



# 4.26%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 17 JUL 2025, 10:29 AM

## Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
0.07%

● CHANGED TEXT  
4.18%

## Report #27529819

BAB I PENDAHULUAN 1.1. Latar Belakang Sebagai negara yang rentan terhadap bahaya gempa bumi, perancangan bangunan di Indonesia harus menerapkan desain tahan gempa. Dalam praktiknya, pendekatan desain berbasis kekuatan atau strength-based design (SBD) sering digunakan untuk melakukan analisis. SBD menerapkan konsep desain kapasitas yang menekankan ke prinsip Strong Column - Weak Beam (SCWB). SCWB adalah sistem struktur yang merancang kolom lebih kuat dari balok supaya saat gempa yang berkekuatan besar terjadi, sendi plastis terbentuk pada balok, bukan pada kolom. Kondisi ini diharapkan terjadi untuk menghindari keruntuhan bangunan mendadak tanpa memberikan waktu yang cukup untuk evakuasi. Prinsip SCWB ini merupakan bagian dari perkembangan desain struktur tahan gempa secara global. Di Jepang, regulasi pertama mengenai bangunan tahan gempa diberlakukan pada tahun 1919 setelah melalui pengalaman panjang dalam menghadapi gempa besar. Secara global, pengukuran percepatan tanah mulai dilakukan pada tahun 1930-an, sementara perhitungan respons gempa berkembang pada tahun 1940-an. Spektrum respons desain dirumuskan pada akhir 1950-an hingga 1960-an. Di Amerika Serikat, ketentuan struktural pertama untuk desain tahan gempa baru diterbitkan pada tahun 1959 melalui Blue Book, yang kemudian menjadi dasar bagi Uniform Building Code (UBC) dan International Building Code (IBC). 1 (Rahmantyo and Andayani 2019) (Teddy et al. 2019) (Gunawan, Han, and

Gan 2019; Kelly 2020; Otani 2004) Seiring dengan meningkatnya pemahaman terhadap perilaku struktur akibat gempa, analisis respons non-linear diperkenalkan dalam desain seismik pada tahun 1960-an, diikuti dengan penerapan konsep desain kapasitas secara umum pada tahun 1970-an. Namun, gempa-gempa besar terus menunjukkan adanya kelemahan dalam metode desain. Kode bangunan pun mulai beralih dari pendekatan preskriptif menuju pendekatan berbasis kinerja ( performance-based design , PBD) . Hingga saat ini, metode konvensional perancangan bangunan secara preskriptif mengacu pada SNI dengan pendekatan Strength-Based Design (SBD), namun tidak secara eksplisit menjelaskan tingkat kinerja struktur setelah gempa rencana . Standar ini terbatas pada penetapan hasil kinerja struktur yang memperbolehkan struktur untuk rusak akibat gempa rencana namun manusia selamat tanpa memberikan pilihan kinerja struktur yang lebih tinggi. Padahal, kerusakan struktural pasca gempa dapat berdampak ke kehidupan setelah gempa. Dampak kerugian yang paling nyata terlihat adalah kerugian material. Contoh dampak kerusakan yang dirasakan setelah gempa adalah rusaknya gedung Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi (STIE) Kerja Sama Yogyakarta karena gempa 5,9 sr pada tahun 2006 di Yogyakarta. Gedung ini mengalami kerusakan berupa soft story effect , yaitu terjadi pelemahan di tingkat bawah bangunan seperti Gambar 1.1. Akibat gempa tersebut, gedung STIE harus dirobohkan . Kasus gempa lainnya di

Indonesia, yaitu pada tahun 2009 di Sumatra Barat yang berkekuatan magnitudo 7,6 . Dampak paling parah dirasakan pada Kota Padang . Salah satu bangunan yang roboh adalah (Kelly 2020) (Febrianto and Putra 2024; Suryanto, Aminullah, and Saputra 2018) (Raharjo et al. 2007; Rezqiana 2022) (BPBD Kota Padang 2019) (Ikhlas, Husnita, and Zulfa 2022) Hotel Ambacang, hotel dengan 6 lantai yang dibangun pada tahun 2005 mengalami kerusakan yang dapat dilihat pada gambar 1.2 . Kerugian akibat gempa di Sumatra Barat ini diperkirakan mencapai Rp 21,6 triliun . Kondisi ini menunjukkan bahwa perancangan struktur tidak hanya perlu melindungi nyawa manusia tetapi juga mempertimbangkan keberlanjutan fungsi bangunan untuk meminimalkan dampak kerugian material pasca-gempa. Banyak pihak yang semakin sadar akan risiko gempa dan ingin mengetahui secara lebih pasti bagaimana kinerja bangunan mereka saat terjadi gempa. Dalam hal ini, metode Performance Based Design (PBD) memungkinkan analisis bangunan berdasarkan tingkat kinerja yang lebih definitif sehingga lebih memberikan kepastian kinerja struktur saat gempa rencana, yang penerapannya dapat mengacu ke ASCE 41-23 . Dengan kemajuan teknologi dan kecepatan komputasi saat ini, PBD menjadi semakin memungkinkan untuk diterapkan. Oleh karena itu, penelitian mengenai PBD masih sangat relevan dan perlu dikembangkan lebih lanjut, termasuk untuk bangunan di Indonesia. **39** 1.2. **39** **41** Rumusan Masalah Rumusan masalah yang diteliti adalah: 1. Bagaimana mendesain gedung secara preskriptif sesuai SNI 2847:2019? 2. Bagaimana mengevaluasi hasil desain preskriptif dengan pendekatan Performance-Based Design (PBD) sesuai ASCE 41-23? 3 (Ikhlas et al. 2022; Roa Roa dan Ambacang, Hotel yang Memakan Banyak Korban Usai Gempa 2018) (BNPB 2009) (Febrianto and Putra 2024) 3. Bagaimana perbandingan kinerja struktur gedung pada kategori desain seismik yang sama dengan perbedaan beban gempa yang signifikan? 1.3. **18** **40** Tujuan Penelitian Tujuan penelitian ini adalah: 1. Mendesain gedung secara preskriptif sesuai SNI 2847:2019 2. Mengevaluasi hasil desain preskriptif dengan pendekatan Performance-Based Design (PBD) sesuai ASCE 41-23. 3. Membandingkan kinerja

struktur gedung pada kategori desain seismik yang sama dengan perbedaan beban gempa yang signifikan. 1.4. Manfaat Penelitian Penelitian ini bermanfaat sebagai evaluasi hasil desain gedung bertingkat beton bertulang sesuai SNI 2847:2019 dengan pendekatan Performance-Based Design (PBD) sesuai ASCE 41-23. Melalui proses evaluasi ini, peneliti dapat memahami apakah desain yang mengikuti standar SNI memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan dalam ASCE 41-23. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan kinerja struktur gedung pada dua wilayah seismik yang berbeda, yaitu Kota Padang dan Kota Makasar, sehingga diharapkan dapat memberikan wawasan lebih luas kepada pembaca mengenai pengaruh perbedaan percepatan gempa terhadap kinerja struktur gedung. 1.5. Batasan Penelitian Batasan penelitian ini adalah: 1. Lokasi penelitian adalah di Padang dan Makasar 2.

42 Fungsi gedung sebagai gedung perkantoran. 3. Evaluasi hanya dilakukan pada primary components (komponen struktural utama pada struktur atas). 4. Pondasi tidak dimodelkan dalam analisis. 5. Analisis linier statik mengikuti Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen. 6. Desain gedung mengikuti ketentuan Pasal 6.3 7. Nilai damping adalah 5% dari critical damping 8. Analisis kinerja struktur menggunakan metode Nonlinear Static Procedure (NSP) sesuai dengan ketentuan dalam ASCE 41-23 9. Evaluasi kinerja struktur hanya mengacu pada tingkat gempa BSE-1N, tanpa mempertimbangkan kinerja pada tingkat gempa BSE-2N 5 BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Kajian Teori 2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berfungsi menahan momen lentur yang besar dengan prinsip Strong Column Weak Beam (SCWB). Prinsip ini mendesain sendi plastis terbentuk di balok, sehingga dapat terjadi disipasi energi gempa. Elemen struktur lain, seperti kolom dirancang lebih kuat agar tidak mengalami sendi plastis atau keruntuhan geser yang bisa berakibat fatal pada struktur. Bila kolom lebih kuat daripada balok, maka tidak terjadi keruntuhan mendadak. Tapi jika kolom lebih lemah, dapat terjadi soft story effect. 2.1.2 Sistem Ganda Sistem ini adalah sistem perpaduan antara SRPMK dan dinding geser. Namun, SRPMK disyaratkan dapat memikul

momen minimal 25% dari beban gempa ini untuk memastikan ada penahan gaya gempa tambahan sehingga dapat bangunan tetap mampu menopang beban layan setelah terjadi gempa besar, bahkan jika dinding geser mengalami kerusakan. 2.1.3 Peraturan SNI 1726:2019 SNI 1726:2019 adalah standar yang mengatur tentang perhitungan beban gempa, pemasukan beban gempa di struktur, dan cara mengecek bangunan apakah sudah kuat terhadap beban gempa atau belum, termasuk ketidakberaturan bangunan tersebut. Standar ini digunakan sebagai pedoman dalam merancang struktur tahan gempa di Indonesia.

1.1.3.1. Kategori Risiko Bangunan (Zachari and Turuallo 2020) (Zachari and Turuallo 2020) Kategori ini dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan pemanfaatan bangunan tersebut. Pembagian ini terdapat di tabel 2.1 di bawah ini. Kategori risiko ini menentukan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) yang dijabarkan pada Tabel 2.2.

1.1.3.2. Klasifikasi Situs Klasifikasi ini ada berdasarkan tanah tempat terbangunnya gedung yang dikaji. Klasifikasi situs diuraikan dalam Tabel 2.3 berikut.

1.1.3.3. Parameter Percepatan Gempa Dalam perancangan bangunan yang tahan gempa, dua parameter utama adalah  $S_s$  dan  $S_1$ . **13 27** Nilai  $S_s$  adalah percepatan respon spektral periode pendek (0,2 detik). Sementara  $S_1$  adalah percepatan respon spektral pada periode 1. Kedua nilai ini diperoleh dari peta percepatan spektral tanah berdasarkan kemungkinan terjadinya gempa besar (Maximum Considered Earthquake, MCER).

1.1.3.4. Koefisien Kelas Situs Dalam menghitung respons percepatan gempa untuk kondisi maksimum (MCER), diperlukan dua faktor penyesuaian, yaitu  $F_a$  untuk periode pendek dan  $F_v$  untuk periode 1 detik. Kedua faktor ini berfungsi untuk mengoreksi nilai percepatan spektral berdasarkan jenis tanah di lokasi struktur. Penyesuaian ini menghasilkan nilai  $S_{MS}$  (percepatan spektral periode pendek yang telah dikoreksi berdasarkan kondisi tanah) dan  $S_{M1}$  (percepatan spektral pada periode 1 detik yang juga telah dikoreksi).

1.1.3.5. **3 5 19** Parameter percepatan spektral desain Nilai percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi

respons bangunan terhadap beban gempa. 1.1.3.6. Kategori desain seismik

Penentuan kategori desain seismik mengacu pada kombinasi antara nilai  $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$ , dan tingkat risiko struktur. Bangunan dengan parameter percepatan spektral dan klasifikasi risiko yang lebih tinggi akan termasuk dalam kategori desain seismik yang lebih tinggi pula. Hal ini berdampak pada peningkatan persyaratan teknis yang harus dipenuhi agar struktur memiliki ketahanan yang memadai terhadap gaya gempa. 1.1.3.7. Periode Alami Struktur Periode alami suatu struktur ( $T$ ) dapat diperoleh melalui hasil analisis menggunakan perangkat lunak Robot Structural Analysis Pro, dengan ketentuan bahwa nilai tersebut tidak boleh melebihi batas maksimum yang ditentukan, yaitu hasil perkalian antara koefisien batas atas periode ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), sebagaimana tercantum dalam Nilai periode alami struktur yang digunakan untuk desain dan analisis drift, ditentukan dengan syarat yang ada di 1.1.3.8. Gaya Geser Dasar Gempa Besarnya gaya geser dasar akibat aktivitas seismik dihitung dengan menggunakan Untuk menentukan koefisien respons gempa ( $C_s$ ), perhitungan dilakukan berdasarkan ketentuan dalam Persamaan 2.8. Setelah nilai  $C_s$  diketahui, langkah selanjutnya adalah mendistribusikan gaya gempa ke tiap tingkat bangunan sebagai gaya lateral ( $F_x$ ), yang besarnya dihitung sesuai Dengan faktor distribusi vertikal ( $C_{vx}$ ) didapat dari 1.1.3.9. Simpangan Antar Lantai Simpangan ini awalnya dihitung dari hasil analisis elastik linier yang menghasilkan elastic displacement, yaitu perpindahan struktur akibat gempa desain tanpa mempertimbangkan perilaku inelastik. Untuk memperkirakan perpindahan aktual saat terjadi gempa besar, simpangan elastik ini perlu dikalikan dengan faktor  $C_d$  (displacement amplification factor) dan dibagi oleh faktor keutamaan. Hasil perkalian ini disebut sebagai amplified displacement, yang digunakan untuk memastikan drift yang dialami struktur masih dalam batas aman. 1.1.3.10. Efek P-Delta Efek P-Delta merupakan tambahan pengaruh yang timbul akibat interaksi antara beban aksial ( $P$ ) dengan perpindahan lateral ( $\Delta$ ), sehingga menghasilkan

momen tambahan yang dapat memengaruhi kestabilan struktur. Berdasarkan standard, pengaruh P-Delta boleh diabaikan jika nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ) kurang dari atau sama dengan nol. Nilai  $\theta$  sendiri dihitung melalui Keterangan:  $P_x$  = gaya aksial tekan vertikal di tingkat tersebut  $\Delta$  = simpangan antar lantai  $V_x$  = gaya geser seismik  $h$   $s_x$  = tinggi tingkat  $C_d$  = faktor pembesaran gempa Struktur perlu didesain ulang apabila nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ) melebihi batas stabilitas struktur ( $\theta_{max}$ ) yang dihitung dengan Keterangan:  $\beta$  = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser, diizinkan bernilai

#### 1 2.1.4 Spesifikasi Perencanaan Elemen Pemikul Beban Gempa (SNI

2847:2019) 2.1.4.1. Balok Balok merupakan elemen struktural yang berperan

dalam meneruskan momen lentur ke kolom. 2 11 20 29 Pada Sistem Rangka Pemikul

Momen Khusus (SRPMK), terdapat ketentuan-ketentuan perencanaan khusus untuk

balok, antara lain: 1. Persyaratan Tulangan Lentur Beberapa ketentuan utama

untuk tulangan lentur balok SRPMK meliputi: a. Luas tulangan tarik

atas dan bawah masing-masing harus lebih besar dari luas minimum b. 23 Batas

maksimum rasio tulangan lentur ( $\rho$ ) ditentukan sebesar 2,5% c. Harus

terdapat paling sedikit dua batang tulangan atas dan dua batang

tulangan bawah yang dipasang secara menerus di sepanjang bentang balok. 2.

Persyaratan Tulangan Transversal Persyaratan yang harus dipenuhi untuk

pemasangan tulangan Sengkang, seperti yang terlihat Persyaratan Kuat Geser

Untuk menentukan gaya geser ultimit yang harus ditahan balok akibat

gempa dihitung dengan Momen kapasitas ujung dihitung menggunakan kuat

tarik tulangan yang dikalikan dengan faktor kekuatan bahan sebesar 1 .

Pada area kritis seperti zona plastis (yakni sepanjang  $2h$  dari muka

kolom), perencanaan geser harus dilakukan dengan asumsi kontribusi beton

terhadap geser diabaikan, apabila: 2.1.4.2. 33 Kolom Kolom adalah elemen

penting dalam menjamin kestabilan keseluruhan bangunan. Kerusakan pada kolom

dapat memicu runtuhnya satu lantai atau bahkan menyebabkan keruntuhan

progresif. Oleh karena itu, desain kolom SRPMK harus memenuhi

persyaratan sebagai berikut: 1. 1 Persyaratan Geometri a. Ukuran penampang

minimal 300 mm. b. 1 2 34 Rasio antara dimensi terkecil terhadap dimensi yang tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

2. Persyaratan Tulangan Lentur Prinsip SCWB total momen lentur nominal dari kolom di atas dan di bawah sambungan harus minimal 1,2 kali jumlah momen lentur nominal dari balok kiri dan kanan, seperti 3. Persyaratan Tulangan Transversal Sebelum mendesain tulangan transversal, perlu diketahui terlebih dahulu panjang sendi plastis pada kolom. Sendi plastis ditentukan sepanjang  $l$  dari muka tumpuan di atas dan di bawah. Kekangan (confinement) pada sepanjang zona sendi plastis diambil dari nilai maksimal antara 4. Persyaratan Kuat Geser Untuk zona sendi plastis, perhitungan gaya geser dilakukan dengan Dengan nilai  $M_{pr}$ , atas dan  $M_{pr}$ , bawah 11 diambil dari diagram interaksi dengan nilai  $f_y$  diganti menjadi  $f_{pr} = 1,25 f_y$ . Kapasitas geser dari tulangan ( $V_s$ )  $V_u =$  diambil dari nilai terbesar antara output software atau  $V_u$  desain  $V_c =$  dicari dengan  $N_u =$  gaya tekan terkecil hasil semua kombinasi beban Setelah menghitung nilai  $V_s$ , Jika  $V_s > 0$ , maka luas tulangan geser sesuai dengan Nilai  $A_v s$  diambil dari nilai terbesar diantara 2 syarat nilai minimum pada  $A_v s$  ini menjadi syarat tambahan yg harus dipenuhi selain syarat confinement. Namun jika nilai  $V_s = 0$ , maka hanya perlu memenuhi syarat confinement.

2.1.4.3. Pelat Lantai Pelat lantai adalah elemen struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban ke balok. Saat mendesain tulangan, pelat diibaratkan sebagai balok yang lebarnya 1000 mm karena perhitungan momen pada pelat dinyatakan per meter lebar pelat. Kapasitas momen pelat dihitung seperti balok, tapi perbedaannya adalah pelat menyalurkan beban dalam dua arah, yaitu arah sumbu X dan sumbu Y. Momen yang digunakan untuk mendesain tulangan lentur adalah  $M_{xx}$  yang merupakan momen lentur pada sumbu X dan  $M_{yy}$  yang merupakan momen lentur pada sumbu Y. Jadi sebagai berikut:

- $M_{xx} \max$  (positif): Momen lapangan bawah arah X → untuk menentukan kebutuhan tulangan di lapangan bawah arah X.
- $M_{xx} \min$  (negatif): Momen tumpuan atas arah X → untuk menentukan kebutuhan tulanga

n di tumpuan atas arah X. - Myy max (positif): Momen lapangan bawah arah Y → untuk menentukan kebutuhan tulangan di lapangan bawah arah Y. - Myy min (negatif): Momen tumpuan atas arah Y → untuk menentukan kebutuhan tulangan di tumpuan atas arah Y. Dalam desain tulangan, tulangan lapangan bawah didesain untuk menahan momen positif dan tulangan tumpuan atas didesain untuk menahan momen negatif. Sedangkan tulangan lapangan atas dan tumpuan bawah, momen seringkali mendekati nol. Oleh karena itu, di area ini cukup diberikan tulangan minimum. Pelat lantai juga perlu dicek terhadap lendutan seketika akibat beban hidup dan lendutan jangka panjang akibat beban mati. Syarat lendutan seketika izin terdapat pada 2.1.4.4. Dinding Geser Dinding geser adalah elemen struktural yang memiliki inersia penampang yang besar dibandingkan dengan kolom. Hal ini membuat dinding geser dapat menambahkan kekakuan lateral dari bangunan sehingga dapat mengurangi simpangan yang terjadi. Dalam mendesain dinding geser, Langkah pertama yang dibutuhkan adalah menghitung kebutuhan tulangan minimum. Tulangan minimum paling tidak mampu menghasilkan kapasitas geser nominal sebesar gaya geser 13 ultimate dibagi dengan  $\phi$ . Berdasarkan nilai kapasitas geser nominal tersebut, dapat ditentukan apakah dinding geser termasuk dalam zona 1, 2, atau 3. 1. Zona 1 Dinding geser masuk ke zona 1 apabila nilai. Syarat rasio tulangan longitudinal dinding geser adalah:  $\geq 12\%$  untuk tulangan D16 atau lebih kecil  $\geq 15\%$  untuk tulangan D19 atau lebih besar Sedangkan syarat rasio tulangan transversal adalah  $\geq 2\%$  untuk tulangan D16 atau lebih kecil  $\geq 25\%$  untuk tulangan D19 atau lebih besar 2. Zona 2 Jika nilai  $V u \phi$  yang dipikul oleh dinding geser, diantara  $0,083 A_{cv} \sqrt{f_c'}$  dan  $0,17 A_{cv} \sqrt{f_c'}$ , rasio tulangan longitudinal dan transversalnya harus di atas  $25\%$ . 3. Zona 3 Jika  $V u \phi$  di atas  $0,17 A_{cv} \sqrt{f_c'}$ , rasio tulangan longitudinal dan transversalnya juga harus di atas  $25\%$  dan harus dibuat 2 lapis tulangan. Rasio tulangan longitudinal dan transversal diperoleh dari Persamaan 2.30. Kapasitas

lentur dinding geser dapat dilihat menggunakan diagram interaksi sedangkan kapasitas geser. Jadi, nilai kapasitas geser yang dipakai adalah nilai terkecil diantara kedua nilai kapasitas geser tersebut.

### 2.1.5 Analisis Pushover

Analisis pushover merupakan salah satu metode dalam pendekatan desain berbasis kinerja. **10 17** Metode ini dilakukan dengan memberikan beban lateral statik secara bertahap pada struktur, besarnya ditingkatkan secara berurutan hingga struktur mencapai simpangan target atau mengalami kegagalan. Dari proses ini, diperoleh data berupa base shear dan simpangan lateral yang kemudian digunakan untuk membentuk kurva kapasitas. Kurva ini merepresentasikan perilaku struktur terhadap beban gempa secara menyeluruh. Selain itu, analisis ini juga memungkinkan identifikasi tingkat kinerja bangunan melalui performance point, yaitu titik perpotongan antara kurva kapasitas struktur dan kurva permintaan gempa. Di samping itu, analisis pushover juga dapat menunjukkan lokasi serta urutan elemen struktural yang mengalami kerusakan melalui pembentukan sendi plastis.

### 2.1.6 ASCE 41-23 Standard

Standard ini berkembang dari FEMA 273 dan FEMA 356, dan pertama kali diterbitkan pada tahun 2006 dengan nama ASCE/SEI 41-06. ASCE 41 menyusun metodologi evaluasi dan perancangan dengan pendekatan performance-based design. Evaluasi dalam ASCE 41 dapat dilakukan dengan pemodelan linier atau nonlinier serta menggunakan pendekatan statik atau dinamik dalam menilai kinerja struktur terhadap gempa. **38** Pada penelitian ini, evaluasi akan dilakukan dengan metode analisis statik nonlinear. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menilai apakah desain perkuatan yang direncanakan telah memenuhi standar kinerja yang ditetapkan.

#### 2.1.6.1 Kinerja Seismik

Kinerja seismik adalah tingkat performa struktur terhadap gempa rencana yang dievaluasi berdasarkan tingkat kerusakan pada struktur akibat gempa rencana. Dalam desain bangunan tahan gempa, kinerja struktur mencerminkan sejauh mana bangunan dapat tetap berfungsi sesuai dengan tingkat kerusakan yang diizinkan setelah mengalami gempa rencana. Kinerja 15 (Cook and Liel 2020) (Sen et al. 2023) seismik dirancang dengan mempertimbangkan fungsi bangunan serta

faktor ekonomis, sehingga tidak hanya berfokus pada keselamatan penghuni, tetapi juga pada batas kerusakan yang dapat diterima serta kemampuan bangunan untuk tetap beroperasi pasca-gempa . 2.1.6.2 Tingkat Kinerja Seismik Elemen Struktur Berdasarkan ASCE 41-23, tingkatan kinerja seismik elemen struktur adalah sebagai berikut: 1. **32** Immediate Occupancy (IO) Struktur tetap aman dan dapat beroperasi kembali setelah gempa 2. Life Safety (LS) Kondisi bangunan rusak namun tidak runtuh masih mempunyai kekuatan cukup untuk memikul beban supaya manusia dapat menyelamatkan diri 3. Collapse Prevention (CP) Kondisi bangunan berada di ambang batas keruntuhan total

2.1.6.3 Tingkat Bahaya Gempa untuk Gedung Baru Tingkat gempa yang digunakan untuk bangunan baru menurut standar ASCE 41-23 adalah BSE-1N ( Basic Safety Earthquake-1 for New Buildings ) dan BSE-2N ( Basic Safety Earthquake-2 for New Buildings ). Namun pada penelitian ini hanya Menggunakan BSE-1N yang besarnya adalah dua per tiga dari MCE R . 2.1.6.4 Target Kinerja Seismik Elemen Struktur Target kinerja seismik elemen struktur diatur pada pasal 2.4.5 seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.12 di bawah. 2.1.6.5 Practical Approach for Nonlinear Modeling of Structures (Tavio and Wijaya 2018) Terdapat 3 cara pemodelan nonlinear pada struktur : 1. Nonlinear Modeling of Material, yaitu metode yang mendefinisikan perilaku inelastis pada tingkat material. Metode ini biasanya dimodelkan menggunakan pendekatan fiber modeling. 2. Nonlinear Modeling of Cross Sections, yaitu metode yang mendefinisikan perilaku inelastis pada tingkat penampang lintang. Metode ini menggunakan pendekatan plastic hinges 3. Nonlinear Modeling of Members, yaitu metode yang mendefinisikan perilaku inelastis pada tingkat elemen struktur secara keseluruhan. Metode ini juga menggunakan pendekatan plastic hinges Pada penelitian ini, pemodelan nonlinear pada elemen balok beton bertulang dilakukan dengan nonlinear modeling of cross sections, pendekatan plastic hinge modeling . Metode ini memodelkan perilaku sendi plastis pada ujung-ujung elemen lentur. Dalam pendekatan ini, sendi plastis didefinisikan secara manual berdasarkan standar menggunakan sendi tipe M3,

yaitu tipe moment-rotation yang digambarkan dalam bentuk kurva tulang punggung ( backbone curve ). Backbone curve memiliki lima titik karakteristik, yaitu titik A, B, C, D, dan E, untuk masing- masing arah positif dan negati : - Titik A merupakan kondisi awal sebelum terjadi deformasi. - Titik B menunjukkan kondisi leleh ( yielding ) - Titik C merupakan kapasitas maksimum elemen (kapasitas ultimit), - Titik D menunjukkan kekuatan sisa ( residual strength ), dan - Titik E adalah titik kegagalan total komponen. Kurva tulang punggung ini dapat diperoleh. Standar ini menyediakan parameter pemodelan serta kriteria penerimaan (Mazhar et al. 2021) f seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. (Septhia et al., 2024) untuk berbagai elemen struktur, termasuk balok. Parameter tersebut mencakup: 1. Parameter pemodelan Parameter pemodelan berupa nilai rotasi plastis untuk tiga titik acuan: titik leleh (a), kapasitas maksimum (b), dan kekuatan sisa (c). Nilai parameter ini digunakan untuk mengisi Tabel 2.13. 2. Kriteria penerimaan Kriteria penilaian merupakan batas rotasi plastis yang diperbolehkan untuk mencapai tiga tingkat kinerja struktur, yakni: - Immediate Occupancy (IO), - Life Safety (LS), dan - Collapse Prevention (CP). 2.1.6.6 Kurva Kapasitas Kurva kapasitas merupakan hasil dari analisis NSP dalam Performance Based Design (PBD). 1 5 10 11 13 17 25 37 Kurva ini menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan. 13 25 Kurva ini memperlihatkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan lateral maksimum. 10 Proses pembentukan kurva diawali dengan pembebanan lateral secara bertahap, yang terus ditingkatkan hingga struktur mencapai kondisi simpangan tertentu atau pola keruntuhan yang signifikan. Pada setiap tahap pembebanan, data gaya geser dan simpangan puncak direkam dan digunakan untuk membangun kurva kapasitas, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.6 . 2.1.6.7 Target Perpindahan untuk Nonlinear Static Procedure Pada struktur bangunan yang memiliki diafragma lantai kaku di setiap tingkat, (Laila, Nurmaidah, and Hermansyah 2024; Septianto, Christianto, and Pranata 2019) Keterangan:  $S_a$  = nilai percepatan respons spektral pada period

e fundamental efektif  $g$  = Percepatan gravitasi  $C$  = Faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan spektral dari sistem dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) yang setara ke perpindahan atap sistem dengan derajat kebebasan ganda (MDOF) bangunan, yang dihitung menggunakan salah satu prosedur berikut: - Mode pertama mass participation factor dikalikan dengan ordinat dari mode shape pertama di node kontrol - Mass participation factor yang dihitung menggunakan vektor bentuk yang sesuai dengan bentuk bangunan yang terdefleksi pada target perpindahan dikalikan dengan ordinat dari vektor bentuk tersebut di node kontrol.

$C_1$  = Faktor untuk menyesuaikan antara perpindahan maksimum inelastik yang diharapkan dengan perpindahan hasil analisis elastik linear, sebagaimana dihitung melalui Persamaan 2.34. Bila periode  $T_e$  lebih besar dari periode transisi  $T_s$ , maka nilai  $C_1$  dapat diambil sebesar 1,0. Untuk periode kurang dari 0,2 detik, nilai  $C_1$  tidak boleh melebihi nilai yang diperoleh pada  $T = 0,2$  detik. Sementara untuk periode lebih dari 1,0 detik, nilai  $C_1$  ditetapkan sebesar 1,0.

$C_2$  = Faktor yang mencerminkan pengaruh bentuk lengkung histeretik, degradasi kekakuan akibat siklus pembebanan, serta penurunan kekuatan material. Nilai ini dihitung menggunakan Persamaan 2.35. Untuk struktur dengan periode lebih dari 0,7 detik,  $C_2$  dianggap sama dengan 1,0.

$\mu$  = ditentukan berdasarkan kelas situs = 130 untuk kategori A atau B = 90 untuk kategori C = 60 untuk kategori D, E, atau F

$T_e$  = Periode fundamental efektif struktur dalam arah analisis, dinyatakan dalam satuan detik.

$\mu$  strength = Rasio kebutuhan kekuatan elastis terhadap koefisien kekuatan leleh, dapat dihitung dengan Persamaan 2.36.

$V_y$  = Gaya geser dasar saat struktur mulai yield

$W$  = Berat seismik efektif

$C_m$  = Faktor massa efektif, dapat mengacu ke Gambar 2.7.2.

2 Penelitian Terdahulu Penelitian-penelitian yang dapat memudahkan peneliti dalam memahami permasalahan secara luas antara lain adalah sebagai berikut: 1. Desain Ulang Struktur Gedung Kelas & Lab Pupr Semarang Menggunakan Performance Based Design a. Peneliti Akhmad Khairil, Wahiddin,

Anisah Nur Fajarwati (2024) b. Lokasi Semarang c. Ringkasan Penelitian ini bertujuan untuk mendesain ulang struktur Gedung Kelas & Lab PUPR Semarang sesuai ASCE 41-17 d. Metodologi (Khairil and Fajarwati 2024) Penelitian dilakukan dengan bantuan software ETABS, dimulai dengan preliminary design , memasukkan beban, pengecekan dengan SNI 1726:2019, dan analisis nonlinear time history untuk mendapat drift ratio sehingga dapat mengetahui level kinerja e. Parameter Desain elemen struktur dan kinerja seismik struktur gedung f. Hasil Penelitian Didapatkan dimensi elemen struktur dan tulangan hasil desain ulang dan diketahui kinerja struktur serta drift ratio untuk beban gempa BSE-1N (gempa 225 tahun) dan BSE- 2N (gempa 975 tahun) 2. Implementing the performance-based seismic design for new reinforced concrete structures: Comparison among ASCE/ SEI 41, TBI, and LATBSDC a. Peneliti Siamak Sattar, Anne Hulse, Garrett Hagen, Farzad Naeim, dan Steven McCabe (2021) b. Lokasi Los Angeles c. Ringkasan Studi ini membandingkan tiga standar untuk Performance- Based Seismic Design (PBSD), yaitu ASCE 41-17, TBI Guidelines , dan LATBSDC Procedure untuk bangunan beton bertulang Kategori Risiko II. d. Metodologi Penelitian ini menggunakan metode perbandingan yang dilakukan pada aspek filosofis, tingkat kinerja struktur, rekomendasi pemodelan, rekomendasi analisis, dan kriteria penerimaan dari ketiga standar. 21 (Sattar et al. 2021) e. Parameter Perbedaan metode dari ketiga standar f. Hasil Penelitian Meskipun memiliki kesamaan, ketiga standar ini berbeda dari pengembangan model simulasi, perhitungan kebutuhan dan kapasitas elemen, dan kriteria penerimaan kinerja struktur bangunan. 3. Non-linear analysis of seismic performance of low-rise concrete buildings in Indonesia g. Peneliti Riza Suwondo, Dave Mangindaan, Lee Cunningham, Sohaib Alama (2021) h. Lokasi Indonesia i. Ringkasan Penelitian ini menyelidiki kinerja seismik bangunan beton bertulang 2 tingkat yang dirancang sesuai dengan Standar Indonesia untuk kriteria Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS) j. Metodologi Analisis linier dan nonlinier pada bangunan beton bertulang 2

tingkat menggunakan bantuan software ETABS. Evaluasi bangunan dengan pendekatan kontrol perpindahan. k. Parameter Rasio simpangan maksimum antar lantai untuk BSE-1N dan BSE-2N I. Hasil Penelitian Bangunan tersebut telah memenuhi kriteria Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS) (Suwondo et al. 2021) 23 BAB III METODE PENELITIAN 3.1 Objek Penelitian Objek dari penelitian ini adalah model struktur gedung arketipe beton bertulang bertingkat yang didesain secara preskriptif sesuai dengan dengan pendekatan prosedur gaya lateral ekivalen. Penelitian ini berfokus pada evaluasi dan perbandingan kinerja struktur berdasarkan analisis nonlinear static procedure ( pushover ) sesuai dengan. Gedung yang dianalisis memiliki konfigurasi dan dimensi yang sama, namun dianalisis pada dua wilayah seismik yang berbeda dengan kategori desain seismik yang sama, yaitu Kota Padang dan Kota Makasar, untuk mengetahui pengaruh perbedaan risiko gempa terhadap kinerja struktur. Evaluasi kinerja hanya dilakukan pada tingkat gempa BSE-1N untuk masing-masing lokasi. 3.2 Metode Penelitian Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi desain model bangunan dengan pendekatan kuantitatif. Metode ini dipilih karena penelitian difokuskan pada evaluasi hasil desain struktur bangunan yang didasarkan pada standar. Metode ini bersifat kuantitatif karena hasil penelitian berupa data numerik dari analisis struktur, seperti gaya-gaya dalam, dimensi elemen struktur, penulangan elemen, dan tingkat kinerja seismik. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengevaluasi hasil desain metode konvensional dengan Performance-Based Design (PBD) serta untuk membandingkan kinerja struktur pada Kota Padang dan Kota Makasar. 3.3 Metode Pengumpulan Data Penelitian ini menggunakan arketipe bangunan sebagai model bangunan yang dirancang. Penggunaan arketipe bertujuan untuk menyederhanakan proses desain dan evaluasi menggunakan model yang memiliki karakteristik gedung yang realistis. Dengan demikian, penelitian dapat lebih terfokus pada evaluasi hasil desain struktur. Model Gedung yang digunakan adalah gedung 8 tingkat. Gedung ini memiliki 3x5 bentang dengan panjang antar

bentang adalah 5 meter. Tinggi Tingkat pada lantai 1 adalah 4,5meter sedangkan tinggi Tingkat pada lantai 2-8 adalah 3 meter, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. **11** Pada arah X, struktur gedung dilengkapi dengan dinding geser yang dilambangkan dengan garis merah, sedangkan pada arah Y, struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). 3.4 Metode Analisis Data Analisis data akan dilakukan dengan memodelkan bangunan dan menganalisis struktur menggunakan bantuan software Autodesk Robot Structural Analysis Professional versi 2024 dengan lisensi yang didapatkan dari dosen pembimbing. Tahapan analisis data adalah sebagai berikut: 1. Memodelkan bangunan pada software . 2. Memasukkan beban dan kombinasi beban 3. **35** Mendesain elemen struktur gedung dengan ketentuan SRPMK pada SNI 2847:2019 4. Melakukan analisis pushover pada software untuk kedua model (Padang dan Makasar) 5. Mengevaluasi hasil capacity curve dengan ASCE 41-23 6. Membandingkan hasil evaluasi kinerja seismik antara model Padang dan Makasar, serta menarik kesimpulan terkait pencapaian target kinerja struktur. 25 3.5 Diagram Alir Penelitian BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 4.1. **24** Spesifikasi Material Beton Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) yang digunakan untuk balok dan kolom adalah 35 MPa, sedangkan pelat lantai menggunakan mutu beton 30 MPa dan dinding geser menggunakan mutu beton 21 MPa. Baja tulangan Tulangan ulir : 420 MPa (BjTS 420) untuk tulangan utama Tulangan polos : 300 MPa (BjTP 280) untuk tulangan sengkang 4.2. Preliminary Design 1. Balok dan Sloof Tinggi dan lebar minimum balok non-prategang untuk bentang 5 meter dapat ditentukan berdasarkan rule of thumb sebagai berikut:  $h = 1/12 \times 5000 \text{ mm} = 416,67 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$   $b = 1/2 \times 450 \text{ mm} = 225 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$  Untuk kondisi perlekatan sederhana, tinggi minimum balok dihitung dengan  $500 \text{ mm} > 312,5 \text{ mm}$  Maka tinggi minimum balok yang digunakan sudah memenuhi persyaratan yang berlaku 2. Pelat Lantai Tipe pelat lantai dapat ditentukan dengan melihat ketentuan di bawah ini: 27 Jika  $L_y/L_x < 2$ , tipe pelat dua arah Jika  $L_y/L_x \geq 2$ , tipe pelat satu arah Dikarenakan panjang bentang bangunan yang diteliti semuanya 5 meter, maka  $L_y/L_x = 1$ .

REPORT #27529819

Sehingga tipe pelat adalah pelat dua arah ketebalan minimum pelat dua arah non prategang dan ditopang oleh balok pada keempat sisinya, dijelaskan pada Tabel 4.2 berikut Asumsi awal:  $h_f$  (tebal pelat) = 120 mm Balok 250 x 500mm  $b_w = 250$ mm  $h_b$  (tinggi dari balok dikurang teba l pelat) = 500mm - 120mm = 380mm  $b_e = b_w + 2 h_b \leq b_w + 8 h_f$   
 $= 250 \text{ mm} + (2 \times 380 \text{ mm}) \leq 250 \text{ mm} + (8 \times 120 \text{ mm}) = 1010 \text{ mm} \leq 1210 \text{ mm}$  Gunakan  $b_e = 1010$ mm Menentukan titik berat penampang  $y$  dari balok T Luas Bidang 1 =  $b_e \times h_f = 1010 \times 120 = 121200 \text{ mm}^2$  Luas Bidang 2 =  $b_w \times h_b = 250 \times 380 = 95000 \text{ mm}^2$  Luas total =  $121200 \text{ mm}^2 + 95000 \text{ mm}^2 = 216200 \text{ mm}^2$  Titik berat penampang  $y$   
 $= (l_{uassayap} \times \text{titik berat sayap}) + (l_{uasbadan} \times \text{titik berat badan})$  Luas total  $y = (121200 \text{ mm}^2 \times 60 \text{ mm}) + (95000 \text{ mm}^2 \times (120 \text{ mm} + 380 \text{ mm})) / 216200 \text{ mm}^2 = 169,852 \text{ mm} = 170 \text{ mm}$  Momen inersia total balok and slab  $I_b = (1/12 \times 1010 \text{ mm} \times 120^3 + 121200 \times 110^2) + (1/12 \times 250 \text{ mm} \times 380^3 + 95000 \times 80^2)$   $I_b = 3363126667 \text{ mm}^4$  Momen inersia pelat  $I_s = (1/12 \times b \times h^3)$   $I_s = (1/12 \times (5000 - 250^2 - 250^2) \times 120^3)$   $I_s = 684000000 \text{ mm}^4$   $a_{fm} = E_b \times I_b / E_s \times I_s = 4700 \sqrt{35} \times 3363126667 / 4700 \sqrt{35} \times 684000000 = 4,91$  Persamaan untuk mencari nilai  $\beta$  adalah sebagai berikut  $\beta = (5000 - 250^2 - 250^2) / (5000 - 250^2 - 250^2) = 1$  Karena  $a_{fm} > 2$ , maka digunakan persamaan berikut untuk mencari tebal plat minimum adalah  $h = \ln(8 + f_y / 1400) / (36 + 9\beta) \times (5000 + 250) / (8 + 420 / 1400) / (36 + 9)$   
 $= 128,33 \text{ mm}$  Maka ketebalan pelat lantai yang digunakan adalah 150 mm 29.3. Kolom Dimensi kolom dapat dicari dengan menghitung beban gravitasi yang harus dipikul kolom. Persamaan rule of thumb adalah sebagai berikut.  $A_g \geq P_u / (0,35 \times f_c')$  Dimensi kolom  $A_g \geq P_u / (0,35 \times f_c') \geq 2128,7 \text{ kN} / (0,35 \times 35 \text{ N/mm}^2) \geq 2128700 \text{ N} / (0,35 \times 35 \text{ N/mm}^2)$   $b^2 \geq 202733,33 \text{ mm}^2$   $b \geq 450,26 \text{ mm}$  Maka, dimensi kolom adalah 500 x 500mm Jika dicek, dimensi penampang kolom terkecil  $(b)$  minimal 300mm, dan rasio dimensi penampang terkecil  $(b)$  dan

penampang tegak lurusnya ( $h$ ) minimal  $0,4 \cdot b \geq 300 \text{ mm}$   $b \geq h$  ,  
4 Karena dimensi kolom yang digunakan adalah  $500 \times 500 \text{ mm}$ , maka:  $500 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$  ( terpenuhi )  $500 / 500 = 1 \geq 0,4$  ( terpenuhi ) D  
engan demikian, kedua syarat telah terpenuhi. 4. Dinding geser  
Berdasarkan SNI 2847:2019, tabel 11.3.1.1, tebal minimum dari dinding  
geser dicari dengan cara berikut.  $H_w =$  terbesar dari {  $100 \text{ mm}$   $1/2$   
5 Tinggi antar lantai = terbesar dari {  $100 \text{ mm}$   $1/25$  (  $3500 \text{ mm}$   
 ) = terbesar dari {  $100 \text{ mm}$   $1/40$   $mm = 140 \text{ mm}$   $L_w =$  terbesar dari  
{  $100 \text{ mm}$   $1/25$  PanjangBentang = terbesar dari {  $100 \text{ mm}$   $1/25$  (  $500$   
  $0 \text{ mm}$  ) = terbesar dari {  $100 \text{ mm}$   $200 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$  Maka tebal dind  
ing geser yang digunakan adalah  $210 \text{ mm}$  5. Hasil preliminary design  
Setelah melakukan preliminary design , hasil yang didapat ditampilkan  
pada di bawah ini. 4.3. Pembebanan Struktur Pembebanan dead load ,  
superimposed dead load , live load , dan beban gempa dihitung  
berdasarkan standard. 4.3.1. Dead Load (DL) Beban mati merupakan berat  
sendiri struktur. Dalam analisis menggunakan Robot Structural Analysis  
Professional, beban ini didefinisikan dengan memasukkan elemen struktural  
seperti balok, kolom, plat, dan dinding geser ke tipe beban Dead  
Load (DL). 31 4.3.2. Superimposed Dead Load (SIDL) Beban mati tambahan  
yang diperhitungkan dalam penelitian adalah: 4.3.3. Live Load (LL) untuk  
gedung perkantoran sebagai berikut: 4.3.4. Rain Load (R) Pada penelitian  
ini, beban hujan dihitung dari nilai tinggi air  $d_s$  dan  $d_h$   
sebesar  $50 \text{ mm}$ .  $R = 0,0098 (d_s + d_h) = 0,0098 (50 + 50)$   
 $R = 0,99 \text{ kN / m}^2$  4.3.5. Earthquake Load (Eq) dengan Prosedur Ga  
ya Lateral Ekuivalen 1. Percepatan Gempa Respon spektrum gempa pada  
kota Makasar dan Padang. Tanah diasumsikan tanah lunak. 2. Faktor  
implikasi percepatan Koefisien situs,  $F_a$  dan  $F_v$  dicari dengan melakukan  
interpolasi dari nilai  $F_a$  dan  $F_v$  yang terdapat pada Tabel 2.4 dan  
Tabel 2.5 Didapat hasil sebagai berikut: Kota Padang Nilai  $S_s$  Kota  
Padang adalah  $1,1245$ , maka nilai  $F_a$  adalah  $F_a = 0,9 + (1,2$   
 $5 - 1,1245)(1,1 - 0,9) = 1,000$  Nilai  $S_1$  Kota Padan

g adalah 0,5737 maka nilai Fv adalah  $F_v = 2 + (0,6 - 0,5737)$   
 $(2,2 - 2,2), 6 - , 5 = 2,053$  Kota Makasar Nilai Ss Kot  
a Makasar adalah 0,2247, karena nilai Ss kurang dari 0,25, maka  
nilai Fa adalah 2,4. Nilai S1 Kota Makasar adalah 0,1087 maka nilai  
Fv adalah  $F_v = 3 + (0,2 - 0,1087)(4,2 - 3,3), 2 -$   
 $, 1 = 4,122$  3. Koefisien kelas situs Koefisien kelas situs dihitung  
g dengan rumus berikut Kota Padang  $S_{MS} = F_a S_s = 1,000 \times 1,$   
 $1245 = 1,125$   $S_{M1} = F_v S_1 = 2,053 \times 0,5737 = 1,178$  Kota Makas  
ar  $S_{MS} = F_a S_s = 2,4 \times 0,2247 = 0,539$   $S_{M1} = F$   
 $v S_1 = 4,122 \times 0,1087 = 0,448$  4. Parameter percepatan spektral des  
ain Parameter percepatan spektral desain dicari dengan cara berikut Kota  
Padang  $S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 1,125 = 0,750$   $S_{D1} = 2/3$   
 $S_{M1} = 2/3 \times 1,178 = 0,785$  Kota Makasar  $S_{DS} = 2/3 S_{MS}$   
 $= 2/3 \times 0,539 = 0,360$   $S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 \times 0,448 = 0,299$  Seh  
ingga respon spektrum Padang yang didapat ditampilkan dalam Gambar 4.  
 $T = 0,2$   $S_{D1} S_{DS} = 0,2 \times 0,785, 75 = 0,209$  s 33 T  
 $S = S_{D1} S_{DS} = 0,785, 75 = 1,047$  s T L = 20 s 1. **1 2 3 4 6 7 8 9 12 15 18 22** Untuk  
periode yang lebih kecil dari T , spektrum respons percepatan desain,  
Sa, harus diambil dari persamaan  $S_a = S_{DS} ( , 4 + , 6 T T$   
) Sehingga, untuk  $T = 0, S_a = 0,75 ( , 4 + , 6 0,209 ) = 0,32$ . **1 2 3 4 7 8 15**  
Untuk periode sama dengan T , spektrum respons percepatan desain, S  
a , sama dengan  $S_{DS}$  3. **1 2 3 4 5 7 8 9** Untuk periode lebih besar dari Ts  
tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T L , respons spektral  
percepatan desain, Sa, diambil berdasarkan persamaan:  $S_a = S_{D1}$   
T Sehingga untuk  $T = 1$ , maka  $S_a = 0,785 \times 1 = 0,785$  Untuk  $T = 2$   
, maka  $S_a = 0,785 \times 2 = 1,57$  Dan seterusnya hingga  $T = 20$  4. **1 2 3 4 5 6** Untuk  
periode lebih besar dari T L , respons spektral percepatan desain,  
Sa, diambil berdasarkan persamaan:  $S_a = S_{D1} T L T^2$  Sehingg  
a untuk  $T = 21$ , maka  $S_a = 0,785 \times 20^2 \times 21^2 = 0,0036$  Hasil  
respon spektrum yang terbentuk ditampilkan pada Tabel 4.5 dan Gambar. 5. Nilai  
parameter Arah X (dengan dinding geser) 1. **30** Kategori risiko bangunan II,

maka faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) = 1.2. **1 6 14 16 21** Rangka beton pemikul momen khusus,  $R = 7.3$ . Rangka beton pemikul momen khusus,  $\Omega = 2.54$ . **1 6 14 16** Rangka beton pemikul momen khusus,  $C_d = 5.5$  Arah Y (tanpa dinding geser, SRPMK) **1. 30**

Kategori risiko bangunan II, maka faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) = 1.2. **1 4 6 7 12 14**  
**16 20 21 28 31** Rangka beton pemikul momen khusus,  $R = 8.3$ . Rangka beton pemikul momen khusus,  $\Omega = 3.4$ . **4 6 7 12 14 16 21 28 31** Rangka beton pemikul momen khusus,  $C_d = 5.5$  **4 6 14 28** Periode Struktur 1. Koefisien Pembatas ( $C_u$ ) Kota Padang Karena nilai  $SD1$  lebih besar dari 0,4, maka  $C_u = 1.4$  Kota Makasar Karena nilai  $SD1 = 0.299$ , maka  $C_u = 1.42$ . Parameter periode pendekatan Arah X (dengan dinding geser) Rangka beton pemikul momen,  $C_t = 0.0488$  dan  $x = 0.7535$  Arah Y (tanpa dinding geser, SRPMK) Rangka beton pemikul momen,  $C_t = 0.0466$  dan  $x = 0.93$ . Tinggi bangunan  $h = 25.5$  m 4. Periode Fundamental Pendekatan Arah X (dengan dinding geser)  $T_a = C_t h n x = 0.0488 \times 25.5, 75 = 0.554$  detik Arah Y (tanpa dinding geser, SRPMK)  $T_a = C_t h n x = 0.0466 \times 25.5, 9 = 0.859$  detik 5. Periode maksimum Arah X (dengan dinding geser)  $T_{max} = C_u T_a = 1.4 \times 0.554 = 0.776$  detik Arah Y (tanpa dinding geser, SRPMK)  $T_{max} = C_u T_a = 1.4 \times 0.859 = 1.203$  detik 6. Periode Komputasi dari Software Arah X (dengan dinding geser)  $T_{komputasi} = 0.87$  detik Arah Y (tanpa dinding geser, SRPMK)  $T_{komputasi} = 1.45$  detik 7. Rekapitulasi Parameter Gempa Parameter gempa yang digunakan untuk kedua model dapat dilihat pada 8. Perhitungan Berat Bangunan Berat total bangunan ( $W$ ) Berat total bangunan dihitung seperti pada Jadi, berat total bangunan adalah 28912,425 kN Untuk memastikan akurasi pemodelan, dilakukan pemeriksaan berat bangunan secara manual dan dibandingkan dengan berat dari software yang dapat dilihat pada 9. **43** Gaya Geser Dasar Seismik 1. Koefisien respons seismik ( $C_s$ ) (SNI 1726:2019 Persamaan 31) Kota Padang Arah X  $C_s = S D S ( R I e ) = 0.750 ( 7 1 ) = 0.107$  Batas Atas  $C_{smax} = S D 1 T ( R I e )$  )  $C_{smax} = 0.785 0.554 ( 7 1 ) = 0.203$  Batas Bawah  $C_{smin} = 0.0$

$44 S D S I e \geq , 01 C s_{min} = 0,044 \times 0,750 \times 1 \geq , 01 C s_{min}$   
 $= 0,033$  Koefisien seismik pakai Karena  $C s_{min} < C s < C s_{max}$   
 maka  $C s$  pakai untuk arah  $X = 0,107$  Arah  $Y C s = S D S ( R I e ) = 0,750 ( 8 1 ) = 0,094 37$  Batas Atas  $C s_{max} = S D 1 T ( R I e ) C s_{max} = 0,785 0,8596 ( 8 1 ) = 0,1142$  Batas Bawah  $C s_{min} = 0,044 S D S I e \geq , 01 C s_{min} = 0,044 \times 1,1 245 \times 1 \geq , 01 C s_{min} = 0,04948$  Koefisien seismik pakai Karena  $C s_{min} < C s < C s_{max}$  maka  $C s$  pakai untuk arah  $Y = 0,094$  Kota Makasar Arah  $X C s = S D S ( R I e ) = 0,360 ( 7 1 ) = 0,051$  Batas Atas  $C s_{max} = S D 1 T ( R I e ) C s_{max} = 0,30,776 ( 7 1 ) = 0,055$  Batas Bawah  $C s_{min} = 0,044 S D S I e \geq , 01 C s_{min} = 0,044 \times 0,360 \times 1 \geq , 01 C s_{min} = 0,016$  Koefisien seismik pakai Karena  $C s_{min} < C s < C s_{max}$  maka,  $C s$  pakai untuk arah  $X = 0,051$  Arah  $Y C s = S D S ( R I e ) = 0,360 ( 8 1 ) = 0,045$  Batas Atas  $C s_{max} = S D 1 T ( R I e ) C s_{max} = 0,31,203 ( 8 1 ) = 0,031$  Batas Bawah  $C s_{min} = 0,044 S D S I e \geq , 01 C s_{min} = 0,044 \times 0,360 \times 1 \geq , 01 C s_{min} = 0,016$  Koefisien seismik pakai Karena  $C s > C s_{max}$  maka gunakan  $C s_{max}$   $C s$  pakai untuk arah  $Y = 0,031$  2. Gaya Geser Dasar Seismik Kota Padang  $V X = C s X W = 0,107 \times 28912,425 \text{ kN} = 3097,760 \text{ kN}$   $V Y = C s Y W = 0,094 \times 28912,425 \text{ kN} = 2810,54 \text{ kN}$  Kota Makasar  $V X = C s X W = 0,051 \times 28912,425 \text{ kN} = 1486,925 \text{ kN}$   $V Y = C s Y W = 0,031 \times 28912,425 \text{ kN} = 900,981 \text{ kN}$  3. Distribusi Vertikal Gaya Seismik Gaya vertikal didistribusikan dengan cara berikut  $F x = C v x V 39$  Kota Padang Arah  $X$  Arah  $Y$  Kota Makasar Arah  $X$  Arah  $Y$  4.3 36 6.

Kombinasi Pembebanan Kombinasi pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada 4.4.

4.4.1. Pemodelan Struktur pada Robot Structural Analysis Profesional  
 4.4.2. Mengatur grid Grid dapat dilihat pada  
 4.4. Mendefinisikan material properties Mendefinisikan material properties dilakukan seperti Gambar 4.4 berikut.  
 4.4.3. Mendefinisikan geometri elemen struktur Mendefinisikan geometri elemen struktur dapat dilihat pada Gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan

4.8 4.4.4. Memodelkan struktur bangunan Hasil dari pemodelan struktur bangunan dapat dilihat pada Menginput SIDL Hasil input SIDL dapat dilihat pada Gambar 4.10 di bawah ini. 4.4.5. Menginput beban hidup Hasil input beban hidup dapat dilihat pada Gambar 4.11. 4.4.6. Menginput beban gempa Beban gempa arah X dan arah Y diinput berbeda seperti pada 4.4.7. Menginput kombinasi pembebanan 4.4.8. Kombinasi pembebanan dapat diinput melalui combination table sesuai Run analysis Setelah mendefinisikan semua geometri dan pembebanan, dilakukan run analysis seperti 4.5. Pengecekan Simpangan dan Drift Pengecekan simpangan ini bertujuan untuk memastikan drift pada setiap lantai masih memenuhi drift izin sesuai 4.5.1. Simpangan dan Drift Model Padang Pengecakan Arah X Pengecekan Arah Y 4.5.2. Simpangan dan Drift Model Makasar Pengecakan Arah X Pengecekan Arah Y 4.6. Pengecekan Efek P-Delta Hasil pengecekan efek P-Delta ditampilakn pada Tabel 4.18 Batas koefisien stabilitas  $\theta_{max} = 0,5 \beta \times C_d = 0,5 \times 1 \times 5,5 = 0,090$

9 4.7. Pengecekan Modal Analysis Modal Analysis Model Padang Tabel 4.19 menunjukkan bahwa mode 1 dari struktur gedung ini menunjukkan ragam getar translasi arah X dengan periode 0,87 detik. Mode 2 menunjukkan ragam getar arah Y dengan periode 1,45 detik, sedangkan mode 3 menunjukkan ragam getar rotasi. Akumulasi massa ragam sudah mencapai di atas 90%, sehingga sudah memenuhi kriteria minimum Modal Analysis Model Makasar 41 Hasil analisis modal Model Makasar dapat dilihat pada Tabel 4.20 berikut. 4.8. Pengecekan Ketidakberaturan 4.8.1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Hasil pemeriksaan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dapat dilihat pada 4.8.2. Ketidakberaturan Massa Hasil pengecekan ketidakberaturan massa dapat dilihat pada Tabel 4.22 4.8.3. Ketidakberaturan Torsi Pengecekan ketidakberaturan torsi dapat dilihat pada Tabel 4.23 4.9. Pengecekan Sistem Ganda Pengecekan sistem ganda dapat dilihat pada Tabel 4.24. Persentase gaya gempa yang ditopang dinding geser  $\%SW = \frac{-1251,06}{-1873,68} = 66,77\%$  Persentase gaya gempa yang ditopang kolom  $\%Rangka = 100\% - 66,77\%$

%=33, 23%( OK ) 4.10. Permodelan dan Analisis Struktur pada Robot

Structural Analysis Professional 4.10.1. Padang 4.10.1.1. Balok 300x500 1.

Section Properties Section properties dari balok adalah 2. Output Gaya

Dalam 3. Syarat Gaya dan Geometri 1.  $L_n \geq 4d$  (5000 mm – 700 mm

)  $\geq 4$  (436mm)  $4300 \geq 1744$  (OK) 2.  $b \geq 0,3h$  atau  $b \geq 300$  mm  $b$

$= 300$  mm  $0,3h = 150$  mm (OK) 3.  $b \leq C2 + (2 \times \min (C2; 0,75$

$C1))$   $300$  mm  $\leq 500$  mm + (2 x (0,75 x 700)) (OK) 4. Desain Penulan

gan Lentur a. Tumpuan Negatif  $\boxtimes$  As minimum  $A_{smin} = , 25 \sqrt{f$

$c' f_y b w d = , 25 \sqrt{35 420 ( 300 ) ( 436 ) } = 460$

, 61 mm  $2 A_{smin} = 1 , 4 f_y b w d = 1 , 4 420 ( 30$

$0 ) ( 436 ) = 436$  mm  $2 \boxtimes$  As Pasang 43 Asumsi: Pasang 5 tulang

an  $A_s$  pasang  $= 5 1 4 \pi D^2 = 1900,664$  mm  $2$  Jarak antar tulanga

$n = b - 2 C C - 2 d s - ( n \times d b ) n - 1 = 21$  mm Pasal

25.2.1. menyatakan bahwa jarak bersih antar tulangan harus lebih besar

dari  $d_b$  dan 25 mm (OK)  $\boxtimes$  Batasan rasio tulangan longitudinal  $\rho$

$= A_s b d \leq 2 , 5\% \rho = 1900,664 (300)(436) \leq 2 , 5\% \rho = 1 ,$

$45\% \leq 2 , 5\%$  (OK)  $\boxtimes$  Kapasitas momen balok  $\alpha = A_s f_y ,$

$85 f_c' b = (1900,664)(420) , 85(35)(300) = 89 , 44$  mm  $M_n$

$= A_s f_y ( d - a ) = ( 1900,664 ) ( 420 ) ( 436 -$

$89 , 44 ) = 312,349$  kNm  $c = \alpha \beta 1 = 89 , 44 , 8 = 111,8$

$04$  mm  $\epsilon_s = d - c c ( 0,003 ) = 436 - 111,804 111,804 ( 0,$

$003 ) = 0,009$  karena  $\epsilon_s \geq 0,005$  , maka:  $\phi = 0 , 9 \phi M_n = 0$

,  $9 \times 312,349$  kNm  $= 281,114$  kNm  $M_u$  , tumpuan  $\zeta$  Cek  $\phi M_n \geq M$

$u$  (OK)  $\boxtimes$  As Perlu  $A_{perlu} = M_u f_y ( d - a ) = 247$

,  $35 \times 10 6 420 ( 436 - 89 , 44 ) = 1505,139$  mm  $2$   $A_s$  pas

ang  $\geq A_{perlu}$  (OK) b. Tumpuan Positif c. Lapangan Negatif d. Lapanga

n Positif 5. Desain Penulangan Geser  $\boxtimes$  Kapasitas Geser  $a_{pr} + \zeta = 1$

,  $25 a$  tumpuan positif  $= 1 , 25 ( 71,554 ) = 89,443$  mm  $\zeta a_p$

$r - \zeta = 1 , 25 a$  tumpuan negatif  $= 1 , 25 ( 89,443 ) = 111,804$

mm  $\zeta M_{pr} + \zeta = A_s ( 1 , 25 f_y ) \zeta \zeta M_{pr} - \zeta = A_s$

$( 1 , 25 f_y ) \zeta \zeta V_{pr} = M_{pr} + \zeta + M_{pr} - \zeta L_n = 312349$

REPORT #27529819

$293+379280299\ 4300=160844\ N$  ;  $V_e = V_g + V_{pr} = 73780\ N$   
 $+175433\ N = 236564\ N$   $\square$  Tahanan Geser Beton Mencari tahu apakah beton memberikan kontribusi terhadap kapasitas geser atau gaya geser hanya ditahan oleh tulangan sengkang ( $V_{concrete} = 0$ ) ; Tahanan geser beton = 0 jika kedua syarat memenuhi: -  $V_{pr} \geq 1,2\ V_e$   $\square$  1  
 $60844\ N \geq 1,2\ 236564\ N$  (Ya) -  $P_u < A_g f_c' / 20$   $\square$  1563  
 $70\ N < 262500$  (Ya) Maka,  $V_c = 0$  supaya lebih konservatif A.  
 Penulangan Geser Tumpuan Jumlah kaki =  $4\ A_s = n\ 1,4\ \pi D^2$   
 $= 4\ 1,4\ \pi (13)^2 = 530,929\ mm^2$   $\square$  Spasi sengkang Spasi sengkang tidak boleh melebihi: -  $d_4 = 436 / 4 = 109\ mm$  -  $6\ d_b = 6 (22) = 132\ mm$  -  $150\ mm$  Maka spasi sengkang diambil  $100\ mm$   $\square$  Tahanan Geser Tulangan Sengkang  $V_s = A_s f_y v_d s = 694455\ N$   $\square$  B  
 atas Tahanan Geser  $V_u \leq \phi (V_c + \min (, 66 \sqrt{f_c'} b d ; V_s))$  Dimana:  $\phi = 0,75$  Cek Kapasitas  $V_u \leq ,75 ; V_u \leq ,75 ; V_u \leq ,75 (510723\ N) 152200\ N \leq 383042,25\ N$  (OK) B. Penulangan Geser Lapangan Jumlah kaki =  $2\ A_s = n\ 1,4\ \pi D^2 = 2\ 1,4\ \pi (13)^2 = 265,47\ mm^2$   $\square$  Spasi sengkang Spasi sengkang tidak boleh melebihi:  $d_2 = 436 / 2 = 218\ mm$  Maka spasi sengkang diambil  $200\ mm$   $\square$  Tahanan Geser Tulangan Sengkang  $V_s = A_s f_y v_d s = (265,47) (300) (436 / 200) = 231485\ N$   $\square$  Tahanan Geser Beton  $V_c = 0,17 \sqrt{f_c'} b d = 0,17 \sqrt{35} (300) (436) = 131550\ N$   $\square$  Batas Tahanan Geser  $V_u \leq \phi (V_c + \min (, 66 \sqrt{f_c'} b d ; V_s))$  Dimana:  $\phi = 0,75$  Cek Kapasitas  $V_u \leq ,75 ; V_u \leq ,75 ; V_u \leq ,75 (363035\ N) 116740\ N \leq 272276,25\ N$  (OK) 6. Kesimpulan 4.10.1.2. Kolom 700x700 Lantai 1 1. Section Properties Section properties dari kolom adalah 2. Output Gaya Dalam Output gaya dalam balok ditampilkan pada Tabel 4.28 3. Syarat Gaya dan Geometri Syarat sisi terpendek  $b \geq 300\ mm$   $700\ mm \geq 300\ mm$  (OK) Syarat rasio dimensi penampang  $b/h \geq 0,4$   $1 \geq 0,4$  (OK) 4. Desain Tulangan Lentur 4.7 Desain tulangan lentur ini dilakukan dengan asumsi awal desain

tulangan dan dilanjutkan dengan pengecekan terhadap diagram interaksi PMM

Asumsi awal:  Menggunakan 20D25  Luas tulangan longitudinal:  $A_s =$

$n \cdot 14 \pi D^2 = 9817,5 \text{ mm}^2$   Pengecekan rasio tulangan  $1\% \leq \rho$

$\leq 6\%$   $\rho_{\text{pasang}} = A_s / b h = 9817,5 / (700)(700) = 2\%$  (OK)  Pe

ngecekan diagram interaksi PMM Gambar 4.17 menunjukkan tidak ada titik

beban yang berada di luar diagram interaksi, jadi kolom sudah aman

5. Pengecekan Strong Column Weak Beam (SCWB) Momen nominal kolom yang

didapat adalah seperti pada Tabel 4.30: Nilai momen yang digunakan

untuk pengecekan SCWB adalah nilai momen terkecil yang diambil saat

nilai aksial maksimum dan minimum. Nilai momen tersebut perlu dibagi

oleh  $\phi$  Ambil momen terkecil yaitu 310,1 kNm Kapasitas lentur kolom

harus memenuhi syarat SCWB  $2 \times M_n \text{ kolom} \geq 1,2 \times 2 \times 310,$

$1 \text{ kNm} \geq 1,2(281,114 + 230,032 \text{ kNm})$  (OK) 6. Desain Tulanga

n Transversal  Panjang Zona Sendi Plastis 1. Tinggi penampang kolom =

700 mm 2. 16 tinggi bersih kolom (tinggi total kolom dikurang

tinggi balok) =  $16 L_n = 666,7 \text{ mm}$  3. 450 mm Panjang zo

na sendi plastis yang dipakai (yang paling besar) = 700 mm  Tulan

gan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan - Jumlah kaki = 4 - Lua

s tulangan sengkang  $A_{sh} = n \cdot 14 \pi D^2 = 4 \cdot 14 \pi \cdot 13^2 = 530,$

$929 \text{ mm}^2$  - Spasi sengkang  $S_{\text{max}1} = b/4 = 700/4 = 175 \text{ mm}$   $S_{\text{max}2} = 6d$

$S_{\text{max}3} = 100 + (350 - h/3)$

$= 100 + (350 - 150/3) = 150 \text{ mm}$  Maka, spasi yang diambil adalah

$s = 100 \text{ mm}$   $A_{sh} s_{\text{pakai}} = 530,929 \text{ mm}^2 / 100 \text{ mm} = 5,309 \text{ mm}$   Conf

inement/Kekangan Zona Sendi Plastis -  $b_c = b - 2 C_c = 700 - 2($

$40) = 620 \text{ mm}$  -  $h_c = h - 2 C_c = 700 - 2(40) = 620 \text{ m}$

$m$  -  $A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$  -  $A_{ch} = b_c \times h_c = 384400 \text{ m}$

$m^2$  49 - Pengecekan  $A_{sh} s_{\text{min}1} \geq 3(b_c f_c' / f_yv$

$)(A_g A_{ch} - 1) A_{sh} s_{\text{min}1} = 3(620 \times 3542$

$0)(490000 - 384400) = 4,258 \text{ mm}$   $A_{sh} s_{\text{min}2} \geq 0,09 b_c$

$f_c' / f_yv = 0,09 \cdot 620 \times 35420 = 4,650 \text{ mm}$  Cek  $A_{sh} s$

$\geq A_{sh} s_{\text{min}}$  (OK)  Kuat Geser Zona Sendi Plastis - Gaya ge

ser desain Gaya geser desain  $V_e$  ditentukan dari gaya maksimum yang mungkin terjadi di sambungan (joint) pada ujung kolom, dengan mempertimbangkan kekuatan lentur maksimum  $M_{pr}$  dari kolom  $M_{pr}$  maksimum didapat dari output dengan  $f_{pr} = 1.25 f_y$  dapat dilihat pada Tabel 4.3

2 Momen tersebut perlu dibagi oleh  $\phi$  Ambil momen terbesar yaitu 1789,94 kNm Gaya geser desain  $V_u$ , 1 =  $2 \times M_{pr}$  kolom L n  
 $= 2 \times 1789,94 \text{ kNm} \times 10^6 / 4000 = 894970 \text{ N}$  - Gaya geser hasil analisis struktur (Hasil Robot)  $V_u$ , 2 sumbu lemah = 158910 N  $V_u$ , 2 sumbu kuat = 56770 N - Tahanan Geser Beton -  $V_u$  diambil yang maksimal diantara  $V_{u1}$  dan  $V_{u2}$  sumbu lemah, sehingga  $V_u = 894970 \text{ N}$  -  $\phi = 0,75$  - Kekuatan geser beton ( $V_c$ )  $V_c = 0,17 (1 + N U 14 A g) \lambda \sqrt{f_c} h d = 446716 \text{ N}$  - Kekuatan geser tulangan yang dibutuhkan  $V_s = V_u \phi - V_c = 746577 \text{ N}$  - Pengecekan spasi sengkang  $A_{sh s}$  perlu =  $V_s / f_{yv} d = 2,8015 \text{ mm}$   $A_{sh s} \text{ min } 1 = 0,062 \sqrt{f_c} h \times s / f_{yv} = 0,6113 \text{ m}$   $A_{sh s} \text{ min } 2 = 35 h / f_{yv} = 0,5833 \text{ mm}$  Cek  $A_{sh s}$  pakai  $i \geq A_{sh s}$  perlu,  $A_{sh s} \text{ min}$  (OK)  $\square$  Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan Jumlah kaki = 2 Luas tulangan sengkang  $A_v = n 1/4 \pi D^2 = 2 1/4 \pi 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2$  Spasi sengkang  $S_{max 1} = 6 d / b = 6(25) = 150 \text{ mm}$   $S_{max 2} = 150 \text{ mm}$  Maka, spasi yang diambil adalah  $s = 150 \text{ mm}$   $A_{sh s}$  pakai =  $265,465 \text{ mm}^2 / 150 \text{ mm} = 1,77 \text{ mm}^2$   $\square$  Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis - Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah  $V_u$  (output Robot) = 158910 N  $\phi = 0,75$  Kekuatan geser beton ( $V_c$ )  $V_c = 0,17 (1 + N U 14 A g) \lambda \sqrt{f_c} h d = 446176 \text{ N}$  Kekuatan geser tulangan yang dibutuhkan  $V_s = V_u \phi - V_c = 158910,75 - 446176 = -234296 \text{ N}$  Sehingga tulangan geser pada luar zona sendi plastis cukup menggunakan 2D13 - 150 - Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat  $V_u$  (output Robot) = 56770 N  $\phi = 0,75$  Kekuatan geser beton ( $V_c$ )  $V_c = 0,17 (1 + N U 14 A g) \lambda \sqrt{f_c} h d = 446176 \text{ N}$  Kekuatan geser tulangan yang dibutuhkan  $V_s = V_u \phi - V_c = 56770,75 -$

446176=-370482, 67 N Sehingga tulangan geser pada luar zona sendi plastis cukup menggunakan 2D13 - 150 4.10.1.3. Kolom 700x700 Lantai 2-4 1. Section Properties Section properties dari kolom adalah 2. Output Gaya Dalam Output gaya dalam kolom 700x700 untuk lantai 2-4 dapat dilihat pada Tabel 4.35 3. Desain tulangan Dengan cara yang sama, didapatkan tulangan untuk kolom 700x700 Lantai 2-4 seperti yang ditampilkan pada 4.10.1.4. Kolom 600x600 Lantai 5-8 1. Section Properties Section properties dari kolom adalah 2. Output Gaya Dalam Output gaya dalam kolom 600x600 ditampilkan pada 3. Desain tulangan Dengan cara yang sama, didapatkan tulangan untuk kolom 600x600 Lantai 2-4 seperti yang ditampilkan pada 4.10.1.5. Desain Sambungan Balok-Kolom 700x700 1. Section Properties 2. Lebar Balok Lebar balok (bb) = 300 mm (semua sisi sama) Sisa lebar kolom (x) = 200 mm (balok tidak ada eksentrisitas) 53 Cek apakah balok merangka atau mengekang Balok mengekang apabila:  $b_{balok} \geq 3/4 b_{kolom}$   $300 < 3/4 (700)$  Maka, semua balok hanya merangka, tidak ada yang mengekang. Kekuatan geser  $V_n$  dihitung dengan persamaan berikut  $V_n = 1, \lambda \sqrt{f_c} A_j Lu$  as efektif join gempa ( $A_j$ ) digitung sebagai berikut  $A_j = b_j \times h_j = 700 \times 700 = 490000$  3. Tulangan Balok dan Gaya yang Dihasilkan Diameter tulangan balok = D22 Tulangan atas balok = 5D22 Tulangan bawah balok = 4D22 Lebar kolom harus lebih dari 20 kali diameter tulangan  $b \geq 20 d$   $700 \geq 20 (22)$  (OK) Luas tulangan atas balok:  $A_s = 3/4 \pi D^2 = 1900,664 \text{ mm}^2$  Luas tulangan bawah balok:  $A_s = 3/4 \pi D^2 = 1520,531 \text{ mm}^2$  Tegangan probable tulangan  $f_{pr} = 1,25 f_y$  kolom = 525 MPa Gaya tulangan atas balok  $f_s = A_s f_{pr} = 997848 \text{ N}$  Gaya tulangan bawah balok  $f_s = A_s f_{pr} = 798279 \text{ N}$  Dimana  $f_s$  merupakan nilai dari gaya tension (T) dan compression (C) yang mempunyai arah yang sama pada bagian atas atau bawah balok 4. Gaya Geser Akibat Balok Karena semua balok jumlah tulangannya sama pada bagian atas dan bawah balok, maka gaya geser akibat gempa arah X-, X+, Y-, Y+ akan menghasilkan

nilai yang sama, yaitu:  $V_u = T + C = f_s \text{ atas} + f_s \text{ bawah} =$   
 $1796127 \text{ N}$  5. Gaya Geser Kolom (Beam Hinging)  $M_{pr+}$  balok =  $312349$   
 $293,34 \text{ Nmm}$   $M_{pr-}$  balok =  $379280298,89 \text{ Nmm}$   $V_e$  balok  
 $= 236564 \text{ N}$  Gaya geser kolom akibat gempa arah X-, X+, Y-,  
 Y+ adalah:  $V_{col} = \dots$  6. Gaya Geser Total Joint  $V_u \text{ total} = V_u$   
 $- V_{col} = 1796127 \text{ N} - 214306 \text{ N} = 1581821 \text{ N}$  7. Kuat Geser Joint Kek  
 uatan geser  $V_n$  dihitung dengan persamaan berikut. Karena balok arah  
 x dan y sama, maka akan menghasilkan nilai  $V_n$  yang sama.  $V_n$   
 $= 1, \lambda \sqrt{f_c'} A_j = 2898879 \text{ N}$  5  $V_n$  direduksi dengan fak  
 tor reduksi bernilai 0,85 untuk geser joint mengikuti  $\phi V_n = 0,85$   
 $V_n = 2464047 \text{ N}$  Cek Kapasitas  $\phi V_n \geq V_u \text{ total} = 2464047 \geq 1581821$   
 $> 1$  (OK) Tulangan transversal pada joint tetap mengikuti tulangan  
 transversal kolom karena tidak ada balok yang mengekang 4.10.1.6. Desain  
 Sambungan Balok-Kolom 600 x 600 1. Section Properties 2. Lebar Balok  
 Lebar balok (bb) = 300 mm (semua sisi sama) Sisa lebar kolom (x) =  
 150 mm (balok tidak ada eksentrisitas) Cek apakah balok merangka atau  
 mengekang Balok mengekang apabila:  $b_{balok} \geq 3/4 b_{kolom}$   $300 < 3/4$   
 $4 (600)$  Maka, semua balok hanya merangka, tidak ada yang mengekang.  
 Kekuatan geser  $V_n$  dihitung dengan persamaan berikut  $V_n = 1, \lambda$   
 $\sqrt{f_c'} A_j$  Luas efektif joint gempa ( $A_j$ ) dihitung sebaga  
 i berikut  $A_j = b_j \times h_j = 600 \times 600 = 360000$  3. Tulangan Balo  
 k dan Gaya yang Dihasilkan Diameter tulangan balok = D22 Tulangan ata  
 s balok = 5D22 Tulangan bawah balok = 4D22 Lebar kolom harus lebih da  
 ri 20 kali diameter tulangan  $b \geq 20 d$   $600 \geq 20 (22)$  (O  
 K) Luas tulangan atas balok:  $A_s = 3/4 \pi D^2 = 1900,664 \text{ mm}^2$   
 2 Luas tulangan bawah balok:  $A_s = 3/4 \pi D^2 = 1520,531 \text{ mm}^2$   
 2 Tegangan probable tulangan  $f_{pr} = 1,25 f_y \text{ kolom} = 525 \text{ MPa}$   
 a Gaya tulangan atas balok  $f_s = A_s f_{pr} = 997848 \text{ N}$  Gaya tulang  
 an bawah balok  $f_s = A_s f_{pr} = 798279 \text{ N}$  Dimana  $f_s$  merupak  
 an nilai dari gaya tension (T) dan compression (C) yang mempunyai  
 arah yang sama pada bagian atas atau bawah balok 4. Gaya Geser

REPORT #27529819

Akibat Balok 57 Karena semua balok jumlah tulangnya sama pada bagian atas dan bawah balok, maka gaya geser akibat gempa arah X-, X+, Y-, Y+ akan menghasilkan nilai yang sama, yaitu:  $V_u = T + C = f$  s atas + f s bawah = 1796127 N

5. Gaya Geser Kolom (Beam Hinging)  $M_{pr+}$  balok = 312349293,34 Nmm ;  $M_{pr-}$  balok = 379280298,89 Nmm ;  $V_e$  balok = 236564 N

Gaya geser kolom akibat gempa arah X-, X+, Y-, Y+ adalah:  $V_{col} = \dots$

6. Gaya Geser Total Joint  $V_u \text{ total} = V_u - V_{col} = 1796127 \text{ N} - 333427 \text{ N} = 1462700 \text{ N}$

7. Kuat Geser Joint Kekuatan geser  $V_n$  dihitung dengan persamaan berikut. Karena balok arah x dan y sama, maka akan menghasilkan nilai  $V_n$  yang sama.  $V_n = 1, \lambda \sqrt{f_c} A_j = 2129789 \text{ N}$

$V_n$  direduksi dengan faktor reduksi bernilai 0,85 untuk geser joint mengikuti SNI 2847:2019 pasal 21.2.4.3  $\phi V_n = 0,85 V_n = 1810320 \text{ N}$

Cek Kapasitas  $\phi V_n > V_u \text{ total} = 1810320 > 1462700 > 1$  (OK) Tulangan transversal pada joint tetap mengikuti tulangan transversal kolom karena tidak ada balok yang mengekang

4.10.1.7. Desain Pelat 1. Section Properties Section properties dari pelat adalah

2. Output Gaya Dalam 3. Desain Penulangan Lentur a. Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X

Spasi Tulangan Spasi maksimum tulangan Diambil nilai terkecil dari  $S_{max1} = 2t = 300 \text{ mm}$   $S_{max2} = 450 \text{ mm}$  Maka diambil spasi sebesar 250 mm

Jumlah tulangan negatif tumpuan dianalisis per 1 meter)  $n = 1000 \text{ mm}$  spasi = 4

Diameter tulangan yang digunakan = D10

Jarak bersih antar tulangan = spasi - db = 240 mm

Cek Jarak bersih  $\geq db$  dan 25 mm  $240 \text{ mm} \geq db$  dan 25 mm (OK)

As minimum As minimum diambil nilai terbesar antara: Nilai b diambil 1000 mm

$A_{smin1} = (0,18\% \times 420 \text{ fy}) \times b \times t = 270 \text{ mm}^2$

$A_{smin2} = (0,14\% \times b \times t) = 210 \text{ mm}^2$

As Pasang Pasang 4 tulangan  $A_s \text{ pasang} = n \times 4 \times \pi D^2 = 314,159 \text{ mm}^2$

$A_{smin} \geq A_s \text{ pasang}$  (OK)

59

Kapasitas momen  $\alpha = A_s f_y / (b \times d)$   $\alpha = 314,159 / (1000 \times 1000) = 0,000314$

$M_n = A_s f_y (d - a/2) = 314,159 \times 420 \times (1000 - 14,833) = 14,833 \text{ kNm}$

$c = \alpha \beta_1 = 0,000314 \times 0,85 = 0,000267$

$\epsilon_s = \dots$

REPORT #27529819

$d - c c ( 0,003 ) = 0,053$  Karena  $\epsilon s \geq 0,005$  , maka:  $\phi = 0,9$   
 $\phi M n = 13,349 \text{ kNm}$  Mu , tumpuan = 3 , 23 k Nm Cek  $\phi M n \geq M u$  (OK) b. Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X  $\square$  Spasi Tulangan Spasi maksimum tulangan Diambil nilai terkecil dari  $S_{max 1} = 2 t = 300 \text{ mm}$   $S_{max 2} = 450 \text{ mm}$  Maka diambil spasi sebesar 250 mm Jumlah tulangan negatif tumpuan dianalisis per 1 meter)  $n = 1000 \text{ mm}$  spasi = 4 Diameter tulangan yang digunakan = D10 Jarak bersih antar tulangan = spasi - db = 240 mm Cek Jarak bersih  $\geq d$  dan 25 mm  $240 \text{ mm} \geq d$  dan 25 mm (OK)  $\square$  As minimum As minimum diambil nilai terbesar antara: Nilai b diambil 1000 mm  $A_{smin 1} = ( , 18\% \times 420 \text{ fy} ) \times b \times t = 270 \text{ mm}^2$   $A_{smin 2} = 0,14\% \times b \times t = 210 \text{ mm}^2$   $\square$  As Pasang Pasang 4 tulangan  $A_s \text{ pasang} = n \frac{1}{4} \pi D^2 = 314,159 \text{ mm}^2$   $A_{smin} \geq A_s \text{ pasang}$  (OK)  $\square$  Kapasitas momen  $\alpha = A_s f_y , 85 f_c ' b = (314,159)(420) , 85(30)(1000) = 5,174 \text{ m m}$   $M n = A_s f_y ( d - a ) = 14,833 \text{ kNm}$   $c = \alpha \beta 1 = 6,192 \text{ mm}$   $\epsilon s = d - c c ( 0,003 ) = 0,053$  Karena  $\epsilon s \geq 0,005$  , maka:  $\phi = 0,9$   $\phi M n = 13,349 \text{ kNm}$  Mu , tumpuan  $\square$  Cek  $\phi M n \geq M u$  (OK) c. Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y  $\square$  Spasi Tulangan Spasi maksimum tulangan Diambil nilai terkecil dari  $S_{max 1} = 2 t = 300 \text{ mm}$   $S_{max 2} = 450 \text{ mm}$  Maka diambil spasi sebesar 250 mm Jumlah tulangan negatif tumpuan dianalisis per 1 meter)  $n = 1000 \text{ mm}$  spasi = 4 Diameter tulangan yang digunakan = D10 Jarak bersih antar tulangan = spasi - db = 240 mm Cek Jarak bersih  $\geq d$  dan 25 mm  $240 \text{ mm} \geq d$  dan 25 mm (OK)  $\square$  As minimum As minimum diambil nilai terbesar antara: Nilai b diambil 1000 mm  $A_{smin 1} = ( , 18\% \times 420 \text{ fy} ) \times b \times t = 270 \text{ mm}^2$   $A_{smin 2} = 0,14\% \times b \times t = 210 \text{ mm}^2$   $\square$  As Pasang Pasang 4 tulangan  $A_s \text{ pasang} = n \frac{1}{4} \pi D^2 = 314,159 \text{ mm}^2$   $A_{smin} \geq A_s \text{ pasang}$  (OK)  $\square$  Kapasitas momen  $\alpha = A_s f_y , 85 f_c ' b = (314,159)(420) , 85(30)(1000) = 5,174 \text{ m m}$   $M n = A_s f_y ( d - d b - a ) = 13,513 \text{ kNm}$   $c = \alpha \beta 1 = 6,192 \text{ mm}$   $\epsilon s = d - c c ($

REPORT #27529819

$0,003) = 0,053$  Karena  $\epsilon_s \geq 0,005$  , maka:  $\phi = 0,9$   $\phi M_n = 12,162$  kNm  $M_u$  , tumpuan =  $6,440$  kNm Cek  $\phi M_n \geq M_u$  (OK) d. Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y  $\square$  Spasi Tulangan Spasi maksimum tulangan Diambil nilai terkecil dari  $S_{max 1} = 2 t = 300$  mm  $S_{max 2} = 450$  mm Maka diambil spasi sebesar  $250$  mm Jumlah tulangan negatif tumpuan dianalisis per 1 meter)  $n = 1000$  mm spasi =  $4$  Diameter tulangan yang digunakan =  $D10$  Jarak bersih antar tulangan = spasi -  $d_b = 240$  mm Cek Jarak bersih  $\geq d_b$  dan  $25$  mm  $240$  mm  $\geq d_b$  dan  $25$  mm (OK)  $\square$  As minimum As minimum diambil nilai terbesar antara: Nilai b diambil  $1000$  mm  $A_{smin 1} = (0,18\% \times 420 f_y) \times b \times t = 270$  mm<sup>2</sup>  $A_{smin 2} = 0,14\% \times b \times t = 210$  mm<sup>2</sup>  $\square$  As Pasang Pasang 4 tulangan  $A_s$  pasang =  $n 1 4 \pi D^2 = 314,159$  mm<sup>2</sup>  $A_{smin} \geq A_s$  pasang (OK)  $\square$  Kapasitas momen  $\alpha = A_s f_y / 85 f_c' b = (314,159)(420) / (85)(30)(1000) = 5,174$  mm  $M_n = A_s f_y (d - d_b - a/2) = 13,513$  kNm  $63 c = \alpha \beta 1 = 6,192$  mm  $\epsilon_s = d - c c (0,003) = 0,053$  Karena  $\epsilon_s \geq 0,005$  , maka:  $\phi = 0,9$   $\phi M_n = 12,162$  kNm  $M_u$  , tumpuan =  $6,440$  kNm Cek  $\phi M_n \geq M_u$  (OK) e. Tulangan Minimum Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas Arah Sumbu X dan Y  $\square$  Spasi Tulangan Spasi maksimum tulangan Diambil nilai terkecil dari  $S_{max 1} = 2 t = 300$  mm  $S_{max 2} = 450$  mm Maka diambil spasi sebesar  $250$  mm Jumlah tulangan negatif tumpuan dianalisis per 1 meter)  $n = 1000$  mm spasi =  $4$  Diameter tulangan yang digunakan =  $D10$  Jarak bersih antar tulangan = spasi -  $d_b = 240$  mm Cek Jarak bersih  $\geq d_b$  dan  $25$  mm  $240$  mm  $\geq d_b$  dan  $25$  mm (OK)  $\square$  As minimum As minimum diambil nilai terbesar antara: Nilai b diambil  $1000$  mm  $A_{smin 1} = (0,18\% \times 420 f_y) \times b \times t = 270$  mm<sup>2</sup>  $A_{smin 2} = 0,14\% \times b \times t = 210$  mm<sup>2</sup>  $\square$  As Pasang Pasang 4 tulangan  $A_s$  pasang =  $n 1 4 \pi D^2 = 314,159$  mm<sup>2</sup>  $A_{smin} \geq A_s$  pasang (OK)  $\square$  Kapasitas momen  $\alpha = A_s f_y / 85 f_c' b = (314,159)(420) / (85)(30)(1000) = 5,174$  mm  $M_n = A_s f_y (d - d_b -$

REPORT #27529819

$a_2 = 13,513 \text{ kNm}$   $c = \alpha \beta_1 = 6,192 \text{ mm}$   $\epsilon_s = d - c$   $c = 0,003$   $= 0,053$  Karena  $\epsilon_s \geq 0,005$ , maka:  $\phi = 0,9$   $\phi M_n = 12,162 \text{ kNm}$   $M_u$ , tumpuan  $= 6,440 \text{ kNm}$  Cek  $\phi M_n \geq M_u$  (OK) 4  
 . Pengecekan Kapasitas Geser Kapasitas Geser Beton  $V_C = 0,17 \times \sqrt{f_c'} b \times d$  Faktor reduksi kekuatan untuk geser adalah:  $\phi = 0,75$  Ambang batas geser pelat,  $0,5 \times \phi \times V_C = 40,155 \text{ kN}$  Cek apakah perlu tulangan geser  $V_u > 0,5 \times \phi \times V_C$   $65,52 \text{ kN} > 40,155 \text{ kN}$  Maka diperlukan pengecekan tulangan geser 5. Lendutan Plat  $\square$  Kapasitas Retak Lentur Momen inersia pelat (meninjau lebar pelat  $1000 \text{ mm}$ )  $I_g = 1/12 \times 1000 \times t^3 = 281250000 \text{ mm}^4$  Tegangan retak  $f_r = 0,62 \sqrt{f_c'} = 3,396 \text{ MPa}$  Garis Netral  $y_t = 75 \text{ mm}$  Kapasitas Retak Lentur  $M_{cr} = f_r I_g = 12,735 \text{ kNm}$  Momen inersia retak  $I_{cr} = 0,25 I_g = 70312500 \text{ mm}^4$   $\square$  Lendutan Arah Sumbu 1 M a lapangan  $= \sum M_{11 \text{ max}} = 11,85 \text{ kNm}$  M a tumpuan  $= \sum M_{11 \text{ min}} = -5,33 \text{ kNm}$  I e lapangan  $= (M_{cr} - M_a) / 3 I_g + [1 - (M_{cr} - M_a) / 3] I_{cr} = 281250000 \text{ mm}^4$  I e tumpuan  $= (M_{cr} - M_a) / 3 I_g + [1 - (M_{cr} - M_a) / 3] I_{cr} = 281250000 \text{ mm}^4$  I e rata-rata  $= 281250000 \text{ mm}^4$  Cek Lendutan 1. Lendutan Seketika Syarat Lendutan izin maksimum akibat LL  $\delta_{izin} = l^3 / 360 = 5000 / 360 = 13,889 \text{ mm}$  Lendutan seketika yang terjadi akibat LL  $\delta_{\zeta} = 5,48 L^2 / E_c \times I_g \times \zeta$   $\delta_{\zeta} = 2,28 \text{ mm}$   $\delta_{izin} > \delta_{\zeta}$  (OK) 2.  
 Lendutan Seketika Syarat Lendutan Jangka Panjang  $\delta_{izin} = l^3 / 240 = 20,833 \text{ mm}$  Faktor Jangka Panjang  $\lambda = 2,1 + 50 \times d = 1,76$  Lendutan jangka panjang yang terjadi  $\delta_{DL} = 5,48 L^2 / E_c \times I_g \times (M_{22 \text{ Max Akibat DL}} + (0,2 \times M_{22 \text{ Min Akibat DL}})) \times 1,76$   $\delta_{DL} = 1,75 \text{ mm}$   $\delta_{SIDL} = 5,48 L^2 / E_c \times I_g \times (M_{22 \text{ Max Akibat SIDL}} + (0,2 \times M_{22 \text{ Min Akibat SIDL}})) \times 1,76$   $\delta_{SIDL} = 0,616 \text{ mm}$  Lendutan Jangka Panjang  $\delta_i = (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) \times \lambda + \delta_{\zeta} = 6,443 \text{ mm}$   $\delta_{izin} > \delta_i$  (OK)  $\square$  Lendutan Arah Sumbu 2 M a lapangan  $= \sum M_{11 \text{ max}} = 4,54 \text{ kNm}$

REPORT #27529819

$M_a \text{ tumpuan} = \sum M_{11 \text{ min}} = -6,13 \text{ kNm}$ 
  
 $M_{cr} M_a = 3 I g + [1 - (M_{cr} M_a)^3] I$ 
  
 $cr = 281250000 \text{ m}^4$ 
  
 $M_a \text{ tumpuan} = (M_{cr} M_a)^3 I g + [1 - (M_{cr} M_a)^3] I$ 
  
 $cr = 281250000 \text{ m}^4$ 
  
**6.7 Cek Lendutan 1. Lendutan Seketika Syarat**
  
**Lendutan izin maksimum akibat LL**  $\delta_{\text{izin}} = l^3 / 360 = 5000^3 / 360 = 13,8$ 
  
**89 mm** Lendutan seketika yang terjadi akibat LL  $\delta_{\text{;}} = 5,48 \text{ L}^2$ 
  
 $E_c \times I_g \times \delta_{\text{;}} = 0,928 \text{ mm}$ 
  
 $\delta_{\text{izin}} > \delta_{\text{;}}$  (OK)
   
**2. Lendutan Jangka Panjang Syarat**
  
**Lendutan Jangka Panjang**  $\delta_{\text{izin}} = l^4 / 240 = 20,8$ 
  
**33 mm** Faktor Jangka Panjang  $\lambda = 2,1 + 50 \times d = 1,76$ 
  
**Lendutan jangka panjang yang terjadi**  $\delta_{DL} = 5,48 \text{ L}^2 E_c \times I_g \times (M_{22 \text{ Max Akibat DL}} + (0,2 \times M_{22 \text{ Min Akibat DL}})) \times 1$ 
  
 $6 \delta_{DL} = 0,893 \text{ mm}$ 
  
 $\delta_{SIDL} = 5,48 \text{ L}^2 E_c \times I_g \times (M_{22 \text{ Max Akibat SIDL}} + (0,2 \times M_{22 \text{ Min Akibat SIDL}})) \times 10$ 
  
 $6 \delta_{SIDL} = 0,252 \text{ mm}$ 
  
**Lendutan Jangka Panjang**  $\delta_i = (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) \times \lambda + \delta_{\text{;}} = 2,944 \text{ mm}$ 
  
 $\delta_{\text{izin}} > \delta_i$  (OK)
   
 Karena lendutan jangka panjang lebih kecil dibanding syarat, maka OK 4.10.1.8.

**Desain Dinding Geser 1. Section Properties 2. Output Gaya Dalam**
  
**Output gaya dalam dinding geser** ditampilkan pada 3.
   
**Kebutuhan Tulangan Minimum**
  
 Dalam menghitung kebutuhan tulangan minimum, terdapat 3 zona
   
**Batas Zona 1**  $0,083 A_{cv} f_c', 5 = 399371 \text{ N}$ 
  
**Batas Zona 2**  $0,17 A_{cv} f_c', 5 = 817990 \text{ N}$ 
  
 Di luar kedua zona tersebut, akan masuk ke
   
**Zona 3**
  
**Gaya geser yang didapat** adalah  $V_u \phi = 113680,7$ 
  
 $5 = 151573 \text{ N}$ 
  
 Sehingga masuk ke Zona 1
   
**Rasio Tulangan Longitudinal Minimum untuk Zona 1** = 0,25%
   
**Rasio Tulangan Transversal Minimum untuk Zona 1** = 0,25%
   
 Disarankan menggunakan 2 lapis tulangan
   
**Pengecekan Terhadap Gaya Aksial-Lentur**
  
**Spasi Tulangan Maksimum**
  
**Spasi maksimum tulangan** adalah 450 mm, maka diambil spasi sebesar 100mm
   
**Rasio Tulangan Longitudinal**  $\rho_1 = n \text{ lapis} \times (\pi \times d^2 / 4) \times t$ 
  
 $w \times s = 3,620\%$ 
  
**6.9 Cek terhadap rasio tulangan longitudinal minimum (0,25%)**
  
 $\rho_1 \geq \rho_{1 \text{ min}}$  (OK)
   
**Pengecekan Kapasitas Geser**
  
**Spasi tulangan**

an maksimum  $s \geq 450$  mm Maka digunakan spasi 200 mm Rasio Tulangan Transversal  $\rho_1 = n \text{ lapis} \times (\pi \times d^2) / t_w \times s = 0,6$   
 32% Cek terhadap rasio tulangan longitudinal minimum (0,25%)  $\rho_1 \geq \rho_{1 \text{ min}}$  (OK) Kuat Geser Dinding  $h_w L_w = 25500 / 5000 = 5,1$  Kar  
 ena  $h_w L_w$  lebih besar dari 2, maka nilai  $\alpha_c = 0,17$   
 $n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_t f_y) = 3605368$  N Batas Kua  
 t Geser Dinding  $V_n \text{ max} = 0,66 A_{cv} \sqrt{f_c'} = 3175725$  N K  
 uat Geser yang dipakai untuk cek kapasitas geser adalah nilai terkecil dari kuat geser dinding dan batas kuat geser dinding Maka,  $V_n$   
 pakai  $= 3175725$  N Cek kapasitas geser  $V_n \text{ pakai} \geq V_u \phi$  3175725  
 $N \geq 151573$  N (OK) 4.10.2. Makasar 4.10.2.1. Balok 300x500 Gaya dalam balok 300x500 adalah sebagai berikut 4.10.2.2. Kolom 700x700 Gaya dalam yang terjadi pada kolom dapat dilihat pada Hasil desain penulangan ditunjukkan pada 4.10.2.3. Kolom 600 x 600 Gaya dalam yang terjadi pada kolom diuraikan pada Hasil desain penulangan ditampilkan pada 4.10.2.4. Pelat Lantai Gaya dalam yang terjadi pada pelat adalah sebagai berikut Maka penulangan yang diperlukan untuk pelat lantai dijelaskan pada 4.10.2.5. Dinding Geser Gaya dalam yang terjadi pada dinding geser dapat dilihat pada Hasil desain tulangan diuraikan pada 4.11. Pemodelan Plastic Hinges Untuk dapat menggambarkan respons inelastik struktur akibat beban pushover, elemen-elemen struktur pada model diberikan sendi plastis (plastic hinges). Untuk memahami perilaku struktur terhadap beban pushover, enam skenario pushover dianalisis sebagai berikut: 71 ☒ Skenario 1: Model struktur di Padang, dilakukan pushover arah X (UX+). ☒ Skenario 2: Model struktur di Padang, dilakukan pushover arah Y (UY+). ☒ Skenario 3: Model struktur di Makasar, dengan dimensi dan penulangan yang sama seperti Padang (meskipun beban gempa berbeda), dilakukan pushover arah X (UX+). ☒ Skenario 4 : Model struktur di Makasar, dengan dimensi dan penulangan yang sama, dilakukan pushover arah Y (UY+). ☒ Skenario 5: Model struktur di Makasar, dengan penulangan balok yang disesuaikan berdasarkan beban

gempa Makasar, dilakukan pushover arah X (UX+). Skenario 6: Mode I struktur di Makasar, dengan penulangan balok yang disesuaikan, dilakukan pushover arah Y (UY+). Perbandingan keenam skenario ini memungkinkan evaluasi pengaruh lokasi gempa (Padang vs. Makasar), arah gempa (X vs. Y), dan pengaruh penulangan (sama vs. berbeda) terhadap performa struktur dalam konteks pushover analysis dan pendekatan desain berbasis kinerja.

#### 4.11.1. Plastic Hinges pada Balok – Model Padan

g Skenario 1 dan 2 serta Model Makasar Skenario 3 dan 4 Untuk menentukan modeling parameter dan acceptance criteria dibutuhkan menghitung  $\rho - \rho'$  balok.  $\rho$  balok dicari dengan cara berikut.  $\rho$  balok =

$$\left( \frac{0,85 \beta_1 f_c' f_y}{600 \times 600 + f_y} \right) = \left( \frac{0,85 \times 0,8 \times 35 \times 420}{600 \times 600 + 420} \right) = 0,033$$

Sehingga,  $\rho - \rho'$  balok =  $1,16\% - 1,45\% = -0,29\%$  Selanjutnya mencari nilai  $V_b w d \sqrt{f_c E'}$ , nilai V dihitung berdasarkan rumus berikut

$$V = M_{pr1} + M_{pr2} l + W_u \times l^2$$

Total beban dari komposisi di bawah setelah dikalikan dengan tributary area, mendapatkan hasil sebagai berikut.  $(1,2 + 2 \text{ SD S}) \text{ DL} + (1,2 + 2 \text{ SD S}) \text{ SIDL} + 0,5 \llcorner 112625 \text{ N}$  Maka nilai  $W_u$  adalah

$$W_u = 112625 \text{ N} / l = 112625 / 5000 = 22,525 \text{ N}$$

$$V = M_{pr1} + M_{pr2} l + W_u \times l^2 = 312349293 + 379280299 \times 4300 + 22,525 \times 5000^2$$

$$V = 160844,09 \text{ N} + 56312,5 \text{ N} = 217156,59 \text{ N}$$

$$w d \sqrt{f_c E'} = 217156,59 \text{ N} / 300 \times 436 \sqrt{52,5 \text{ MPa}} = 0,23$$

Karena nilai  $\rho - \rho'$  balok  $\leq 0,23$ , dan  $V_b w d \sqrt{f_c E'} \leq 0,25$  maka nilai a, b, c yang diambil sebagai modeling parameter ditunjukkan oleh Maka, modeling parameter yang diambil dijelaskan pada Karena Autodesk Robot mengalami kendala atau error jika memasukan moment dengan menggunakan rasio, maka nilai momen perlu dikonversi ke satuan gaya (kNm) dengan cara mengalikannya dengan nilai yield moment. Untuk mencari yield moment, digunakan software Response 2000 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mendefinisikan section properties Section properties didefinisikan dalam 4 step, seperti

yang ditampilkan pada Gambar 4.21, 4.22, 4.23, dan 4.24. Berdasarkan hasil kurva moment-curvature yang diperoleh, nilai yield moment balok ditentukan sebesar 248 kNm. Dengan menggunakan nilai ini, maka modeling parameter menjadi seperti Tabel 4.50 di bawah ini Adapun Kriteria penerimaan (plastic rotation angle) dalam radian berdasarkan table 10-7 ASCE 41-17 adalah 0,01 untuk IO; 0,025 untuk LS; dan 0,05 untuk CP

Setelah mendapatkan semua nilai parameter, plastic hinges dimodelkan sebagai berikut pada software Autodesk Robot, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.26. Pemodelan plastic hinges ini di-assign ke 0,1 dan 0,9 panjang relatif dari balok pada semua lantai 4.11.2. Plastic Hinges pada Kolom – Model Padang Skenario 1 dan 2 serta Model Makasar Skenario 3 dan 4 Berdasarkan tabel 10-8 ASCE 41-17, nilai a, b, c untuk modeling parameter dihitung berdasarkan rumus.  $a = 1,8 \rho t$

$$f_y t E \rho l f_y t E = 1,8 \times 0,0011 \times 375,02 \times 525 = 0,0049$$

$$b = 0,012 - 0,085 N U D A g f c E' + 12 \rho t = 0,012 - 0,085 274505$$

$$0 N 490000 \times 52,5 + 12(0,0011) = 0,016$$

$$c = 0,15 + 36 \rho t = 0,15 + 36 \times 0,0011 = 0,1896$$

Sehingga menghasilkan modeling parameter yang diuraikan pada Tabel 4.51 Nilai yield moment yang didapat dari Response 2000 tampak pada Gambar 4.27 Berdasarkan hasil kurva moment-curvature yang diperoleh, nilai yield moment kolom ditentukan sebesar 1000 kNm. Jika dikalikan dengan yield moment kolom, hasilnya ada pada Tabel 4.52 Kriteria penerimaan untuk IO adalah 0,0. Kemudian untuk Tingkat kinerja LS adalah 0,5b yaitu sebesar 0,008 dan untuk CP adalah 0,7b yaitu sebesar 0,0112.

4.11.3. Plastic Hinges pada Balok – Model Makasar skenario 5 dan 6 Modeling parameter yang digunakan untuk elemen balok model Makasar ditampilkan pada Tabel 4.53

4.11.4. Plastic Hinges pada Kolom – Model Makasar skenario 5 dan 6 Modeling parameter yang digunakan untuk elemen balok model Makasar dapat dilihat dari Tabel 4.54

4.12. Pushover Analysis Pushover analysis dilakukan dengan menambahkan Push over ke Analysis Type. Analisis ini dilakukan dalam dua arah, yaitu UX+ dan UY+, untuk merepresentasikan

arah gempa. Pendefinisian dilakukan seperti Nilai maksimum displacement ditentukan secara bertahap, dimulai dari batas simpangan antar lantai maksimum untuk kondisi elastis, hingga mencapai sekitar 3–4% dari tinggi total gedung yang mewakili kondisi Collapse Prevention (CP). Karena struktur gedung memiliki tinggi total sebesar 25,5 meter, maka simpangan maksimum akhir yang digunakan dalam analisis adalah 1000 mm. Pushover dilakukan pada titik/ node tengah pelat lantai lantai paling atas (lantai 8), yaitu node nomor 15001. Semua node lainnya pada lantai 8 dihubungkan ke titik tersebut dengan rigid link, seperti Gambar 4.29. Pada rigid link, terdapat pengaturan arah pergerakan (degrees of freedom) yang dapat dikunci, yaitu UX, UY, UZ, RX, RY, dan RZ. Terlihat pada Gambar 4.230, semua arah dikunci kecuali arah yang sesuai dengan arah pembebanan pushover.

#### 4.13. Capacity Curve

Kriteria penerimaan secara global ditentukan berdasarkan nilai drift ratio. Pada penelitian ini, batasan drift yang digunakan sebagai kriteria penerimaan tingkat kinerja Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), dan Collapse Prevention (CP) ditentukan berdasarkan rumus empiris pada ASCE 41-23. Capacity curve yang didapat dari hasil pushover arah X dan Y model Padang skenario 1 dan 2 dan model Makasar skenario 3 dan 4 ditampilkan pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 berikut. Dari capacity curve tersebut dapat dilihat Spectral Displacement ( $S_d$ ) yang terjadi sebesar 98,2 mm untuk arah X dan 166,7 mm untuk arah Y, sedangkan nilai Spectral Acceleration ( $S_a$ ) adalah sekitar 0,54g untuk arah X dan 0,25g untuk arah Y. Arah X mampu menahan gaya base shear hingga 11660,31 kN dan arah Y hanya menahan sekitar 5303,17 kN. Sehingga dapat dibandingkan Skenario 1 dan Skenario 2 pada Gambar 4.33. Dari grafik pada Gambar 4.33 dapat dilihat dari kemiringan kurva, bahwa model Padang arah X lebih dapat menahan gaya lateral dibandingkan arah Y sehingga grafik arah Y lebih landai. Konfigurasi struktur arah X juga lebih mampu menahan spectral acceleration lebih besar pada displacement yang sama. Pada displacement

50 mm, struktur arah X dapat menahan spectral acceleration hingga 0,3g sedangkan struktur arah Y hanya dapat menahan 0,13g. Arah X juga dapat menahan base shear lebih besar daripada arah Y. Keunggulan ini disebabkan oleh adanya dinding geser pada konfigurasi struktur arah X yang dapat berfungsi sebagai penahan gaya lateral tambahan, sehingga meningkatkan kapasitas base shear. Selanjutnya, dapat dicek perpindahan yang terjadi pada gedung terhadap target perpindahan yang terdapat pada ASCE 41-23 Pasal 7.4.3.3. Cek perpindahan arah X  $T_e X = 2 \pi \sqrt{S_d S_a} \times g = 2 \pi \sqrt{0,0982, 54 \times 9, 81} = 0,855$  detik

Target perpindahan berdasarkan ASCE 41-23  $\delta t = C C 1 C 2 S_a T_e 2 4 \pi 2 g V y$  arah x = 3097, 76 kN  $\mu$  strength X

$= S_a V y / W C m = , 54 3097, 76 / 28912, 425, 8 = 4, 03$

$C 1 X = 1 + \mu \text{ strength} - 1$  a T e 2 = 1 + 4, 03 - 1 60  $\times 0,855^2 = 1, 07$

$C 2 X = 1 + 1 800 (\mu \text{ strength} - 1 T_e)^2 = 1 + 1 800 (4, 03 - 1 T_e)^2 = 1,016$  Maka targ

et perpindahan arah X  $\delta t X = 1, 46 \times 1, 07 \times 1,016 \times , 54$

$0,855^2 4 \pi 2 9, 81 = 0,156$  meter = 156 mm 156 mm  $\geq 98, 2$  mm (OK)

Cek perpindahan arah Y  $T_e Y = 2 \pi \sqrt{S_d S_a} \times g = 2 \pi \sqrt{0,1667, 25 \times 9, 81} = 1,638$  detik Target perpindah

an  $\delta t = C C 1 C 2 S_a T_e 2 4 \pi 2 g V y$  arah

Y = 2810, 54 kN 77  $\mu$  strength Y =  $S_a V y / W C m = , 2$

$5 2810, 54 / 28912, 425, 9 = 2, 31$

$C 1 Y = 1 + \mu \text{ strength} - 1$  a T e 2 = 1 + 2, 31 - 1 60  $\times 1,638^2 = 1, C 2 Y = 1 +$

$1 800 (\mu \text{ strength} - 1 T_e)^2 = 1 + 1 800 (2, 31 - 1 T_e)^2 = 1, 25$

Maka target perpindahan arah Y  $\delta t Y = 1, 46$

$\times 1, \times 1, \times , 25 1,638^2 4 \pi 2 9, 81 = 0,246$  meter

= 246 mm 246 mm  $\geq 167$  mm (OK) Sehingga dapat disimpulkan seper

ti pada Tabel 4.55 Tabel 4.55 menunjukkan bahwa model Gedung daerah Padang sudah memenuhi target displacement yang diatur pada ASCE 41-23 Pasal 7.4.3.3. Selanjutnya, akan dilakukan perbandingan antara model Padang dan Makasar. Untuk memahami sejauh mana perbedaan kinerja

struktur antara model Padang dan Makasar akibat perbedaan beban gempa dan hasil desain, dilakukan perbandingan antara model Padang dan Makasar. Perbandingan dilakukan antara skenario 1 dan skenario 3, serta skenario 2 dengan skenario 4. Hasil dari cap acity curve arah X dan arah Y menampilkan tidak ada perbedaan antara kedua model. Hal ini dikarenakan pushover analysis hanya menganalisis kapasitas lateral struktur dan tidak ada kaitannya dengan beban gempa. Inilah salah satu alasan mengapa Performance-Based Design (PBD), yang salah satunya menggunakan pushover analysis, dinilai lebih efisien secara biaya. Struktur yang didesain dengan nilai parameter gempa  $C_s$  yang lebih besar, seperti Padang, akan diperlakukan sama dengan struktur yang didesain dengan  $C_s$  lebih kecil, yaitu di Makasar karena beban gempa tidak berpengaruh. Dengan demikian, jika struktur yang didesain berdasarkan  $C_s$  Makassar sudah memenuhi target kinerja setelah pushover analysis, maka struktur tersebut juga dianggap layak untuk digunakan di Padang. Hal ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan dimensi atau jumlah tulangan, asalkan tetap memenuhi kinerja yang disyaratkan. Kemudian, untuk skenario 5 dan skenario 6, model Makasar didesain dengan tulangan berbeda sesuai dengan hasil desain elemen, hasilnya akan menunjukkan capacity curve yang berbeda. Perbedaan desain terletak pada penulangan longitudinal balok yang dapat dilihat dari Tabel 4.56. Capacity curve yang didapat dari hasil pushover arah X dan Y model Makasar ditampilkan pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 berikut. Dari capacity curve tersebut dapat dilihat Spectral Displacement ( $S_d$ ) yang terjadi sebesar 94,3 mm untuk arah X dan 163,6 mm untuk arah Y, sedangkan nilai Spectral Acceleration ( $S_a$ ) adalah sekitar 0,52g untuk arah X dan 0,22g untuk arah Y. Arah X mampu menahan gaya base shear hingga 10929,96 kN dan arah Y hanya menahan sekitar 4050,63 kN. Kemudian dilakukan pengecekan terhadap target displacement berdasarkan ASCE 41-23. Cek perpindahan arah X  $T_e X = 2 \pi \sqrt{S_d}$   
 $S_a \times g = 2 \pi \sqrt{0,0943, 52 \times 9, 81} = 0,854$  detik Target perp

REPORT #27529819

indahan  $\delta t = C C 1 C 2 S a T e 2 4 \pi 2 g 79 V y$  ara  
 $h_x = 1486,925 \text{ kN } \mu \text{ strength } X = S a V y / W C m = , 52 14$   
 $86,925 / 28912,425 , 8 = 8 , 09 C 1 X = 1 + \mu \text{ strength } -1 a T e$   
 $2 = 1 + 8 , 09 - 1 60 \times 0,854 2 = 1 , 16 C 2 X = 1 + 1$   
 $800 ( \mu \text{ strength } -1 T e ) 2 = 1 + 1 800 ( 7 , 93 - 1 T e$   
 $) 2 = 1 , 09$  Maka target perpindahan arah X  $\delta t X = 1 , 46$   
 $\times 1 , 16 \times 1 , 09 \times , 52 0,769 2 4 \pi 2 9 , 81 = 0,174$   
 meter = 174 mm 174 mm  $\geq 94 , 3 \text{ mm ( OK )}$  Cek perpindahan ara  
 $h Y T e Y = 2 \pi \sqrt{ S d S a \times g } = 2 \pi \sqrt{ 0,1636 , 22 \times$   
 $9 , 81 = 1 , 73$  detik Target perpindahan  $\delta t = C C 1 C 2 S$   
 $a T e 2 4 \pi 2 g V y$  arah Y = 900,981 kN  $\mu \text{ strength } Y =$   
 $S a V y / W C m = , 22 900,981 / 28912,425 , 9 = 6 , 35 C$   
 $1 Y = 1 + \mu \text{ strength } -1 a T e 2 = 1 + 6 , 35 - 1 60 \times 1$   
 $, 73 2 = 1 , 03 C 2 Y = 1 + 1 800 ( \mu \text{ strength } -1 T e$   
 $) 2 = 1 + 1 800 ( 6 , 35 - 1 T e ) 2 = 1 , 01$  Maka targ  
 et perpindahan arah Y  $\delta t Y = 1 , 46 \times 1 , 03 \times 1 , 01$   
 $\times , 22 1,723 2 4 \pi 2 9 , 81 = 0,249$  meter = 249 mm 249 mm  $\geq$   
 163 , 6 mm ( OK ) Sehingga dapat disimpulkan seperti pada Tabel

4.57 Model Gedung daerah Makasar sudah memenuhi target displacement yang  
 diatur pada ASCE 41-23 Pasal 7.4.3.3 Selanjutnya, akan dilakukan  
 perbandingan antara model Padang skenario 1 dan model Makasar skenario  
 5 yang menggunakan desain tulangan yang berbeda. Perbandingan diawali  
 dengan analisis capacity curve arah X dari masing-masing model. Dapat  
 dilihat dari Gambar 4.36, capacity curve arah X pada model Padang  
 dan Makassar tidak berbeda jauh. Model Padang X mencapai spectral  
 displacement 98,2 mm dan dapat menahan spectral acceleration hingga  
 0,54g sedangkan model Makasar X mencapai spectral displacement sekitar  
 94,3 mm dengan spectral acceleration sekitar 0,52g. Hal ini dikarenakan  
 model arah X diperkuat oleh dinding geser sehingga perbedaan penulangan  
 balok tidak terlalu mempengaruhi. Selanjutnya, dilakukan perbandingan  
 capacity curve untuk pushover arah Y, yaitu perbandingan antara skenario

2 dan skenario 6. Dari Gambar 4.37 dapat terlihat perbedaan yang cukup signifikan akibat perbedaan penulangan balok. Penulangan balok mempengaruhi kapasitas momen leleh ( yield moment ) balok yang kemudian berpengaruh pada kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral. Pada displacement 60 mm, model Padang mampu menahan spectral acceleration hingga 0,15g sedangkan model Makasar hanya 0,09g. Kemudian, pada displacement maksimum sekitar 160 mm, model Padang mampu menahan spectral acceleration hingga 0,25g sedangkan model Makasar hanya 0,22g.

81 Hasil perbandingan menunjukkan bahwa Pushover hanya mengevaluasi kapasitas struktur, yaitu seberapa besar gaya lateral yang dapat ditahan dan seberapa besar deformasi yang terjadi. Analisis pushover tidak mempertimbangkan beban gempa di suatu daerah, namun beban gempa ini mempengaruhi hasil desain penulangan.

#### 4.14. Analisis sendi plastis – No de Rotation

Analisis pushover pada struktur ini dilakukan dalam 6 increment pembebanan pada arah X dan 7 increment pada arah Y. Pada setiap increment, nilai rotasi pada masing-masing node sendi plastis diamati dan dibandingkan dengan kriteria penerimaan rotasi berdasarkan tingkat kinerja struktur. Pada pushover arah Y, struktur mengalami lentur pada bidang XZ, sehingga rotasi plastis terjadi terhadap sumbu X ( $R_x$ ). Demikian pula, pada pushover arah X, lentur terjadi pada bidang YZ, sehingga rotasi plastis yang ditinjau adalah terhadap sumbu Y ( $R_y$ ). Contoh pembentukan sendi plastis pada setiap increment ditampilkan secara urut mulai dari increment ke-1 sampai ke-7 pada Gambar 4.37, Gambar 4.38, Gambar 4.39, Gambar 4.40, Gambar 4.41 sebagai contoh yang didapat dari Skenario 2. Base shear yang terjadi pada setiap incrementnya ditampilkan pada Tabel 4.58. Sebagai pembandingan, nilai base shear dari hasil analisis statik ekuivalen linear adalah sebesar 2810,54 kN. Struktur gedung masih berada dalam kriteria penerimaan Immediate Occupancy (IO) pada increment ke-1 hingga ke-3 seperti pada Gambar 4.38. Hal ini menunjukkan bahwa gaya geser dasar ( base shear ) hasil analisis elastik masih dapat ditahan struktur

dalam kondisi di mana seluruh elemen struktural masih memenuhi kriteria IO. Sendi plastis mulai terbentuk saat increment ke-4, seperti pada Gambar 4.39 berikut Selanjutnya untuk mengetahui banyaknya node rotation yang memenuhi kriteria penerimaan dari target kinerja BSE-1N yaitu Life Safety (LS), semua node dijumlahkan ke dalam tabel. Tabel 4.59 menampilkan jumlah node yang masuk ke kriteria penerimaan kinerja struktur hasil pushover arah X skenario 1 dan 3 yang hasilnya sama, sementara Tabel 4.60 menampilkan node arah Y skenario 2 dan 4. Dari Tabel 4.59, diketahui bahwa sebagian besar node pada semua lantai masih berada pada tingkat kinerja Immediate Occupancy (IO) hingga increment keempat. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur masih dapat beroperasi tanpa kerusakan yang signifikan. Namun, pada increment ke-5 mulai terlihat adanya nilai rotasi yang melewati kriteria IO sehingga mulai beralih ke Life Safety (LS), mulai mengalami kerusakan, khususnya pada balok-balok di lantai 3 dan 4. Ini terjadi sesuai dengan elastic displacement yang telah dibahas pada Tabel 4.15 dimana drift yang besar mulai terjadi dari lantai 3 dan 4. Tidak ada node yang mencapai tingkat Collapse Prevention (CP), maka dapat disimpulkan bahwa struktur memiliki tingkat kinerja sesuai yang ditargetkan untuk beban BSE-1N yaitu Life Safety (LS). Tabel 4.60 menunjukkan bahwa struktur memenuhi target kinerja seismik gedung baru kategori II dengan Tingkat bahaya BSE-1N, yaitu minimal Life Safety (LS) dan bahkan didominasi oleh node rotation yang berada dalam level kinerja IO. Sehingga dapat diketahui bahwa struktur yang didesain berdasarkan pendekatan preskriptif memenuhi target kinerja pada ASCE 41- 17. Berdasarkan hasil node rotation yang terjadi di arah X (skenario 1 dan 3) dan arah Y (skenario 2 dan 4), dapat dilihat persentase node yang masuk ke kriteria LS dibandingkan dengan 83 keseluruhan node, seperti yang ditampilkan pada grafik di Gambar 4.43. Pada arah X, persentase node rotation yang masuk ke kriteria LS meningkat secara signifikan pada increment ke-5 yaitu sebesar 22,92% dan melonjak pada increment ke-6

menjadi 41,67%. Sedangkan pada arah Y, persentase sudah mulai meningkat signifikan lebih awal yaitu pada increment ke-4 sebesar 25% lalu bertambah secara bertahap ke increment ke-5 sebesar 35,42%, increment ke-6 sebesar 39,58%, dan mencapai 41,67% pada increment ke-7. Hal ini menunjukkan bahwa struktur pada arah X memiliki kemampuan menahan gaya lateral yang lebih tinggi karena adanya dinding geser. Selanjutnya, Tabel 4.61 dan Tabel 4.62 menampilkan hasil node rotation dari pushover arah X dan Y model makasar skenario 5 dan 6. Sebagai bagian dari evaluasi kinerja struktur, dilakukan analisis terhadap persentase jumlah sendi plastis yang masuk kategori Life Safety (LS) pada arah X dan Y untuk model Padang dan Makassar. Gambar 4.44 berikut menunjukkan perbandingan skenario 1 dengan skenario 5 untuk hasil pushover arah X Berdasarkan Gambar 4.44, diketahui bahwa kedua model mulai mempunyai node yang masuk ke kriteria LS pada increment 5, namun persentase model Makasar skenario 5 sedikit lebih besar yaitu 27,08% dibandingkan model Padang skenario 1 yang hanya 22,92%. Demikian juga pada increment ke-6, persentase model Makasar skenario 5 mencapai 47,92% sedangkan Padang skenario 1 sebesar 43,75%. Perbedaan persentase dari kedua model ini tidak signifikan karena adanya dinding geser. Selanjutnya, dilakukan perbandingan persentase jumlah sendi plastis yang mencapai kategori Life Safety (LS) pada arah Y untuk model Padang skenario 2 dan Makassar skenario 6. Gambar 4.45 berikut menyajikan hasil perbandingan tersebut. Grafik pada Gambar 4.45 menunjukkan model makasar mengalami kenaikan persentase lebih cepat. Pada increment 1 persentase yang terjadi langsung sebesar 31,25%. Hal ini dikarenakan node memasuki kriteria LS lebih awal karena balok model Makasar skenario 6 memiliki nilai kapasitas momen lebih kecil daripada model Padang. Model Padang skenario 2 mulai mengalami kenaikan persentase pada increment ke-4 yang menandakan bahwa model ini mampu menahan beban lateral lebih besar. Hal ini sejalan dengan besarnya percepatan gempa di daerah Padang yang jauh lebih besar dari beban gempa di Makassar.

#### 4.15. Analisis sendi plastis – Momen Increment pada Kolom Terbentuknya

a sendi plastis pada kolom ditandai dengan berhentinya penambahan momen walaupun displacement terus bertambah. Proses terbentuknya sendi plastis sendi plastis dapat dikenali dari penurunan laju pertambahan momen seiring dengan bertambahnya increment. Hal ini menunjukkan bahwa kolom mulai mengalami perilaku nonlinear, yaitu ketika mendekati batas elastisnya, momen memang masih bertambah tapi tidak sebesar sebelumnya karena sebagian energi sudah tidak lagi tersimpan dalam bentuk deformasi elastis, melainkan mulai diserap oleh deformasi plastis (yield).

Lampiran 4 menunjukkan hasil moment increment pada kolom untuk model Padang dan Makasar. Untuk mengetahui perbedaan nilai moment pada setiap increment pushover, dilakukan perbandingan dengan mengamati kolom yang menerima momen terbesar, yaitu kolom nomor 45 85 pada Model Padang skenario 1 dan 2 dan Makasar skenario 3 dan 4 arah X dan arah Y. Dari Tabel 4.63 diatas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan laju pertambahan momen pada beberapa kolom. Hal ini menunjukkan bahwa kolom-kolom tersebut mulai memasuki tahap awal pembentukan sendi plastis. Namun, karena momen masih terus bertambah meskipun dengan laju yang menurun, kondisi plastis penuh belum sepenuhnya tercapai. Gambar 4.46 di bawah ini adalah contoh diagram yang menunjukkan penurunan pertambahan momen pada kolom. Perbandingan antara model Padang (skenario 1 dan 2) dan Makasar (skenario 5 dan 6) dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan signifikan dalam pertambahan momen kolom. Untuk arah X, dapat dilihat pada Tabel 4.64 bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan. Namun, perbandingan antara model Padang Y skenario 2 dan Makasar arah Y skenario 6 menunjukkan adanya perbedaan. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.65, pada model Makasar Y skenario 6, momen kolom sudah besar sejak increment pertama. Hal ini disebabkan oleh kapasitas balok yang lebih rendah akibat penulangan yang lebih kecil dibandingkan dengan model Padang Y skenario 2 sehingga gaya lateral yang diterima struktur lebih cepat disalurkan ke kolom sejak awal increment. Pada model

Makasar Y skenario 6, terlihat juga bahwa penambahan momen di kolom relatif lebih kecil pada increment selanjutnya dibandingkan dengan Padang Y skenario 2. Ini menggambarkan bahwa sendi plastis mulai terbentuk lebih awal pada kolom Makasar Y skenario 6 meskipun belum terbentuk sempurna dan kolom semakin mendekati kapasitas plastisnya. Maka dapat dikatakan kolom lebih cepat menerima beban besar dan mengalami proses plastifikasi lebih awal dibandingkan model Padang Y. 87 BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN 5.1. Kesimpulan Berdasarkan hasil desain dan evaluasi kinerja yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Gedung model Padang dan Makasar sudah didesain secara preskriptif Hasil dari desain elemen struktur ditampilkan pada Tabel 5.1. 2. Berdasarkan hasil analisis, struktur yang didesain secara preskriptif memenuhi target kinerja yang diatur dalam ASCE 41-23 Table 2-5 yaitu minimal mencapai tingkat kinerja Life Safety (LS) untuk tingkat bahaya BSE-1N. Hasil evaluasi pushover menunjukkan bahwa sebagian besar rotasi plastic hinge pada semua model masih berada pada tingkat kinerja Immediate Occupancy (IO) pada beberapa increment awal dan mulai masuk ke kriteria LS pada increment berikutnya. Tidak ada plastic hinge yang mencapai Collapse Prevention (CP), yang mengindikasikan bahwa meskipun struktur mengalami kerusakan dalam bentuk sendi plastis, tetapi struktur masih stabil dan aman dari keruntuhan total. Model struktur Gedung daerah Padang dan Makasar juga sudah memenuhi target displacement yang diatur pada ASCE 41-23 Pasal 7.4.3.3. 3. Perbandingan Skenario 1 dan 3, serta Skenario 2 dan 4 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan kinerja struktur antara model Padang dan Makasar jika dimensi dan penulangan baloknya dibuat sama, meskipun nilai beban gempa desain ( $C_s$ ) berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa, dengan desain berbasis kinerja menggunakan pushover analysis, struktur yang sama tetapi dikenakan intensitas beban gempa yang cukup berbeda dapat menghasilkan kinerja yang sama. Dengan demikian, untuk suatu struktur beton bertulang dengan dimensi dan penulangan tertentu, ada rentang beban gempa yang dikenakan

pada struktur tersebut dan menghasilkan kinerja struktur sama 4. Perbedaan mulai terlihat pada Skenario 5 dan 6, yaitu model Makasar dengan penulangan balok yang didesain berdasarkan beban gempa lokal. Dibandingkan dengan model Padang (Skenario 1 dan 2), model Makasar yang luas penulangannya lebih kecil menunjukkan: 1. Capacity curve dengan kapasitas base shear dan displacement maksimum yang lebih kecil, akibat kapasitas lateral struktur yang lebih rendah. 2. Plastic hinge rotation yang lebih cepat mencapai batas kinerja Life Safety (LS), yang menunjukkan bahwa struktur lebih cepat mengalami kerusakan plastis. 3. Momen pada dasar kolom lebih besar pada model struktur Padang dibanding pada model struktur Makasar, walaupun pada kedua model struktur tidak mencapai kondisi plastic hinge pada dasar kolom 5.2. Saran Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat dipertimbangkan untuk melakukan Pushover Analysis kedepannya adalah: 1. Proses running Pushover Analysis membutuhkan waktu yang lama, maka disarankan untuk menggunakan gawai dengan spesifikasi yang memenuhi. 2. Sebaiknya Pushover Analysis difokuskan pada elemen struktur utama seperti balok, kolom, dan dinding geser, tanpa memasukkan pelat lantai. Tujuannya agar analisis 89 menjadi lebih sederhana dan hasilnya lebih terfokus pada respons utama struktur terhadap beban lateral dan mempercepat waktu komputasi.



REPORT #27529819

## Results

Sources that matched your submitted document.

● IDENTICAL ● CHANGED TEXT

INTERNET SOURCE		
1.	<b>1.43%</b> repository.unwira.ac.id <a href="https://repository.unwira.ac.id/1165/3/BAB%20II%20LANDASAN%20TEORI.pdf">https://repository.unwira.ac.id/1165/3/BAB%20II%20LANDASAN%20TEORI.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
2.	<b>1.16%</b> erepository.uwks.ac.id <a href="https://erepository.uwks.ac.id/15629/3/BAB%202.pdf">https://erepository.uwks.ac.id/15629/3/BAB%202.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
3.	<b>1.16%</b> binamarga.pu.go.id <a href="https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/546/sni-84602017-persyaratan-peranc...">https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/546/sni-84602017-persyaratan-peranc...</a>	●
INTERNET SOURCE		
4.	<b>1.08%</b> eprints.umm.ac.id <a href="https://eprints.umm.ac.id/9756/3/BAB%20II.pdf">https://eprints.umm.ac.id/9756/3/BAB%20II.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
5.	<b>0.92%</b> repositori.untidar.ac.id <a href="https://repositori.untidar.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&amp;fid=44299&amp;bid=18428">https://repositori.untidar.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&amp;fid=44299&amp;bid=18428</a>	●
INTERNET SOURCE		
6.	<b>0.84%</b> library.binus.ac.id <a href="http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2011200276SPBab2001/...">http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2011200276SPBab2001/...</a>	●
INTERNET SOURCE		
7.	<b>0.77%</b> eskripsi.usm.ac.id <a href="https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2020/C.111.20.0138/C.111.20.0138-0..">https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2020/C.111.20.0138/C.111.20.0138-0..</a>	●
INTERNET SOURCE		
8.	<b>0.63%</b> repository.unkris.ac.id <a href="https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/1937/1/Buku%20Monograf%20-%20Kin...">https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/1937/1/Buku%20Monograf%20-%20Kin...</a>	●
INTERNET SOURCE		
9.	<b>0.53%</b> repository.bakrie.ac.id <a href="https://repository.bakrie.ac.id/1139/1/00%20Cover.pdf">https://repository.bakrie.ac.id/1139/1/00%20Cover.pdf</a>	●



REPORT #27529819

INTERNET SOURCE		
10.	<b>0.51%</b> journal.untar.ac.id <a href="https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/4299/2599">https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/4299/2599</a>	●
INTERNET SOURCE		
11.	<b>0.45%</b> media.neliti.com <a href="https://media.neliti.com/media/publications/498359-none-a5d1e24c.pdf">https://media.neliti.com/media/publications/498359-none-a5d1e24c.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
12.	<b>0.36%</b> eskripsi.usm.ac.id <a href="https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2020/C.131.20.0093/C.131.20.0093-0..">https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2020/C.131.20.0093/C.131.20.0093-0..</a>	●
INTERNET SOURCE		
13.	<b>0.36%</b> download.garuda.kemdikbud.go.id <a href="http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1338695&amp;val=916...">http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1338695&amp;val=916...</a>	●
INTERNET SOURCE		
14.	<b>0.33%</b> eprints.ums.ac.id <a href="https://eprints.ums.ac.id/58848/6/BAB%202.pdf">https://eprints.ums.ac.id/58848/6/BAB%202.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
15.	<b>0.32%</b> sipil.ejournal.web.id <a href="https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/download/580/389/">https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/download/580/389/</a>	●
INTERNET SOURCE		
16.	<b>0.31%</b> jurnal.untan.ac.id <a href="https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/download/66243/75676597...">https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/download/66243/75676597...</a>	●
INTERNET SOURCE		
17.	<b>0.3%</b> journal.untar.ac.id <a href="https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/6986/5268">https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/6986/5268</a>	●
INTERNET SOURCE		
18.	<b>0.27%</b> repository.unhas.ac.id <a href="https://repository.unhas.ac.id/23527/2/D051171009_skripsi_06-07-2022%201-2...">https://repository.unhas.ac.id/23527/2/D051171009_skripsi_06-07-2022%201-2...</a>	●
INTERNET SOURCE		
19.	<b>0.24%</b> repository.its.ac.id <a href="https://repository.its.ac.id/42317/1/3114030038_3114030062-Non_Degree.pdf">https://repository.its.ac.id/42317/1/3114030038_3114030062-Non_Degree.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
20.	<b>0.23%</b> eskripsi.usm.ac.id <a href="https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2020/C.111.20.0129/C.111.20.0129-1..">https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2020/C.111.20.0129/C.111.20.0129-1..</a>	●



REPORT #27529819

INTERNET SOURCE		
21.	0.23% repository.upi.edu <a href="http://repository.upi.edu/85405/3/S_TS_1804120_Chapter3.pdf">http://repository.upi.edu/85405/3/S_TS_1804120_Chapter3.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
22.	0.22% eskripsi.usm.ac.id <a href="https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2014/C.111.14.0049/C.111.14.0049-0..">https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2014/C.111.14.0049/C.111.14.0049-0..</a>	●
INTERNET SOURCE		
23.	0.22% eprints.umm.ac.id <a href="https://eprints.umm.ac.id/2083/3/BAB%20II.pdf">https://eprints.umm.ac.id/2083/3/BAB%20II.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
24.	0.2% download.garuda.kemdikbud.go.id <a href="http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1041988&amp;val=118...">http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1041988&amp;val=118...</a>	●
INTERNET SOURCE		
25.	0.19% eprints.unram.ac.id <a href="https://eprints.unram.ac.id/49434/2/ARTIKEL%20ILMIAH_Nabila%20Aulia_F1A02..">https://eprints.unram.ac.id/49434/2/ARTIKEL%20ILMIAH_Nabila%20Aulia_F1A02..</a>	●
INTERNET SOURCE		
26.	0.19% fcep.uui.ac.id <a href="https://fcep.uui.ac.id/kn-ilt/wp-content/uploads/sites/3/2023/08/Prosiding-KN-IL..">https://fcep.uui.ac.id/kn-ilt/wp-content/uploads/sites/3/2023/08/Prosiding-KN-IL..</a>	●
INTERNET SOURCE		
27.	0.16% hastomiaf.wordpress.com <a href="https://hastomiaf.wordpress.com/2013/08/23/kriteria-desain-seismik-berdasark...">https://hastomiaf.wordpress.com/2013/08/23/kriteria-desain-seismik-berdasark...</a>	●
INTERNET SOURCE		
28.	0.15% eprints.undip.ac.id:443 <a href="https://eprints.undip.ac.id:443/34083/6/1929_CHAPTER_II.pdf">https://eprints.undip.ac.id:443/34083/6/1929_CHAPTER_II.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
29.	0.14% repository.ukitoraja.ac.id <a href="http://repository.ukitoraja.ac.id/466/1/Perencanaan%20Gedung%20Berlantai...">http://repository.ukitoraja.ac.id/466/1/Perencanaan%20Gedung%20Berlantai...</a>	●
INTERNET SOURCE		
30.	0.14% digilib.itb.ac.id <a href="https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/555/jbptitbpp-gdl-robertnim1-27708-4...">https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/555/jbptitbpp-gdl-robertnim1-27708-4...</a>	●
INTERNET SOURCE		
31.	0.13% repository.unwira.ac.id <a href="https://repository.unwira.ac.id/1169/3/3%20BAB%20II%20LADASAN%20TEORI.p..">https://repository.unwira.ac.id/1169/3/3%20BAB%20II%20LADASAN%20TEORI.p..</a>	●



REPORT #27529819

INTERNET SOURCE		
32. 0.1%	<a href="https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/469/jbptitbpp-gdl-yunithaput-23416-3...">digilib.itb.ac.id</a>	●
	<a href="https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/469/jbptitbpp-gdl-yunithaput-23416-3...">https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/469/jbptitbpp-gdl-yunithaput-23416-3...</a>	
INTERNET SOURCE		
33. 0.09%	<a href="https://juraganmaterial.id/blog/tips-juragan/jenis-struktur-bangunan?srsltid=Af...">juraganmaterial.id</a>	●
	<a href="https://juraganmaterial.id/blog/tips-juragan/jenis-struktur-bangunan?srsltid=Af...">https://juraganmaterial.id/blog/tips-juragan/jenis-struktur-bangunan?srsltid=Af...</a>	
INTERNET SOURCE		
34. 0.09%	<a href="https://www.scribd.com/document/99657197/desain-kolom-beton-bertulang">www.scribd.com</a>	●
	<a href="https://www.scribd.com/document/99657197/desain-kolom-beton-bertulang">https://www.scribd.com/document/99657197/desain-kolom-beton-bertulang</a>	
INTERNET SOURCE		
35. 0.09%	<a href="https://eprints.umm.ac.id/3608/3/bab2.pdf">eprints.umm.ac.id</a>	●
	<a href="https://eprints.umm.ac.id/3608/3/bab2.pdf">https://eprints.umm.ac.id/3608/3/bab2.pdf</a>	
INTERNET SOURCE		
36. 0.08%	<a href="https://teslink.nusaputra.ac.id/article/download/224/72/">teslink.nusaputra.ac.id</a>	●
	<a href="https://teslink.nusaputra.ac.id/article/download/224/72/">https://teslink.nusaputra.ac.id/article/download/224/72/</a>	
INTERNET SOURCE		
37. 0.08%	<a href="http://eprints.umsb.ac.id/2676/">eprints.umsb.ac.id</a>	●
	<a href="http://eprints.umsb.ac.id/2676/">http://eprints.umsb.ac.id/2676/</a>	
INTERNET SOURCE		
38. 0.08%	<a href="https://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/download/624/346/295..">jurnalpermukiman.pu.go.id</a>	●
	<a href="https://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/download/624/346/295..">https://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/download/624/346/295..</a>	
INTERNET SOURCE		
39. 0.06%	<a href="http://repository.unsri.ac.id/158462/3/RAMA_22201_03011282025061_00311076...">repository.unsri.ac.id</a>	●
	<a href="http://repository.unsri.ac.id/158462/3/RAMA_22201_03011282025061_00311076...">http://repository.unsri.ac.id/158462/3/RAMA_22201_03011282025061_00311076...</a>	
INTERNET SOURCE		
40. 0.05%	<a href="https://e-journal.unper.ac.id/index.php/JITSi/article/download/460/431/1670">e-journal.unper.ac.id</a>	●
	<a href="https://e-journal.unper.ac.id/index.php/JITSi/article/download/460/431/1670">https://e-journal.unper.ac.id/index.php/JITSi/article/download/460/431/1670</a>	
INTERNET SOURCE		
41. 0.05%	<a href="http://repositori.uin-alauddin.ac.id/16361/1/Fitrawati.pdf">repositori.uin-alauddin.ac.id</a>	●
	<a href="http://repositori.uin-alauddin.ac.id/16361/1/Fitrawati.pdf">http://repositori.uin-alauddin.ac.id/16361/1/Fitrawati.pdf</a>	
INTERNET SOURCE		
42. 0.04%	<a href="https://www.academia.edu/91174428/Analisa_Penambahan_Dinding_Geser_pa...">www.academia.edu</a>	●
	<a href="https://www.academia.edu/91174428/Analisa_Penambahan_Dinding_Geser_pa...">https://www.academia.edu/91174428/Analisa_Penambahan_Dinding_Geser_pa...</a>	



REPORT #27529819

INTERNET SOURCE

**43. 0.02%** eprints.umm.ac.id

<https://eprints.umm.ac.id/2083/1/PENDAHULUAN.pdf>

