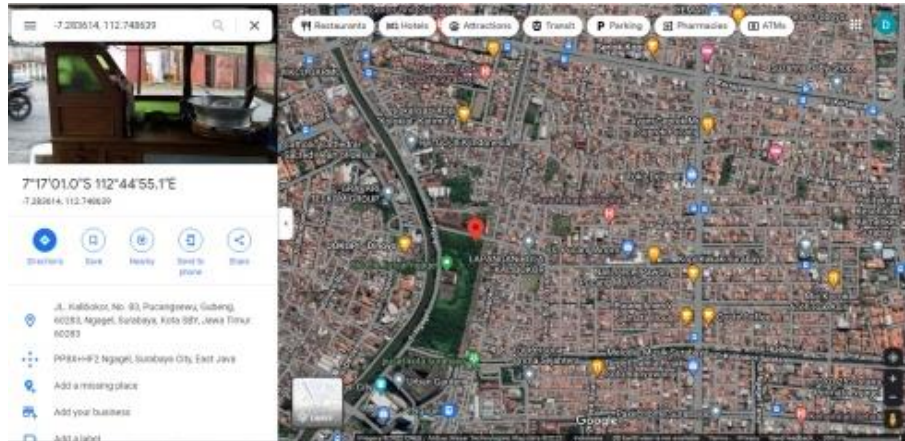
Apabila pengaruh beban seismik dengan kuat lebih yang ditinjau $E_m = f(E_v, E_{mh})$ (pada 0 atau 0) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah:

- 1.2D + E_v + E_{mh} + L
- 0.9D – E_v + E_{mh}

PENGECEUALIAN : Faktor beban untuk L pada kombinasi 6 diizinkan diambil sama

dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila L0 dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m², kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

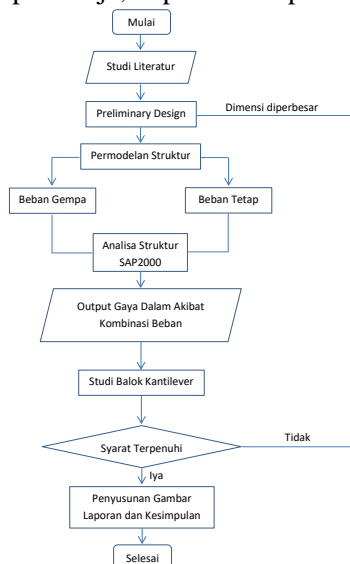
3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Lokasi Penelitian
 (Sumber : Google Maps)

B. Flow Chart

Flow chart adalah suatu bagan dengan simbol-simbol tertentu yang menggambarkan urutan proses secara mendetail dan hubungan antara suatu proses (instruksi) dengan proses lainnya dalam suatu program. Berikut adalah tahapan kerja, dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Flow Chart
 (Sumber : Pengolahan Data, 2020)

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berlokasi di Surabaya dengan garis lintang -7.283614 dan garis bujur 112.748639 dengan jenis tanah sedang. Dapat dilihat pada **Gambar 1** dibawah.

1) Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang dapat mendukung dan mendasari penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur didapat dari berbagai macam sumber seperti: jurnal, buku, dokumentasi, internet, pustaka, majalah dan dokumen-dokumen yang relevan dengan permasalahan yang dikaji.

2) Preliminary Design

Pada preliminary design ini yaitu menetapkan dimensi awal seperti panjang, lebar, mutu beton f_c' , mutu baja f_y dan lain sebagainya. Penentuan dimensi awal ini bertujuan agar kita dapat melakukan tahap selanjutnya yaitu permodelan struktur.

3) Permodelan Struktur

Pembuatan model struktur dengan menggunakan software SAP2000 V14. Dengan permodelan struktur ini bertujuan agar memudahkan dalam mendapatkan output gaya-gaya dalam.

4) Input Beban

A. Beban Tetap

Beban tetap yang dimaksud yaitu beban mati dan juga beban hidup. Beban mati adalah beban yang bekerja pada struktur tersebut

dimana beban tersebut tidak berubah-ubah beratnya. Sedangkan beban hidup adalah beban yang beratnya tidak dapat dipastikan, untuk mendapatkan beban hidup ini, kita dapat melihatnya di peraturan pembebanan.

B. Beban Gempa

Ada 2 jenis beban gempa, beban gempa horizontal dan beban gempa vertikal. Dalam pengaplikasian menggunakan sap2000 yaitu dengan menggunakan fitur beban gempa respon spectrum dengan memasukkan data gempa yang ada di wilayah tersebut. Untuk mendapatkan data gempa bisa melalui website "puskim.pu.go.id".

5) Analisa Struktur

Menganalisa dari hasil permodelan struktur dengan beban yang sudah terinputkan agar kita dapat melihat output gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur.

6) Output Gaya Dalam Akibat Kombinasi Beban

Kombinasi beban yang digunakan yaitu kombinasi beban ultimate dan kombinasi beban layan. Untuk kombinasi beban metode ultimate:

1. $1.4D$
2. $1.2D+1.6L+0.5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1.2D+1.6(L_r \text{ atau } R)+(L \text{ atau } 0.5W)$
4. $1.2D+1W+L+0.5(L_r \text{ atau } R)$
5. $0.9D+1W$
6. $1.2D+E_v+E_h+L$
7. $0.9D-E_v+E_h$
8. $1.2D+E_v+E_{mh}+L$
9. $0.9D-E_v+E_{mh}$

Untuk kombinasi beban metode tegangan izin:

1. D
2. $D+L$
3. $D+(L_r \text{ atau } R)$
4. $D+0.75L+0.75(L_r \text{ atau } R)$
5. $D+0.6W$
6. $D+0.75(0.6W)+0.75L+0.75(L_r \text{ atau } R)$
7. $0.6D+0.6W$

7) Studi Balok Kantilever

Output gaya dalam akibat kombinasi beban dianalisa dalam perhitungan excel balok kantilever, jika syarat tidak terpenuhi maka perbesar preliminary design hingga

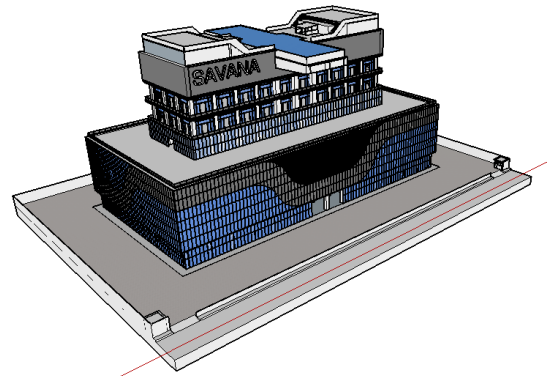
syarat terpenuhi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tahapan Perencanaan

1) Desain Eksterior 3D

Desain eksterior gedung mall dapat dilihat pada **Gambar 3** dibawah.



Gambar 3. Desain Eksterior

(Sumber : Desain eksterior sketchup, 2022)

Gedung mall memiliki jumlah lantai 11, dimana pada lantai 5, 10 dan lantai 11 berfungsi sebagai rooftop, dan untuk balok kantilever berada dilantai 9 dimana pada balok kantilever terbebani oleh kolam renang dengan tinggi air 1,75 m.

2) Data Gempa

Data gempa untuk wilayah surabaya dengan garis lintang -7.283614 dan garis bujur 112.748639 bisa dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Gempa

Tanah Sedang		
PGA (g)	=	0.327
Ss (g)	=	0.665
S ₁ (g)	=	0.249
C _{rs}	=	0.992
C _{r1}	=	0.928
F _{pga}	=	1.173
F _a	=	1.268
F _v	=	1.902
P _{sa} (g)	=	0.383
S _{ms} (g)	=	0.843
S _{m1} (g)	=	0.474
S _{ds} (g)	=	0.562
S _{a1} (g)	=	0.316
T0 (dtk)	=	0.112
Ts (dtk)	=	0.562

(Sumber : puskim.pu.go.id)

3) Plat Lantai

Untuk distribusi tegangan beton (β_1) sesuai dengan SNI 2847-2019 (Tabel 22.2.2.4.3 sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$$

Keterangan:
 f_c' = Mutu Beton

Dengan mencari momen retak (24.2.3.5b) :

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

Keterangan:
 f_r = Modulus retak beton (19.2.3.1)
 I_g = Inersia bruto
 y_t = Jarak dari sumbu pusat penampang bruto, yang mengabaikan tulangan ke muka tarik, mm.

Momen Inersia penampang retak yang di transformasi ke beton mm^4 (I_{cr}):

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c} \left[A_s + \frac{P_u h}{f_y 2d} \right] (d - c)^2 + \frac{l_w c^3}{3}$$

Keterangan:
 E_s = Modulus elastisitas baja
 E_c = Modulus elastisitas beton
 A_s = Luas tulangan tarik longitudinal nonprategang mm^2
 P_u = Gaya aksial terfaktor
 f_y = Mutu baja
 l_w = panjang seluruh dinding atau panjang segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser (mm)

Untuk momen inersia efektif I_e tidak boleh melebihi Inersia bruto I_g

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right) I_{cr}$$

Keterangan:
 M_{cr} = Momen retak
 M_a = Momen maksimum dalam komponen struktur akibat beban layan pada tahap defleksi (N-mm)

4) Balok

Faktor tahanan momen maksimum :

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \left[\frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right]$$

Keterangan:
 ρ_b = rasio tulangan pada kondisi balance
 f_y = mutu baja
 f_c' = mutu beton

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2}$$

Keterangan:
 M_n = kekuatan lentur nominal pada penampang (N-mm)

Momen nominal

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a; 2) \times 10^{-6}$$

Tahanan momen balok

$$\phi \times M_n$$

Keterangan:
 ϕ = faktor reduksi kekuatan

Kuat geser beton

$$V_c = \sqrt{f_c'} : 6 \times b \times d \times 10^{-3}$$

Tahanan geser beton

$$\phi \times V_c$$

5) Kolom

Penampang hanya memikul normal tekan

$$P_n = 0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}$$

Keterangan:
 A_g = luas bruto penampang beton (mm^2), untuk penampang berlubang A_g adalah luas beton saja dan tidak termasuk luas lubang
 A_{st} = luas total tulangan longitudinal nonprategang mm^2

Penampang hanya memikul normal tarik

$$P_n = -A_{st} \times f_y$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan, berdasarkan rumusan masalah pada BAB I, diantaranya sebagai berikut :

1. Dimensi balok kantilever dengan bentang 12 m, didapatkan dimensi dengan tinggi

(h) = 3 m dan lebar (b) = 1.6 m, dengan mutu beton 45 MPa, mutu baja ulir = 550 MPa dan mutu baja polos = 390 MPa, dengan diameter tulangan (\emptyset) ulir = 36 mm dan diameter tulangan (\emptyset polos = 16 mm.

2. Kontrol hasil perencanaan terhadap nilai-nilai standart SNI didapatkan sebagai berikut :

- Plat Lantai (Kolam)
 - Faktor tahanan momen (rencana) 1.33 mm < (batas ijin) 10.47 mm → OK
 - Lendutan (rencana) 23.83 mm < (batas ijin) 25 mm → OK
- Balok (Kantilever)
 - Faktor tahanan momen (rencana) 5.45 mm < (batas ijin) 10.25 mm → OK
 - Tahanan momen (rencana) 55850.49 kN-m < 56204.42 kN-m → OK
 - Lendutan (rencana) 0.0192 m < (batas ijin) 0.025 m → OK
 - Torsi (rencana) 12219.43 N-mm > (batas ijin) 11227.38 N-mm → OK
- Kolom

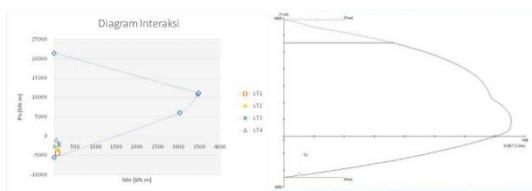


Diagram Interaksi (Ms. Excel)

Diagram Interaksi (SpColumn)

Gambar 4. Diagram Interaksi
 (Sumber: Ms. Excel, SpColumn)

Tabel 2. Perbandingan nilai Momen dan Beban Aksial (Data perhitungan Ms.Excel dan aplikasi SpColumn)

No	Uraian	Momen		Beban Aksial	
		Ms.Excel	Sp.Col	Ms.Excel	Sp.Col
1.	Minimal	0	0	-5545.55	-4912
2.	Dalam Keadaan Tarik	3021.31	1481	5971.26	572
3.	Dalam keadaan normal	3462.25	1368	10845.30	4404
4.	Dalam keadaan tekan	3472.92	733	11106.63	11012
5.	Maksimal	0	0	21416.63	13788

(Sumber: Ms. Excel)

B. Saran

Berdasarkan hasil analisa yang ditelaah dilakukan, penulis dapat memberikan saran, sebagai berikut: Untuk kantilever bentang panjang sebaiknya menggunakan jenis struktur beton prategang atau struktur baja komposit agar dimensi balok dapat di perkecil dengan beban yang sama.

6. DAFTAR PUSTKA

Istiono, heri., dan Letisia Khoe. 2020. Analisa Struktur Bangunan Tahan Gempa Dengan Kolam Renang Berdasarkan SNI 1726:2019. International Standard of Serial Number

Medriosa, Hamdeni., Fikri Azida Akbar. 2021. Analisa Struktur Gedung Irna (Instalasi Rawat Inap) Rumah Sakit Umum Pasaman Barat Menggunakan SNI Beton Bertulang 2847:2019 dan SNI Gempa 1726:2019. International Standard of Serial Number

Nelviwandi, Afri., Yurisman, dan Indra Farni. 2022. Analisa Diagram Interaksi Struktur Kolom Beton Bertulang Dengan Penampang Persegi Berdasarkan SNI 2847-2019. Universitas Bung Hatta.

Wiyata, Vianca, Niven., R. Abimata Daniswara, Sumirin, dan Muhammad Rusli Ahyar. 2020. Perencanaan Struktur Atas Tahan Gempa Hotel Laras Asri Salatiga Berdasarkan SNI 1726:2019. Prosiding Seminar Nasional.

Prasetya, Adi, Noerman., Ahmad Hernadi, dan Agung Nugroho. 2021. Studi Komparasi Perancangan Balok Struktural Berdasarkan SNI 2847:2002, SNI 2847:2013, SNI 2847:2019. International Standard of Serial Number.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara

Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung. SNI 1726:2019. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. SNI 2847:2019. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Argajogja. 2020. “Cara Menghitung Tulangan Torsi Dengan Menggunakan SAP2000”,

<http://blogargajogja.com/tutorial/cara-menghitung-tulangan-torsi-dengan-sap2000.html>, diakses pada 8 Juli 2022 pukul 08:00.