

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berikut merupakan beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait evaluasi parameter *displacement*.

- a. *Energy Efficiency Within Mid-Rise Residential Buildings : A Critical Review of Regulation In Australia* (Heffernan dkk., 2017)
- b. *Fragility Curves For Low-And Mid-Rise Buildings In Malaysia* (Sarruddin dkk., 2015)
- c. *Seismic Vulnerability And Retrofitting Scheme For Low-To-Medium Rise Reinforced Concrete Buildings In Nepal* (Adhikari dkk., 2018)
- d. *A Proposal For Seismic Evaluation Index Of Mid-Rise Existing RC Buildings In Afghanistan* (Naqi dkk., 2018)
- e. *Seismic Risk Analysis Of Multistory Reinforced Concrete Structures In Saudi Arabia* (Ibrahim, 2018)
- f. *A Simplified Procedure To Estimate Peak Drift Demands For Mid-Rise Steel And R/C Frames Under Narrow-Band Motions In Terms Of The Spectral-Shape-Based Intensity Measure I_{NP}* (Bojorquez dkk., 2017)
- g. *Effects Of Eccentric Steel Bracing Systems On Seismic Fragility Curves Of Mid-Rise R/C Buildings: A Case Study* (Ozel dkk., 2010)
- h. Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Ekonomi Unkhair Dengan Analisis Pushover ATC-40 (Tata dkk., 2018)
- i. Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover (Muntafi, 2012)
- j. *Two-Degree-Of-Freedom Modal Response History Analysis Of Buildings With Specific Vertical Irregularities* (Lin dkk., 2019)
- k. Perencanaan Ulang Struktur Gedung dengan SNI-03-1726-2012 dan SNI-03-1727-2013 (Studi Kasus Gedung 5 Lantai dan 6 Lantai Palagan Gallery Hotel Yogyakarta) (Maulana, 2014)
- l. Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta (Faizah, 2015)

- m. Analisis Pushover Pada Bangunan dengan Soft First Story (Mamesah dkk, 2014).
- n. Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium (Manalip dkk, 2014)

2.1.1. Analisis Riwayat Respons

Lin dkk. (2019) melakukan penelitian evaluasi bangunan tidak beraturan vertikal dengan lantai bawah yang kuat atau kokoh seperti bangunan struktur pada umumnya. Selain analisis riwayat respons nonlinier, penelitian tersebut juga menggunakan metode analisis seismik sederhana yang sesuai dengan jenis bangunan tersebut. Penelitian ini mengeksplorasi sistem modal dua derajat kebebasan (2DOF) untuk mewakili setiap mode getaran bangunan tersebut. Bagian atas dan bawah dari derajat sistem modal 2DOF masing-masing membuat simulasi berupa respons modal dari dua bagian yang berbeda, yaitu lantai bawah dan lantai atas dari sebuah bangunan dengan lantai bawah yang kokoh atau kuat. Pada sistem modal tunggal dengan kebebasan tunggal, sistem modal 2DOF digunakan dalam respons modal analisis sejarah bangunan dengan penyimpangan vertikal tertentu. Metode analisis dilakukan dengan menginvestigasi empat gedung berlantai 9 dan 20, yaitu struktur bangunan tersebut memiliki tingkat lebih rendah yang lebih kuat daripada struktur yang lebih tinggi. Masing-masing dari delapan bangunan tersebut diberikan tiga catatan rekaman gerakan tanah.

Naqi & Saito (2017) juga telah melakukan evaluasi penelitian pada struktur bangunan tipe *mid-rise* yang berlokasi di Afghanistan. Penelitian memeriksa kapasitas seismik dari enam bangunan RC yang dibangun sebelum 2012 di Kabul dengan menerapkan seismik prosedur penyaringan disajikan oleh standar Jepang. Di antara tiga prosedur penyaringan dengan kemampuan berbeda, semakin sedikit prosedur penyaringan terperinci, tingkat penyaringan pertama, diterapkan. Studi ini menemukan indeks seismik rata-rata (rata-rata = 0,21) dari struktur bangunan tersebut yang kemudian, hasilnya dibandingkan dengan prosedur evaluasi seismik yang lebih akurat. Evaluasi struktur yang digunakan adalah metode kapasitas Spektrum (*CSM*) dan Analisis Sejarah Waktu (*THA*). Hasil dari *CSM* dan *THA* menunjukkan seismik yang buruk pada kinerja struktur bangunan tersebut yang kurang mampu dalam memenuhi batas desain

keselamatan dari *maximum drift storey*. Struktur bangunan tersebut kemudian diperbaiki dengan memasang dinding geser RC. Indeks seismik dari bangunan yang dipasang ini adalah dihitung ulang dan *maximum drift storey* dianalisis dengan *CSM* dan *THA*. Hasil indeks seismik dari *CSM* dan *THA* dibandingkan dan disimpulkan bahwa bangunan dengan indeks seismik lebih besar dari (IS-rata-rata = 0,4) dapat memenuhi keamanan batas desain. Untuk menyaring dan meminimalkan kerusakan gempa pada bangunan yang ada, penentuan seismik indeks (IS-Judgment = 0,5) untuk tingkat pertama.

Saruddin & Nazri (2015) melakukan penelitian pengembangan kurva kerapuhan untuk bangunan tipe rendah dan menengah di Malaysia yang diperkuat dengan kerangka beton dan baja yang menahan momen. Dua model struktur tersebut yaitu struktur bangunan tiga dan enam lantai dengan jenis material yang berbeda, dirancang berdasarkan *Eurocodes*. Analisis dinamika tambahan (*IDA*) dilakukan dengan tujuh set catatan gerak tanah, dan kenaikan akselerasi puncak tanah yang naik setiap 0,05 g sampai 0,6 g. Program SAP2000 digunakan untuk melakukan *IDA*. Lima tahapan desain seismik berbasis kinerja, yaitu fase operasional, *immediate occupancy*, pengendalian kerusakan, keselamatan jiwa, dan pencegahan keruntuhan, dianggap dalam menilai kinerja struktural. Seismik kurva kerapuhan dikembangkan untuk model struktural dengan berbagai jenis bahan dan tinggi.

Özel & Güneyisi (2011) pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapuhan nilai seismik bangunan beton bertulang tengah (*R/C*) menggunakan *retrofitted* kawat baja eksentrik. Penelitian tersebut menggunakan struktur bangunan enam lantai bertingkat dengan *R/C* yang dipilih. Desain dari bangunan dibuat mengacu pada tahun 1975 versi Kode Seismik Turki. Efektivitas menggunakan berbagai jenis kawat baja eksentrik dalam perkuatan gedung diperiksa. Efek mendistribusikan bracing baja di atas ketinggian kerangka *R/C* pada kinerja seismik dari bangunan yang dipasang telah dipelajari. Untuk penguatan dari struktur asli, digunakan sistem penguat eksentrik tipe *D*, *K*, dan *V* dan masing-masing sistem penguat ini diterapkan dengan empat distribusi spasial yang berbeda pada struktur tersebut. Untuk analisis kerapuhan, studi menggunakan 200 catatan akselerasi gempa yang dihasilkan yang kompatibel

dengan kode elastis spektrum desain. Analisis sejarah waktu nonlinier digunakan untuk menganalisis struktur yang mengalami set ini percepatan gempa yang dihasilkan dari segi percepatan tanah puncak (PGA), sementara pemantauan empat status batas kinerja. Kurva kerapuhan dikembangkan dalam hal PGA untuk batas ini, yaitu: sedikit, sedang, besar, dan runtuh dengan asumsi distribusi lognormal. Perbaikan keandalan seismik yang dicapai melalui penggunaan kawat eksentrik tipe D, K, dan V dievaluasi dengan membandingkan nilai rata-rata kurva kerapuhan bangunan yang ada sebelum dan sesudah retrofit. Sebagai hasil dari penelitian ini, disimpulkan bahwa peningkatan kinerja seismik dari jenis bangunan *R/C* mid-rise yang dihasilkan dari retrofit oleh berbagai jenis kawat baja eksentrik diperoleh dengan formulasi kerapuhan pengurangan.

Faizah (2015) juga melakukan penelitian pada bangunan yang memiliki 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 lantai dengan membandingkan hasil pembebanan gempa statik ekuivalen dan dinamik *time history* yang dilakukan dengan program bantu Matlab dan penggunaan akselelogram gempa Yogyakarta tahun 2006 sebagai input gempa. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa hasil perhitungan pembebanan statik ekuivalen cukup akurat pada struktur 5 lantai disebabkan persyaratan yang lebih banyak pada desain struktur dibandingkan dengan analisis dinamik *time history*. Pada perhitungan beban statik ekuivalen untuk struktur 10 lantai atau lebih dianggap tidak akurat, karena memberikan persyaratan yang lebih kecil dalam mendesain struktur dibandingkan dengan analisis dinamik *time history* dari beban seismik.

2.1.2. Evaluasi Struktur Gedung Lainnya

Muntafi (2012) melakukan evaluasi struktur bangunan gedung DPU yang memiliki empat lantai berlokasi di Wonogiri, Jawa Tengah dengan menggunakan analisis statik nonlinier (*pushover analysis*) dengan konsep *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). Penelitian tersebut merupakan pilihan yang cocok dan relatif mudah untuk mengevaluasi kinerja seismik. Penelitian tersebut mendapatkan hasil berupa parameter titik kinerja (*performance point*), kurva kapasitas (*pushover curve*), dan mengetahui tahap-tahap terbentuknya sendi plastis (skema kelelahan) hingga gedung tersebut runtuh. Metode penelitian tersebut menggunakan prosedur B analisis pushover metode

capacity spectrum ATC 40. Analisis perhitungan dilakukan dengan memberikan pola beban lateral statik pada struktur dan meningkatkan faktor pengali secara berurutan sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai.

Tata dkk. (2018) juga melakukan evaluasi struktur beton gedung Fakultas Ekonomi Unkhair menggunakan analisis pushover ATC-40. Pada saat struktur bangunan menerima beban gempa, diharapkan bangunan tersebut mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada struktur atau jika struktur tersebut harus mengalami keruntuhan dan mampu memberikan perilaku nonlinear pada kondisi pasca-elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan penghuni didalam bangunan lebih terjamin. Penelitian tersebut dilakukan untuk menentukan level kinerja gedung dalam menahan gaya gempa dan mengetahui kapasitas gempa terhadap struktur serta perilakunya dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom. Metode yang dipakai adalah analisis *static nonlinier pushover* disesuaikan dengan peraturan *code Applied Technology Council (ATC-40)* dengan menggunakan aplikasi program ETABS.

Adhikari dkk. (2019) melakukan penelitian untuk penilaian kapasitas seismik untuk beton bertulang pada bangunan tipe rendah dan sedang yang *representative* (RC) struktur bangunan yang ada di Nepal. Perilaku struktural bangunan dipelajari dengan berbagai teknik analisis. Perilaku non-linear dari sembilan struktur bangunan tempat tinggal dievaluasi dengan analisis elemen hingga. Kinerja struktural disajikan dalam hal kekuatan, kekakuan, kurva kapasitas, dan drift antar lantai. Model bangunan dianalisis sebagai kerangka, dan *drift profiles* dibandingkan dengan beberapa batas drift standar untuk menggambarkan kerentanan. Bangunan tersebut tercatat rentan setelah analisis dimodifikasi sebagai retrospeksi menggunakan teknik *jacketing* kolom, dan analisis elemen hingga dilakukan kembali. Perbandingan dibuat dalam hal kinerja seismik bangunan yang dibangun dan dibangun kembali. Jumlah pengamatan disimpulkan bahwa ukuran kolom secara langsung mempengaruhi kerentanan bangunan. Selain itu, *jacketing* kolom memperbaiki kinerja seismik bangunan RC bertingkat rendah hingga menengah secara signifikan oleh perbandingan antara

struktur yang dibangun kembali dan dipasang kembali dalam hal pergeseran antar lantai dan periode fundamental.

Heffernan dkk. (2017) penelitian ini memberikan pemahaman tentang konteks peraturan di mana pembangunan perumahan tingkat menengah di negara Australia dilakukan. Keterbatasan kerangka efisiensi energi saat ini disorot pada negara tersebut. Hasil dari penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang status quo dalam peraturan efisiensi energi untuk bangunan tempat tinggal bertingkat menengah di Australia.

Mamesah dkk. (2014) juga melakukan analisis struktur gedung dengan *pushover analysis*. Analisis pushover atau analisis beban dorong statik merupakan suatu analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan menggunakan program SAP2000 untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur. Melalui program SAP2000 dapat diketahui pula level kinerja struktur bangunan tersebut. Tipe struktur bangunan yang dimodelkan berupa bangunan non soft story, *soft first story 1* dan *soft first story 2*. Bangunan terbuat dari beton bertulang, jarak bentang 6 meter, dengan ketinggian 10 lantai, tinggi tiap lantai 4 meter, dengan variasi ketinggian lantai dasar 6 meter untuk soft first story 1 dan 7 meter untuk soft first story 2. Penelitian mengacu pada SNI 1726-2012, FEMA-356 dan ATC-40.

Manalip dkk. (2014) melakukan penelitian untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang ditahan oleh struktur, level kinerja, dan pola keruntuhan struktur gedung bertingkat tipe podium, akibat beban gempa. Pemodelan struktur yang dibuat berupa bangunan non podium, podium I, podium II, podium III, dan podium IV. Struktur bangunan dari beton bertulang, berlantai 12, tinggi tiap lantai 4 meter, dan jarak antara bentang 6 meter. Standar analisis mengacu pada tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung SNI 1726:2012, ATC 40 dan FEMA 356. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program SAP2000. Penelitian ini menghasilkan, gaya geser dasar maksimum yang menentukan dari kelima tipe gedung yang terbesar, yaitu gedung non podium 2165 ton dengan perpindahan maksimum 0,97m, dan yang terkecil adalah gedung podium III yaitu 1614 ton, dengan perpindahan maksimum 0,63 m. Level kinerja berdasarkan ATC

40 masuk dalam kategori Immediate Occupancy, berdasarkan FEMA 356 masuk kategori level B, dan berdasarkan SNI 1726:2012 memenuhi batasan simpangan antar lantai. Pola keruntuhan gedung sesuai dengan prinsip kolom kuat balok lemah.

2.1.3. Evaluasi Struktur Dengan Analisis Perpindahan

Ibrahim (2018) penelitian ini menganalisis kurva kerapuhan analitis untuk beton bertulang *mid-rise* yang berlokasi di Kerajaan Arab Saudi (KSA), dianggap sebagai daerah dengan tingkat kegempaan rendah. Kurva kerapuhan dikembangkan untuk struktur 12 lantai beton bertulang yang dirancang sesuai dengan *Saudi Building Code* termasuk beban mati, hidup dan seismik. Tiga kota dengan intensitas seismik yang berbeda, yaitu; Abha, Jazan dan Al-Sharaf dipilih untuk mencakup berbagai nilai percepatan spektral yang ditetapkan di KSA. 0,2 detik percepatan spektral berkisar dari 0,21 g hingga 0,66 g sedangkan spektral 1,0 detik akselerasi berkisar dari 0,061 g hingga 0,23 g. Analisis dinamis tambahan, *IDA*, menggunakan 12 catatan rekaman gempa dengan program SeismoStruct. Lima tingkat kinerja; Operasional, Hunian Segera, Pengendalian Kerusakan, Keselamatan Jiwa dan Pencegahan Keruntuhan, yang menentukan berbagai kemungkinan kerusakan bangunan setelah gempa dipertimbangkan dan dimonitor dalam analisis. Berdasarkan hasil IDA dan statistik analisis, probabilitas untuk mencapai atau melampaui keadaan kerusakan spesifik dihitung untuk masing-masing model struktural di tiga kota. Hasil pada penelitian tersebut sesuai dengan yang direncanakan. Bojórquez dkk. (2017) juga melakukan penelitian dengan prosedur yang disederhanakan untuk memprediksi permintaan *drift* antar-lantai maksimum bertingkat bangunan dalam hal ukuran intensitas gerak tanah berbasis spektral yang direncanakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan penyimpangan maksimum antara lantai baja dan beton bertulang (*R/C*) dengan bangunan berlantai 4, 6, 8 dan 10 yang dikenai beberapa gerakan tanah diestimasi sebagai fungsi spektral akselerasi pada mode pertama getaran struktur $S_a(T_1)$, yang biasa digunakan pada gempa bumi teknik dan seismologi, dan dengan parameter yang baru dikembangkan terkait dengan *structural respons* yang dikenal sebagai I_{Np} . Setelah diamati, I_{Np} pengukuran intensitas berbasis bentuk spektral adalah parameter paling baik terkait dengan respons struktural

frame yang dipilih dalam gerakan pita sempit. Oleh karena itu, pendekatan baru digunakan untuk mengusulkan persamaan untuk menghitung permintaan drift antar-lantai maksimum dan seismik ketidakpastian pada *frame mid-rise* sebagai fungsi dari I_{Np} . Persamaan dapat digunakan untuk penilaian seismik yang cepat dan untuk mendapatkan kurva kerapuhan struktural dari model rangka baja dan *R/C*. Kurva kerapuhan diperoleh dengan pendekatan yang disederhanakan dibandingkan dengan yang diperoleh dengan prosedur tradisional dalam menghitung kerapuhan struktural. Hasil disimpulkan bahwa persamaan yang direncanakan memberikan akurasi yang baik untuk menghitung kurva kerapuhan baja dan *R/C* struktur di bawah gerakan tanah gempa pita sempit dalam hal dari ukuran intensitas berbasis spektral (I_{Np}).

Maulana (2015) juga melakukan penelitian merancang ulang struktur gedung 5 dan 6 lantai Palagan Hotel Yogyakarta dengan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013. Perancangan ulang dilakukan pada penelitian ini disebabkan pada struktur gedung tinjauan masih menggunakan peraturan lama. Penentuan jenis tanah atau klasifikasi situs dilakukan dengan perhitungan nilai hasil pengujian NSPT rerata yang didapat dari gedung terdekat. Metode pembebanan yang digunakan adalah respons spektrum yang diikuti dengan pengecekan persyaratan terhadap nilai gaya gempa hasil dari metode static ekuivalen. Hasil penelitian menunjukkan nilai S_s sebesar 1,036 dan S_I sebesar 0,393, dengan kategori resiko II dan faktor keutamaan gempa 1, klasifikasi situs tanah sedang (SD) dan termasuk kategori desain seismik D. Pada perancangan digunakan jenis struktur SRPMK dan diijinkan sesuai SNI 1726-2012. Dari analisis pada SAP2000, periode alami gedung 5 lantai sebesar 0,622 detik dan 6 lantai sebesar 0,730 detik. Perancangan ulang berdasar SNI 1726-2012 dan 2847-2013 menghasilkan peningkatan kebutuhan penampang struktur. Pada balok, perubahan dimensi beton mencapai 212,5%, perubahan tulangan longitudinal mencapai 304,54%, perubahan tulangan sengkang mencapai 134,48%. Pada kolom, perubahan dimensi beton mencapai 150%, perubahan tulangan longitudinal mencapai 220,41%, perubahan tulangan sengkang mencapai 296,27%. Hal ini dimungkinkan akibat persyaratan SRPMK pada SNI 2847-2013 lebih ketat dibandingkan sebelumnya, peningkatan respons spektra di lokasi tinjauan,

dan terdapat batasan minimal terhadap dimensi struktur yang pada beberapa penampang elemen struktur hasil perancangan owner kurang dari persyaratan tersebut.

2.2. Dasar Teori

Dalam penelitian ini dijelaskan teori yang digunakan pada pemodelan struktur gedung beton bertulang *Middle-Rise* dan simpangan izin dengan acuan SNI Beban Gempa 2012 (SNI 03-1726-2012) dan SNI Beton Bertulang 2013 (SNI 03-2847-2013). Penggunaan spesifikasi dan standarisasi termasuk penggunaan peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI), peraturan daerah DKI Jakarta (Perda DKI), beberapa jurnal, dan buku yang berhubungan dengan penelitian ini.

2.3. Pembebanan

2.3.1. Beban Mati

Semua struktur terkhusus bangunan gedung seharusnya memiliki beban mati. Beban mati merupakan berat yang membebani struktur selama struktur tersebut tetap berdiri. Beban mati meliputi berat struktur sendiri dan beban mati tambahan (*Additional Dead Load*). Contoh beban mati tambahan berupa spesi/adukan semen, dinding, penutup lantai seperti keramik, dan beban mati lainnya yang ditambahkan pada struktur bangunan dan tidak berubah tempat ataupun bentuk. Menurut SNI 1727:2013, beban mati adalah beban/berat dari seluruh elemen penampang struktur yang bersifat tetap selama struktur tersebut layak digunakan, termasuk segala unsur beban tambahan, mesin-mesin, penyelesaian-penyelesaian, dan peralatan bersifat tetap yang menempel (tidak dipisah) dari struktur gedung tersebut. Pemodelan struktur gedung ini menggunakan beban mati sesuai dengan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 meliputi berikut ini.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Struktur Gedung (BSN, 1989)

| Material Bangunan | Beban (kg/m ³) |
|--|----------------------------|
| Baja | 7.850 |
| Batu alam | 2.600 |
| Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk) | 1.500 |
| Batu karang (berat tumpuk) | 700 |

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Struktur Gedung (BSN, 1989) (Lanjutan)

| Material Bangunan | Beban (kg/m ³) |
|---|----------------------------|
| Batu pecah | 1.450 |
| Besi uang | 7.250 |
| Beton | 2.200 |
| Beton bertulang | 2.400 |
| Kayu (kelas 1) | 1.000 |
| Kerikil, koral, (kering udara sampai lembab, tanpa di | 1.650 |
| Pasangan bata merah | 1.700 |
| Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung | 2.200 |
| Pasangan batu cetak | 2.200 |
| Pasangan batu karang | 1.450 |
| Pasir (kering udara sampai lembab) | 1.600 |

Tabel 2.2 Daftar Komponen Gedung (BSN, 1989)

| Komponen Gedung | Bahan (kg/m ²) |
|---|----------------------------|
| Adukan, per cm tebal : | |
| dari semen | 21 |
| dari kapur, semen merah atau tras | 17 |
| Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal | 14 |
| Dinding pasangan bata merah | |
| satu batu | 450 |
| setengah batu | 250 |
| Dinding pasangan batako : | |
| Berlubang : | |
| tebal dinding 20 cm (HB 20) | 200 |
| tebal dinding 10 cm (HB 10) | 120 |
| Tanpa lubang : | |
| tebal dinding 15 cm | 300 |
| tebal dinding 10 cm | 200 |
| Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantungan) | |
| Langit-langit atau pengaku, terdiri dari : | |
| Semen asbes (etemit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm | 11 |
| kaca, dengan tebal maksimum 3-5 mm | 10 |
| Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan | 40 |
| Bentang maksimum 5 m dan beban hidup maksimum 200 kg/m ² | |
| Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m | 7 |
| Dan jarak s.k.s minimum 0,8 m | |
| Penutup atap genteng dengan reng dan rusuk/kaso, per m ² bidang atap | 50 |
| Penutup atap sirap dengan reng dan rusuk/kaso per m ² bidang atap | 40 |

Tabel 2.2 Daftar Komponen Gedung (BSN, 1989) (Lanjutan)

| Komponen Gedung | Beban (kg/m ³) |
|---|----------------------------|
| Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa rusuk | 10 |
| Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal | 24 |

2.3.2. Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013, beban hidup merupakan berat yang diakibatkan oleh penghuni bangunan gedung dan pengguna atau struktur lain yang tidak termasuk beban lingkungan dan beban struktur seperti beban gempa, beban mati, beban angin, ataupun beban banjir. Sesuai dengan SNI 1727:2013, untuk beban plat lantai dengan kegunaan struktur sebagai gedung perkantoran digunakan beban untuk lobi, panggung pertemuan, ruang komputor sebesar 4,79 kN/m² dan beban atap sebesar 0,96 kN/m².

2.3.3. Beban Gempa

Beban gempa adalah seluruh beban statik ekuivalen yang diterima oleh gedung atau sebagian gedung yang menyamakan pengaruh akibat dari gerakan tanah oleh gempa (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, PPURG-1987). Beban gempa memiliki banyak gaya-gaya yang bekerja, yaitu gaya horizontal, gaya vertikal ataupun kombinasi dari keduanya. Gaya dari beban gempa tersebut perlu dicegah agar tidak mengakibatkan *collapse* (kegagalan struktur bangunan). Apabila tidak dicegah bangunan struktur gedung dapat mengalami kerusakan dan dapat memakan korban jiwa. Pembebanan gempa disesuaikan dengan jenis tanah pada daerah bangunan yang direncanakan.

2.3.3.1 Analisis Beban Gempa Berdasarkan SNI 172:62012

Kategori Risiko Bangunan Struktur Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa, I_e

Sesuai dengan SNI 03-1726-2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung), kategori risiko bangunan struktur gedung dibagi menjadi 4 kategori disesuaikan menurut fungsi bangunan atau kegunaan bangunan. Pada Tabel 2.3. dan Tabel 2.4. diperlihatkan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa tersebut.

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Struktur Gedung dan Non Gedung Untuk Pembebanan Gempa (BSN, 2012)

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| <p>Gedung dan non Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik | II |
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo | III |
| <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penangan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi | |

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Struktur Gedung dan Non Gedung Untuk Pembebanan Gempa (BSN, 2012) (lanjutan)

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan, atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energy dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV</p> | IV |

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa, I_e (BSN, 2012)

| Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, I_e |
|-----------------|-------------------------------|
| I & II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

Klasifikasi Situs

Dalam menentukan pemilihan klasifikasi situs, perlu diperhatikan jenis tanah pada daerah yang ditinjau. Jenis tanah memiliki peranan penting dalam pembebanan gempa. Semakin buruk kondisi tanah pada bangunan semakin besar beban gempa yang diterima oleh struktur bangunan tersebut. Dalam menentukan klasifikasi situs, diperlukan parameter untuk pengklasifikasian tersebut, diantaranya adalah hasil uji NSPT, hasil uji CPT, dan kecepatan rambat gelombang rerata tanah. Pada Tabel 2.5 adalah hubungan klasifikasi situs dengan parameter tersebut.

Tabel 2.5 Klasifikasi Situs (BSN, 2012)

| Kelas Situs | v_s (m/detik) | N atau N_{ch} | s_u (kPa) |
|--|-----------------|-------------------|-------------|
| <i>SA</i> (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| <i>SB</i> (batuan) | 750-1500 | N/A | N/A |
| <i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350-750 | >50 | ≥ 100 |
| <i>SD</i> (tanah sedang) | 175-350 | 15-50 | 50-100 |
| <i>SE</i> (tanah lunak) | <175 | <15 | <50 |

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$,
2. Kadar air, $w \geq 40\%$,
3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa

Pembebanan Gempa dengan Respon Spektral Percepatan Gempa

Dalam perencanaan pembebanan gempa dengan menggunakan statik ekuivalen harus menentukan nilai respon spektrum untuk percepatan getaran perioda pendek (F_a) adalah 0,2 detik dan percepatan getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter tersebut dapat dilihat pada SNI 03-1726-2012 seperti pada Gambar 2.1. dan Gambar 2.2.

Dalam menentukan parameter respons spektrum percepatan gempa dapat diperhitungkan dengan mengalikan koefisien situs yang didapat dari hubungan kelas situs dengan parameter respons spektrum percepatan gempa yang dapat dilihat pada Tabel 2.6. dan Tabel 2.7. dengan parameter percepatan respons spektrum yang telah didapatkan melalui Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Berikut adalah persamaan respons spektrum percepatan yang dapat dilihat pada persamaan 2.1 dan 2.2.

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (2.1)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2.2)$$

Tabel 2.6 Koefisien Situs, F_a (BSN, 2012)

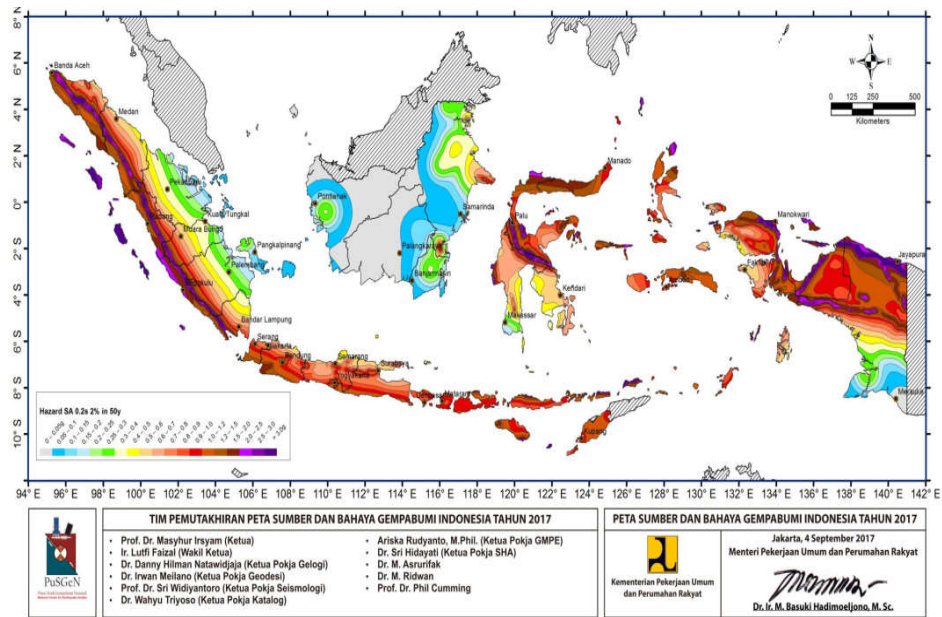
| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_S | | | | |
|----------------|---|-------------|--------------|-----------|--------------|
| | $S_S \leq 0,25$ | $S_S = 0,5$ | $S_S = 0,75$ | $S_S = 1$ | $S_S > 1,25$ |
| <i>SA</i> | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| <i>SB</i> | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| <i>SC</i> | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| <i>SD</i> | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| <i>SE</i> | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| <i>SF</i> | | | <i>SS</i> | | |

Tabel 2.7 Koefisien Situs, F_v (BSN, 2012)

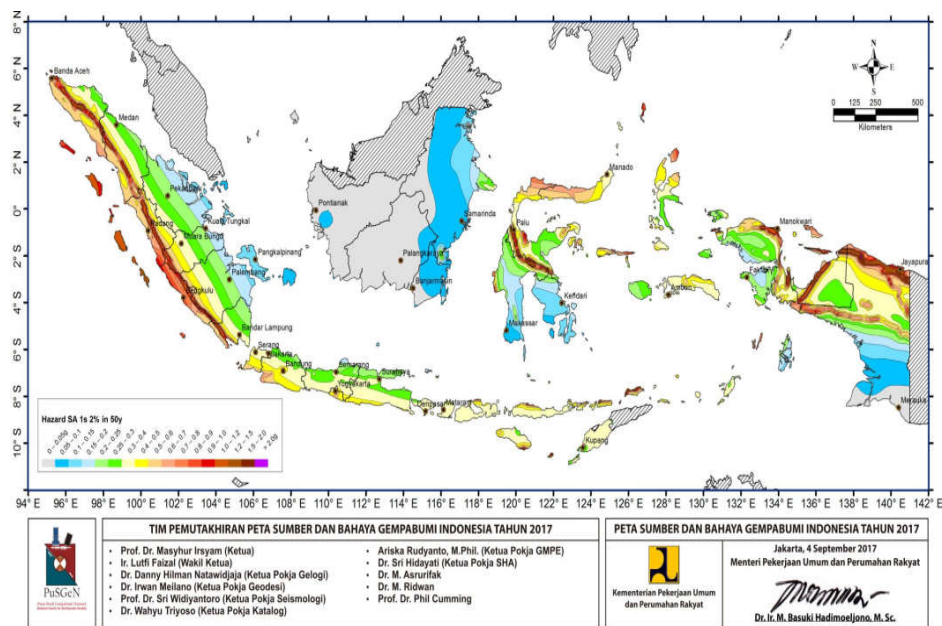
| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1 detik, $T = 1$ detik, S_I | | | | |
|----------------|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | $S_I \leq 0,1$ | $S_I = 0,2$ | $S_I = 0,3$ | $S_I = 0,4$ | $S_I > 0,25$ |
| <i>SA</i> | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| <i>SB</i> | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| <i>SC</i> | 1,70 | 1,60 | 1,50 | 1,40 | 1,30 |
| <i>SD</i> | 2,40 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,50 |
| <i>SE</i> | 3,50 | 3,20 | 2,80 | 2,40 | 2,40 |
| <i>SF</i> | | | <i>SS</i> | | |

Catatan :

- Untuk nilai-nilai S_S dan S_I yang tidak ada pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 perlu melakukan interpolasi linier.
- Untuk kelas situs *SF* diperlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.



Gambar 2.1 Percepatan Respons Spektrum Periode 0,2 detik (F_a)
(Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.2 Percepatan Respons Spektrum Periode 1 detik (F_v)
(Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Apabila parameter S_{MS} dan S_{MI} telah didapat, langkah selanjutnya adalah penentuan parameter respons spektrum desain untuk periode getar pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode getar 1 detik (S_{DI}) yang dapat dilihat pada persamaan 2.3. dan 2.4 berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Setelah menentukan parameter respons spektrum percepatan periode pendek 0,2 detik dan parameter respons spektrum percepatan periode 1 detik, langkah selanjutnya adalah penentuan untuk nilai respons spektrum desain dengan langkah-langkah berikut ini.

- 1) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , respons spektrum percepatan desain, parameter S_a menggunakan persamaan 2.5.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

- 2) Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum percepatan desain, parameter S_a sama dengan S_{DS} .
- 3) Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum percepatan desain, parameter S_a menggunakan persamaan 2.6.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter spektrum respons percepatan desain pada periode pendek (0,2 detik)

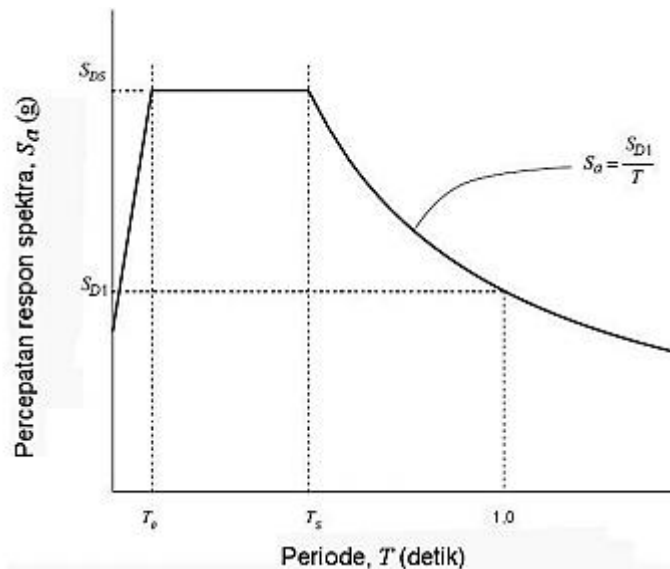
S_{D1} = Parameter spektrum respons percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

Setelah mendapatkan nilai-nilai dari parameter spektrum respons desain, kemudian digambarkan grafik respons spektrum desain yaitu hubungan periode (T) dengan percepatan respon spektra (S_a) yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik Spektrum Respons Desain (BSN, 2012)

Kategori Desain Seismik

Pada struktur bangunan gedung harus memiliki kategori desain seismik. Adapun ketentuan yang mendasari dalam penentuan kategori desain seismik. Berikut merupakan ketentuan-ketentuan dalam menentukan kategori tersebut.

- a) Struktur bangunan gedung dengan kategori risiko I, II, atau III yang apabila nilai $S_I \geq 0,75$ wajib ditetapkan sebagai struktur bangunan dengan kategori desain seismik tipe E
- b) Struktur bangunan gedung dengan kategori risiko IV, dimana nilai $S_I \geq 0,75$ wajib ditetapkan sebagai struktur bangunan dengan kategori desain seismik tipe F

Struktur bangunan gedung yang tidak ada pada ketentuan diatas harus ditentukan tipe kategori seismiknya dengan cara pembacaan pada Tabel 2.8. dan Tabel 2.9. yaitu hubungan antara nilai S_{DS} , dan S_{D1} dengan kategori risiko.

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik dari Parameter Rspns Percepatan Perioda Pendek 0,2 detik (S_{DS}) (BSN, 2012)

| Nilai S_{DS} | Kategori Risiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$ | C | D |
| $0,50 \leq S_{DS}$ | D | D |

Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik dari Parameter Rspns Percepatan Perioda 1 detik (S_{D1}) (BSN, 2012)

| Nilai S_{D1} | Kategori Risiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{D1} < 1,33$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq S_{D1}$ | D | D |

Penentuan Sistem Struktur

Struktur bangunan gedung diharuskan memiliki sistem penahan beban gempa lateral ataupun beban gempa vertikal dasar. Struktur tersebut disesuaikan dengan batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur yang dapat dilihat pada Tabel 2.10. Pada penelitian ini tidak ditampilkan secara menyeluruh di Tabel tersebut, untuk melihat tabel dengan lengkap dapat dilihat pada SNI 03-1726-2012.

Tabel 2.10 Sistem Penahan Gaya Gempa (BSN, 2012)

| Sistem penahan gaya gempa | R_a | Ω_0 | C_d | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) | | | | | |
|--|-------|------------|-------|---|----|----|----|----|--|
| | | | | B | C | D | E | F | |
| A Sistem dinding penumpu | | | | | | | | | |
| 1 Dinding geser beton bertulang khusus | 5 | 2,5 | 5 | TB | TB | 48 | 48 | 30 | |
| 2 Dinding geser beton bertulang biasa | 4 | 2,5 | 4 | TB | TB | TI | TI | TI | |

Tabel 2.10 Sistem Penahan Gaya Gempa (BSN, 2012) (lanjutan)

| Sistem penahan gaya gempa | | R_a | Ω_0 | C_d | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) | | | | |
|---|--------------------------------------|-------|------------|-------|---|----|----|----|----|
| 3 | Dinding geser beton polos didetail | 2 | 2,5 | 2 | TB | TI | TI | TI | TI |
| B Sistem Rangka | | | | | | | | | |
| 1 | Dinding geser beton bertulang khusus | 6 | 2,5 | 5 | TB | TB | 48 | 48 | 30 |
| 2 | Dinding geser beton bertulang biasa | 5 | 2,5 | 4,5 | TB | TB | TI | TI | TI |
| 3 | Dinding geser pracetak menengah | 5 | 2,5 | 4,5 | TB | TB | 12 | 12 | 12 |
| C Sistem rangka pemikul momen | | | | | | | | | |
| 1 | Rangka baja pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5,5 | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2 | Rangka baja pemikul momen menengah | 4,5 | 3 | 4 | TB | TB | 10 | TI | TI |
| 3 | Rangka baja pemikul momen biasa | 3,5 | 3 | 3 | TB | TB | TI | TI | TI |
| D Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus | | | | | | | | | |
| 1 | Dinding geser beton bertulang khusus | 7 | 2,5 | 5,5 | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2 | Dinding geser beton bertulang biasa | 6 | 2,5 | 5 | TB | TB | TI | TI | TI |

Catatan : TB = Tidak Dibatasi
TI = Tidak Diijinkan

Metode Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya Dasar Seismik (*Base Shear*)

Pada penelitian ini, gaya geser dasar seismik (V) menggunakan persamaan 2.9.

$$V = C_s \cdot W \quad (2.9)$$

Keterangan :

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Penentuan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Koefisien tersebut disesuaikan dengan persamaan 2.10 – 2.12

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.10)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.11)$$

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.12)$$

Khusus untuk struktur gedung yang memiliki nilai $S_I \geq 0,6g$ tidak kurang dari persamaan 2.13 .

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.13)$$

Dengan Keterangan :

S_{DS} = Parameter nilai percepatan spektrum respons desain hanya dalam rentang perioda 0,2 detik

S_{D1} = Parameter nilai percepatan spektrum respons desain hanya dalam rentang perioda 1 detik

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutaman gempa

T = Perioda fundamental struktur gedung (detik)

Menentukan Nilai Perioda

Dalam menentukan periode pendekatan fundamental struktur (T) nilai tersebut tidak lebih dari koefisien batas atas perioda yang dihitung (C_u) yang dapat dilihat pada Tabel 2.11. Pada persamaan 2.14. diperlihatkan rumus perioda pendekatan fundamental.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.14)$$

Catatan :

h_n adalah ketinggian struktur gedung (m), dari atas dasar sampai batas tertinggi struktur, untuk nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Koefisien C_u untuk batasan atas perioda yang dihitung (BSN, 2012)

| Parameter percepatan spektral respons desain pada 1 detik, S_{D1} | Koefisien C_u |
|---|-----------------|
| $\geq 0,40$ | 1,40 |
| 0,30 | 1,40 |
| 0,20 | 1,50 |
| 0,15 | 1,60 |

Tabel 2.12 Parameter nilai periode pendekatan C_t dan \times (BSN, 2012)

| Tipe Struktur | C_t | \times |
|--|--------|----------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi/dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa: | | |
| Rangka baja pemikul momen | 0,0724 | 0,80 |
| Rangka beton pemikul momen | 0,0466 | 0,90 |
| Rangka baja dengan bresing eksentris | 0,0731 | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731 | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488 | 0,75 |

Distribusi Gaya Gempa Vertikal

Setelah mendapatkan parameter total gaya gempa lateral, langkah selanjutnya adalah distribusi beban gempa tersebut ke plat lantai sesuai dengan persamaan 2.15 dengan nilai koefisien distribusi gaya gempa pada persamaan 2.16.

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.15)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.16)$$

Keterangan :

- C_{vx} = Faktor distribusi vertikal
- V = Gaya lateral desain atau Gaya geser struktur (kN)
- h_i dan h_x = Tinggi tingkat i / x yang diukur dari bawah struktur (m)
- w_i dan w_x = Berat total seismik efektif struktur (W)
- k = Eksponen yang berhubungan pada struktur, untuk perioda $\leq 0,5$ detik digunakan $k = 1$, untuk perioda sebesar $\geq 2,5$ digunakan $k = 2$, untuk perioda antara 0,5 dan 2,5 detik nilai k wajib dicari dengan cara interpolasi linier.

Simpangan Antar Lantai

Dalam menentukan simpangan antar lantai desain (Δ) dapat diperoleh dari pemodalan pada program SAP2000. Simpangan setiap lantai tingkat tidak diperbolehkan melebihi dari simpangan izin antar tingkat (Δ_a) sesuai dengan kategori risikonya yang dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Simpangan Antai Lantai Tingkat Izin, Δ_a (BSN, 2012)

| Tipe Struktur | Kategori Resiko | | |
|--|-----------------|----------------|----------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat/kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat | 0,025 h_{sx} | 0,020 h_{sx} | 0,015 h_{sx} |
| Struktur dinding geser kantilever dengan batu bata | 0,010 h_{sx} | 0,010 h_{sx} | 0,010 h_{sx} |
| Struktur dinding geser dengan batu bata lainnya | 0,007 h_{sx} | 0,007 h_{sx} | 0,007 h_{sx} |
| Semua struktur lainnya | 0,020 h_{sx} | 0,015 h_{sx} | 0,010 h_{sx} |

Catatan : h_{sx} = merupakan tinggi tingkat di bawah tingkat x

Simpangan antar lantai tingkat yang melebihi batasan simpangan antar lantai izin kemudian dihitung dengan persamaan 2.17.

$$\frac{(D-\Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\% \quad (2.17)$$

Keterangan :

D = Parameter perpindahan

Δ_a = Simpangan antar lantai izin

Kombinasi Beban Seismik dan Pengaruh Beban Gempa

Pada pembebanan struktur khususnya pada kombinasi pengaruh pembebanan gempa horizontal diakibatkan oleh faktor redunsasi (ρ), yang memiliki 2 jenis faktor tersebut. Berikut 2 faktor tersebut sesuai dengan SNI-03-1726-2012.

- a) Faktor redunsasi (ρ) diijinkan sebesar 1,0 untuk struktur gedung kaegori seismik desain tipe *B* atau *C*
- 1) Kalkulasi pengaruh *P-delta* dan simpangan antar lantai;
 - 2) Desain komponen nonstruktur;
 - 3) Desain sambungan lewat dan elemen kolektor;

- 4) Pembebanan diafragma;
 - 5) Bangunan struktur digunakan sistem peredam;
 - 6) Desain dinding bangunan struktur oleh gaya keluar bidang.
- b) Faktor redunsasi (ρ) diijinkan sebesar 1,3 untuk struktur gedung kategori seismik desain tipe *D*, *E* atau *F* selain satu dari dua kondisi terlaksana, untuk faktor redunsasi (ρ) diijinkan sebesar 1,0.
- 1) Pada setiap lantai tingkat struktur yang menahan >35% gaya geser dasar yang ditinjau;
 - 2) Untuk struktur gedung dengan desain beraturan pada semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa sedikitnya dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka di setiap sisi struktur arah orthogonal pada setiap tingkat lantai yang ditahan >35% geser dasar.

Pembebanan gaya gempa horizontal (E_h) dan pembebanan gaya gempa vertikal (E_v) disesuaikan dengan persamaan 2.17 dan persamaan 2.18.

$$E_h = Q_E \rho \quad (2.18)$$

$$E_h = 0,2 S_{DS} D \quad (2.19)$$

Keterangan :

ρ = Nilai faktor redundansi

Q_E = Nilai gaya gempa horisontal dari gaya geser dasar (V)

D = Nilai beban mati/ *dead load* (DL)

Struktur bangunan yang tidak memakai beban banjir, kombinasi pembebanan dasar beban seismik desain digunakan persamaan 2.19 dan persamaan 2.20.

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + Q_E \rho + L \quad (2.20)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + Q_E \rho + 1,6H \quad (2.21)$$

Keterangan :

- a) Distribusi beban hidup/*live load* merata di semua hunian $\leq 4,79$ kN/m².
- b) Nilai beban H disamakan dengan nol, jika struktur bangunan akibat H berbalik aksi bangunan akibat E , apabila tidak berlawanan tekanan tersebut wajib dimasukkan kedalam tahanan desain.