

LAPORAN HIBAH TERAPAN



PENGEMBANGAN ELEMEN STRUKTUR BETON PRATEGANG PRACETAK UNTUK GEDUNG BERTINGKAT TINGGI DAN JALAN LAYANG PADA WILAYAH GEMPA

TIM PENGUSUL

Ketua :

- **Dr. Ir. Dwi Dinariana, M.T** **0305076903**

Anggota :

- **Suwito, S.T., PhD** **0310036702**
- **Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman, M.T.** **0305036902**

UNIVERSITAS PERSADA INDONESIA Y.A.I

2021

**HALAMAN PENGESAHAN
PROGRAM RISET KEILMUAN**

Judul Riset : Pengembangan Elemen Struktur Beton Prategang Pracetak Untuk Gedung Bertingkat Tinggi Dan Jalan Layang Pada Wilayah Gempa.

Nama Rumpun Ilmu : Teknik Sipil
SKEMA RISET : Hibah Penelitian Terapan

Ketua Periset:

- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Dwi Dinariana, M.T
- b. NIDN/~~NIDK~~ : 0305076903
- c. Jabatan Fungsional : -
- d. Program Studi : Magister Teknik Sipil
- e. Nomor HP : 0812 2346 9477.
- f. Alamat surel (e-mail) : dwidinariana@yahoo.com

Anggota Periset (1)

- a. Nama Lengkap : Suwito, S.T., PhD
- b. NIDN/~~NIDK~~ : 0310036702
- c. Perguruan Tinggi : Universitas Agung Podomoro
- d. Prodi : Manajemen Rekayasa dan Konstruksi

Anggota Periset (2)

- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman, M.T.
- b. NIDN/~~NIDK~~ : 0305036902
- c. Perguruan Tinggi : Universitas Persada Indonesia Y.A.I
- d. Prodi : Magister Teknik Sipil

Anggaran : Rp. 238.432.000

Jakarta, 25 November 2021

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Ir. Fitri Suryani, M.T.)
NIDN : 0031126720

Ketua Periset



(Dr. Ir. Dwi Dinariana, M.T.)
NIDN ; 0305076903

Menyetujui,
Direktur LPPM UPI Y.A.I



(Dr. Sularso Budi Laksono, M.Kom)
NIDN : 0329056602

Ringkasan penelitian tidak lebih dari 500 kata yang berisi latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian yang diusulkan.

RINGKASAN

Latar belakang penelitian ini adalah kebutuhan teknologi pembangunan yang berkelanjutan di Indonesia. Indonesia adalah negara yang terletak di jalur cincin api, yang menyebabkan banyaknya kejadian gempa. Pada saat ini, banyak hasil pembangunan yang sudah dilakukan dengan biaya investasi yang besar, mengalami kerusakan akibat berbagai kejadian gempa. Kerusakan tersebut mengakibatkan bangunan tidak berfungsi, dan untuk memperbaikinya memerlukan waktu dan biaya yang besar. Teknologi tahan gempa kinerja tinggi akan menjamin keberlanjutan investasi pembangunan, terutama pada bangunan gedung bertingkat tinggi dan jalan layang, karena tetap dapat berfungsi dengan baik selama masa layan bangunan.

Tujuan khusus penelitian adalah menghasilkan teknologi pembangunan tahan gempa kinerja tinggi yang menggunakan elemen beton pracetak dan prategang. Material beton adalah material yang bahan pembentuknya keseluruhannya ada di Indonesia. Metoda beton pracetak adalah metoda produksi dan pelaksanaan konstruksi beton yang kontrol kualitasnya baik, dapat diproduksi massal dengan cepat, biaya yang ekonomis, dan bersifat konstruksi hijau. Teknologi prategang adalah suatu teknologi yang dapat menyambung elemen-elemen pracetak sehingga dapat memperoleh kinerja tahan gempa yang tinggi.

Tahapan metoda penelitian dibagi menjadi tiga tahap. Pada tahap pertama (2021) dikembangkan model, perencanaan dan pengujian tahan gempa elemen pracetak prategang untuk bangunan gedung bertingkat tinggi. Pada tahap kedua (2022) dikembangkan model, perencanaan dan pengujian tahan gempa elemen pracetak prategang untuk jalan layang. Pada tahap ketiga (2023) dilakukan penerapan pada proyek jalan layang dan bangunan gedung bertingkat tinggi yang dikerjakan oleh perusahaan mitra penelitian

Keluaran yang ditargetkan adalah teknologi tahan gempa kinerja tinggi untuk bangunan gedung bertingkat tinggi dan jalan layang yang menggunakan elemen beton pracetak dan prategang. Teknologi ini harus sudah teruji tahan gempa di laboratorium sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku. Teknologi ini juga didaftarkan patennya di Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual (HKI). Diseminasi teknologi ini dilakukan dalam bentuk sosialisasi serta publikasi prosiding dan jurnal internasional. Prosiding yang direncanakan adalah di World Conference of Earthquake Engineering (WCEE) 2021 di Sendai, Jepang. Teknologi ini akan dibuatkan Standar Nasional Indonesia serta buku panduan perencanaan dan pelaksanaan agar dapat dilakukan dengan tepat oleh publik yang akan menerapkannya.

Tingkat kesiapan teknologi yang dicapai pada akhir tahun ketiga adalah TKT 6. TKT 6 ini bisa dicapai karena adanya kerjasama dengan mitra. Mitra perusahaan telah menyatakan bersedia menerapkan teknologi ini pada proyek pembangunan yang dikerjakan. Percobaan penerapan akan menjadi demonstrasi model atau prototipe sistem/subsistem dalam lingkungan yang relevan.

Kata kunci maksimal 5 kata

Kinerja; prategang; gedung; jalan layang.

Latar belakang penelitian tidak lebih dari 500 kata yang berisi latar belakang dan permasalahan yang akan diteliti, tujuan khusus, dan urgensi penelitian. Pada bagian ini perlu dijelaskan uraian tentang spesifikasi khusus terkait dengan skema.

LATAR BELAKANG

Indonesia adalah negara yang terletak di jalur cincin api, yang menyebabkan banyaknya kejadian gempa, yang mengakibatkan banyak kerusakan bangunan dan korban jiwa. Hasil pembangunan yang sudah dilakukan dengan biaya investasi yang besar, sering menjadi tidak berfungsi, dan untuk memperbaikinya memerlukan waktu dan biaya yang besar. Bahan bangunan yang umum digunakan di Indonesia adalah bahan beton. Teknologi bangunan beton selama ini umumnya masih konvensional, yang pada pelaksanaannya sulit untuk dijamin kualitas dan kesesuaiannya dengan persyaratan perencanaan bangunan tahan gempa. Penggunaan teknologi beton pracetak sudah mulai diterapkan pada bangunan gedung dan jalan layang. Pada beberapa kejadian gempa maksimal seperti di Palu (2018), kinerja bangunan dengan teknologi beton pracetak memang memenuhi persyaratan, yaitu rusak berat namun tidak runtuh (*near collapse*). Kinerja seperti ini, kedepannya perlu ditingkatkan mengingat bangunan gedung sangat terganggu fungsinya.

Tujuan khusus penelitian adalah menghasilkan teknologi pembangunan tahan gempa kinerja tinggi yang dengan menggunakan bahan dan teknologi yang ada di Indonesia dengan biaya yang ekonomis. Kinerja tinggi berarti bangunan dapat tetap melayani fungsinya selama masa layannya selama 50 tahun, walaupun terkena gempa kuat (*immediate occupancy*). Kinerja tinggi ini lebih baik dari yang disyaratkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 2847:2013)¹, yaitu kerusakan terkontrol yang tidak membahayakan nyawa (*Life Safety*) pada beban gempa rencana dan rusak berat namun tidak runtuh (*near collapse*) pada beban gempa maksimal (beban gempa dengan perioda ulang 2500 tahun). Teknologi ini juga harus mengantisipasi cara perbaikan struktur yang mudah, jika bangunan terkena gempa rencana.

Urgensi penelitian adalah kebutuhan akan teknologi bangunan tahan gempa kinerja tinggi untuk mengantisipasi percepatan pembangunan dari investasi langsung yang digagas Pemerintah. Investasi langsung secara besar-besaran diperlukan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi Indonesia. Investasi langsung memerlukan dukungan fisik berupa bangunan gedung dan infrastruktur seperti jalan layang. Fasilitas fisik ini harus mempunyai kinerja tinggi agar dapat tetap dapat berfungsi jika terjadi gempa rencana, sehingga kegiatan investasi tidak terganggu.

Spesifikasi khusus dari teknologi yang dikembangkan adalah elemen yang terbuat dari beton pracetak dan prategang. Material beton adalah material yang bahan pembentuknya keseluruhannya ada di Indonesia. Metoda beton pracetak adalah metoda produksi dan pelaksanaan konstruksi beton yang kontrol kualitasnya baik, dapat diproduksi massal dengan cepat, biaya yang ekonomis, dan bersifat konstruksi hijau. Teknologi prategang adalah suatu teknologi yang dapat menyambung elemen-elemen pracetak sehingga dapat memperoleh kinerja tahan gempa yang lebih tinggi dibanding beton pracetak yang disambung dengan berbagai detail non prategang. Pada bangunan bertingkat tinggi, sambungan prategang ini dapat dipakai untuk menyambung balok ke kolom dan sambungan vertikal antar dinding. Pada jalan layang, sambungan prategang dapat dipakai untuk menyambung segmen-segmen pracetak kolom dan pier.

Tinjauan pustaka tidak lebih dari 1000 kata dengan mengemukakan *state of the art* dan peta jalan (*road map*) dalam bidang yang diteliti. Bagan dan *road map* dibuat dalam bentuk JPG/PNG yang kemudian disisipkan dalam isian ini. Sumber pustaka/referensi primer yang relevan dan dengan mengutamakan hasil penelitian pada jurnal ilmiah dan/atau paten yang terkini. Disarankan penggunaan sumber pustaka 10 tahun terakhir.

TINJAUAN PUSTAKA

State of the art.

Perencanaan bangunan terhadap beban gempa mempunyai keunikan dibanding beban-beban lain seperti beban mati, beban hidup dan beban angin. Beban-beban non gempa umumnya besar dan waktunya bisa dipastikan. Beban gempa besarnya bisa sangat bervariasi dan waktu kedatangannya tidak bisa diprediksi. Sifat beban gempa ini membuat strategi perancangan bangunan tahan gempa harus secara kreatif mempertimbangan keamanan, keekonomisan, dan keberlanjutan. Pemahaman ilmiah manusia terhadap mekanisme terjadinya gempa relatif masih baru. Penelitian mengenai gempa baru serius dilakukan sejak gempa menghancurkan kota San Francisco 1906. Saat ini teori mekanisme gempa yang banyak diyakini adalah teori tektonik lempeng terkait dengan struktur bumi itu sendiri. Struktur bumi sebagian besar terdiri dari lava yang terbungkus dengan lempeng tektonik tipis. Arus konveksi panas yang selalu berputar menyebabkan lempeng tektonik selalu dalam kondisi bergerak. Gerakan ini menimbulkan interaksi antar lempeng yang dinamis, sehingga akan menjadi sumber gempa yang secara terus menerus terjadi di bumi. Sifat gempa ini sudah bisa dimodelkan dengan teori statistik dan probalistik, yang secara praktis didefinisikan sebagai beban gempa dengan perioda ulang tertentu. Gempa dengan perioda ulang pendek bebannya kecil, sedangkan gempa dengan perioda ulang panjang bebannya besar. Jika beban gempa relatif sudah disepakati pendefinisianannya, strategi dan konsep perencanaan bangunan gempa sangatlah bervariasi. Konsep bangunan tahan gempa yang sekarang menjadi landasan berbagai regulasi di dunia termasuk Indonesia, dikenal sebagai perencanaan berbasis kinerja (SNI 1726:2012)². Konsep ini lahir tahun 1990-an, sebagai penyempurnaan konsep terdahulu dikenal sebagai konsep desain kapasitas atau lebih populer/dikenal sebagai konsep kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*). Konsep desain kapasitas lahir di Selandia Baru tahun 1960an dan diadopsi Amerika Serikat tahun 1971. Konsep menjadi populer karena dapat secara cerdas menyeimbangkan antara konsep keamanan dan keekonomisan. Struktur dirancang terhadap gempa dengan perioda ulang pendek, namun detail konstruksi dapat direncanakan untuk menyerap energi gempa yang berlebih jika terjadi gempa dengan perioda ulang panjang. Strategi ini akan menghasilkan struktur yang ekonomis, namun tetap aman walaupun terjadi gempa kuat karena struktur diijinkan mengalami kerusakan tapi tidak mengalami keruntuhan. Konsep ini mengalami ujian signifikan pada dua gempa kuat di California yaitu Northridge dan Loma Prieta. Korban jiwa memang sedikit, namun bangunan-bangunan yang rusak umumnya tidak dapat menjalankan fungsinya (*business interruptable*). Perbaikan bangunan untuk mengembalikan fungsinya sering rumit secara teknis, memerlukan waktu lama dan biaya besar, sehingga terkadang terpaksa bangunan dibongkar. Masyarakat California lalu menuntut para ahli konstruksi untuk mengembangkan regulasi, konsep, dan teknologi lebih baik dari desain kapasitas. Konsep perencanaan berbasis kinerja, disepakati untuk bangunan dengan fungsi tertentu ada target kinerja tertentu yang harus dicapai. Secara umum, ada 3 (tiga) target kinerja standar bangunan setelah terkena gempa, yaitu kinerja dapat segera dimanfaatkan (*immediate occupancy*), kinerja rusak yang tidak membahayakan nyawa (*life safety*), dan kinerja rusak berat tapi tidak runtuh (*near collapse*). SNI menyepakati untuk bangunan umum kriteria kinerja adalah *life safety* pada beban gempa rencana dan *near collapse* pada beban gempa maksimum.

Roadmap Penelitian.

Pengusul mempunyai anggota peneliti yang mempunyai rekam jejak melakukan penelitian dan pengembangan konstruksi pracetak tahan gempa dari tahun 1995. Penelitian tersebut dibuat menjadi tesis magister pada tahun 1997 (Nurjaman, 1997)³ dan disertasi tahun 2002 (Nurjaman, 2002)⁴. Pada proses penelitian ini pengusul pernah mendapat dukungan dari Hibah Bersaing dan Riset Unggulan terpadu. Publikasi internasional dilakukan pada prosiding International Conference on Advancement in Design, Construction, Construction Management and Maintenance of Building Structure di Bali Indonesia tahun 2002 (Nurjaman *et.al.*, 2002)⁵. Hasil penelitian dan pengembangan ini diterapkan pada pembangunan rumah susun program pemerintah seluruh Indonesia sejak tahun 1995. Sejak tahun 2004 dimana terjadi bencana gempa dan tsunami di Aceh, Indonesia mengalami serangkaian gempa kuat di berbagai daerah. Pengusul melakukan penelitian terhadap sejumlah rumah susun yang dibangun dengan sistem pracetak, yang dipublikasikan pada prosiding internasional di World Conference of Earthquake Engineering (WCEE) 2008 di Beijing Tiongkok (Nurjaman *et.al.*, 2008)⁶. Hasil penelitian menunjukkan kinerja yang sesuai dengan konsep perencanaan dan pengujian yang berlaku pada masa itu. Mulai tahun 2010, pengusul merangkum seluruh evaluasi tersebut dengan membuat 3 Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait konstruksi pracetak tentang bangunan gedung (SNI 7832:2017, SNI 7833:2012, SNI 7834:2012)^{7,8,9}. Sejak tahun 2013 pengusul melakukan penelitian dan pengembangan sistem pracetak kinerja tinggi dengan sambungan prategang paskatarik tanpa lekatan balok ke kolom pada sistem rangka. Ide pengembangan didasarkan presentasi kinerja sistem ini pada gempa kuat di Selandia Baru (Pampanin, 2012)¹⁰. Penelitian didukung salah satunya oleh Penelitian Unggulan Strategis Nasional tahun 2014 – 2015. Penelitian ini menghasilkan beberapa publikasi jurnal internasional, yaitu di Elsevier Procedia Engineering pada tahun 2014 (Nurjaman *et.al.*, 2014)¹¹, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) pada tahun 2017 (Suprpto *et.al.*, 2017)¹², International Journal of Earth Sciences and Engineering (IJESE) pada tahun 2018 (Nurjaman *et.al.*, 2018)¹³ dan prosiding WCEE 2017 di Santiago Chile (Nurjaman *et.al.*, 2017)¹⁴, penerapan produk pada konstruksi seperti kantor, rumah sakit, rumah susun, rumah toko, rumah tunggal, serta SNI khusus untuk sistem ini (SNI 8367:2017)¹⁵.

Pengusul pada proposal ini mengajukan usulan penelitian terapan sistem pracetak kinerja tinggi berbagai tipe konstruksi lain untuk mendapatkan varian teknologi yang lebih luas. Tahun pertama (2021) diusulkan variasi penggunaan sambungan balok ke kolom sistem rangka dengan sambungan prategang yang lebih dominan, untuk meningkatkan kinerja dari sistem yang sudah ada sebelumnya. Publikasi penelitian tahun pertama direncanakan pada prosiding WCEE 2021 Sendai Jepang. Produk hasil penelitian ini juga direncanakan untuk didaftarkan ke Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual dalam bentuk paten sederhana, dilakukan penelitian contoh penerapan di bangunan. Tahun kedua (2022) diusulkan sambungan prategang pada komponen pracetak vertikal, yaitu dinding pracetak untuk bangunan gedung dan pier pracetak untuk jalan layang. Publikasi penelitian tahun kedua direncanakan di International Journal of Earth Sciences and Engineering (IJESE) tahun 2022, Produk hasil penelitian direncanakan didaftarkan ke Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual dalam bentuk paten sederhana dan dilakukan penelitian contoh penerapan di proyek jalan layang. Hasil penelitian tahun pertama direncanakan dibuatkan draft Standar Nasional Indonesia. Tingkat kesiapan teknologi yang dicapai akhir tahun ketiga adalah TKT 6, karena pengembangan akan lengkap dan memenuhi syarat melalui pengujian dan demonstrasi dalam aplikasi sebenarnya.

Metode atau cara untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan ditulis tidak melebihi 600 kata. Bagian ini dilengkapi dengan diagram alir penelitian yang menggambarkan apa yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan selama waktu yang diusulkan. Format diagram alir dapat berupa file JPG/PNG. Bagan penelitian harus dibuat secara utuh dengan penahapan yang jelas, mulai dari awal bagaimana proses dan luarannya, dan indikator capaian yang ditargetkan. Di bagian ini harus juga mengisi tugas masing-masing anggota pengusul sesuai tahapan penelitian yang diusulkan.

METODE

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada pengembangan teknologi terapan bangunan tahan gempa kinerja tinggi dengan batasan sebagai berikut :

1. Subyek Penelitian adalah pemangku kepentingan (stakeholder) yang dilibatkan sistem ini laboratorium uji tahan gempa di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Standard Nasional, Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual, dan mitra perusahaan yang menerapkan teknologi yang dikembangkan.
2. Studi kasus pada penelitian pada 3 (tiga) jenis sambungan komponen pracetak dengan prategang yaitu sambungan balok ke kolom pada sistem rangka untuk bangunan gedung bertingkat tinggi dengan prategang dominan, sambungan antar dinding pracetak secara vertikal pada sistem dinding pemikul untuk bangunan bertingkat tinggi, dan sambungan antar segmen pier secara vertikal untuk jalan layang.
3. Lokasi penelitian di Jakarta, analisis hasil data pengujian tahan gempa di Bandung, pembuatan draft SNI di Bandung, pembuatan SNI di Jakarta, pembuatan buku panduan di Jakarta, pengujian penerapan di pabrik pracetak dan konstruksi di jalan layang.
4. Pengumpulan data penelitian dengan studi banding, data dari model numerik, data pengujian tahan gempa, dan penelitian penerapan di lapangan untuk mendukung pengembangan teknologi sampai data penelitian dengan kompilasi hasil akuisisi data survey diolah di Jakarta.
5. Waktu penelitian yang diajukan adalah 3 tahun.

Metode Pengambilan Data.

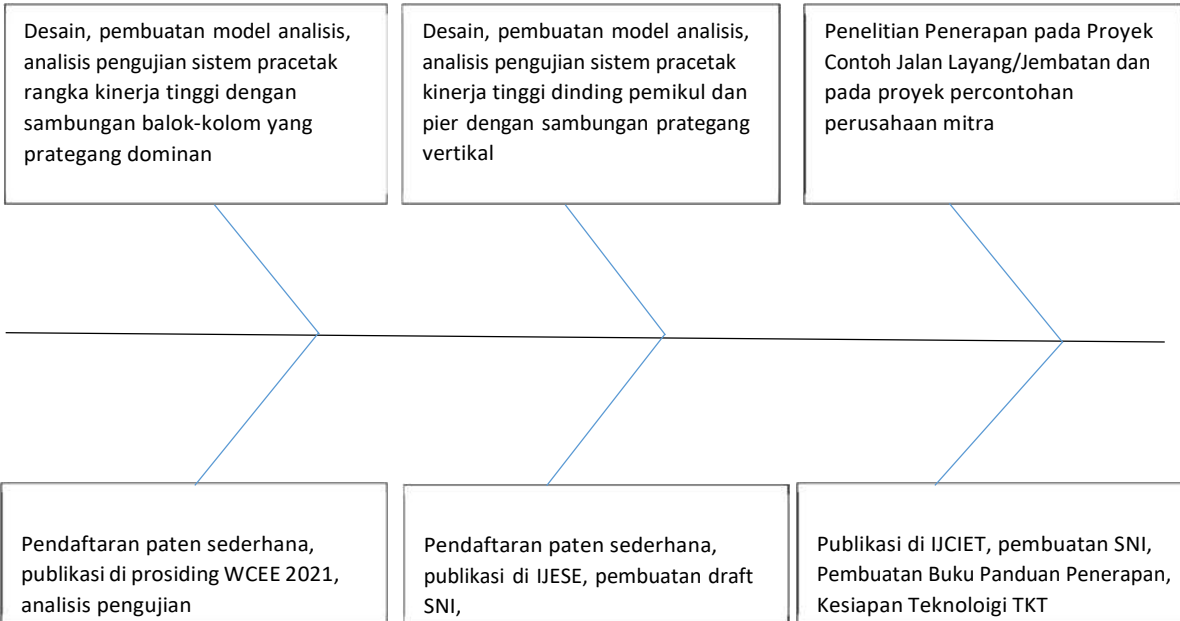
1. Metode studi banding
2. Metoda pengamatan diatas meja (*desk work observation*)
3. Metoda pengamatan eksperimental
4. Metoda pengamatan uji prototipe

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metoda kuantitatif yang terdiri langkah-langkah sebagai berikut.

1. Pengumpulan standar perencanaan tahan gempa terkait dengan teknologi yang dikembangkan, baik yang sudah ada di Indonesia, maupun standar luar negeri yang belum diadopsi di Indonesia.
2. Merencanakan detail teknologi yang dikembangkan berdasarkan studi banding di luarnegeri serta material dan teknologi lokal yang sudah ada di Indonesia. Detail teknologi ini dapat segera didaftarkan di Direktorat Jenderal HKI dalam bentuk paten sederhana
3. Membuat model matematik dan model numerik untuk menguji kehandalan teknologi secara *desk work* berdasarkan code yang berlaku.
4. Analisis hasil data uji tahan gempa di laboratorium untuk menguji model matematik dan model numerik berdasarkan code yang berlaku.
5. Uji penerapan di lapangan, mulai dari produksi elemen dalam skala 1 : 1 sampai penerapan di proyek percontohan.
6. Pembuatan Standar Nasional Indonesia dan Buku Panduan Perencanaan dan Penerapan Teknologi.

ROADMAP PENELITIAN

DWI DINARIANA DKK (UNIVERSITAS PERSADA INDONESIA YAI)



Data-data yang diperoleh dari studi banding luar negeri dan bahan dan teknologi dianalisis untuk pengembangan detail teknologi yang dikembangkan. Dasar analisis adalah syarat minimal teknis dari Standar Nasional Indonesia, aspek kemudahan produksi dan pelaksanaan, dan aspek ekonomis. Detail teknologi lalu diuji dengan model matematik dan model numerik untuk mendapatgambaran kehandalan teknologi. Analisis numerik dilakukan dengan piranti lunak. Jika secara analisis desk work sudah menunjukkan kehandalan detail teknologi, pengujian dilanjutkan secara eksperimental. Analisis pengujian dilakukan berdasarkan kriteria persyaratan minimal dalam SNI verifikasi eksperimental, dan perbandingan dengan model matematik dan model numerik. Jika detail teknologi sudah teruji secara eksperimental, maka dilakukan analisis pada proses penerapan di lapangan. Analisis meliputi indeks tenaga kerja, indeks peralatan, kemudahan pelaksanaan, produktifitas teknologi dan analisis ekonomi berdasarkan metoda *Life Cycle Cost*, serta membuat standar *project planning and controlling*

Dr. Ir. Dwi Dinariana,MT. mengkoordinasikan seluruh kegiatan penelitian. Secara khusus melakukan penelitian pada aspek teknis pelaksanaan dan kajian ekonomis produk. Analisis meliputi indeks tenaga kerja, indeks peralatan, kemudahan pelaksanaan, produktifitas teknologi dan analisis ekonomi berdasarkan metoda *Life Cycle Cost* serta membuat standar *project planning and controlling*. Dr. Ir. Suwito secara khusus melakukan pemodelan matematis dan simulasi komputer, melakukan perencanaan struktur, menyusun Standar Nasional Indonesia, dan menyusun buku panduan perencanaan dan penerapan teknologi. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman,MT. melakukan kegiatan pengujian tahan gempa untuk membuktikan kinerja struktur. Kegiatan meliputi penyusunan rencana pengujian, penentuan standard pengujian, pelaksanaan pengujian, evaluasi hasil pengujian.

Jadwal penelitian disusun dengan mengisi langsung tabel berikut dengan memperbolehkan penambahan baris sesuai banyaknya kegiatan.

JADWAL

Tahun Ke 1														
No	Nama Kegiatan	Bulan												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Studi literatur tentang standard teknis, teknologi terkait sistem pracetak tahan gempa kinerja tinggi berbentuk rangka													
2	Desain teknologi produk sistem rangka tahan gempa kinerja tinggi dengan sambungan balok ke kolom dengan sistem prategang yang dominan													
3	Proses penyusunan draft sampai dengan pendaftaran paten sederhana produk													
4	Pembuatan model matematis, model numerik, simulasi komputer, proposal metoda perencanaan													
5	Analisis hasil data pengujian tahan gempa													
6	Publikasi di prosiding WCEE 2021													
7	Perencanaan teknologi kombinasi sistem pracetak berbentuk rangka dan dinding pemikul pada bangunan bertingkat tinggi													
8	Laporan akhir penelitian tahun 1 dengan luaran produk sistem rangka tahan gempa kinerja tinggi dengan sambungan balok ke kolom dengan sistem prategang yang dominan.													

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

STUDI LITERATUR

Konsep desain gempa tradisional yang menyatakan bahwa struktur boleh rusak asalkan tidak runtuh jika terkena gempa rencana mulai dipandang tidak sesuai lagi dengan tuntutan masyarakat saat ini. Pengalaman akan banyaknya bangunan yang mengalami kerusakan berat (memerlukan biaya besar untuk perbaikan atau tidak dapat diperbaiki) akibat gempa Loma Prieta (1989) dan Northridge (1994) di Amerika Serikat dan Selandia Baru tahun 2010-2011 menyebabkan banyak pemilik dan pengguna bangunan protes akan kinerja bangunan yang terkena gempa kuat. Hal ini mendorong dikembangkannya filosofi desain baru dalam bentuk “bangunan tidak boleh rusak berat walaupun terkena gempa kuat”. Salah satu alternatif untuk mendukung filosofi desain gempa baru ini adalah menggunakan sistem struktur beton pracetak pemikul beban gempa.

Secara umum, sistem struktur beton pracetak pemikul gempa diklasifikasikan dalam 2 tipe, yaitu sistem emulatif dan *jointed*. Sistem pracetak emulatif didesain dan didetailkan agar mempunyai kinerja yang menyerupai sistem beton bertulang konvensional dalam hal kekuatan, kekakuan dan disipasi energi. Sistem struktur pracetak *jointed* menggunakan konsep sistem sambungan yang berbeda dengan sistem sambungan emulatif [1]. Sistem sambungan struktur pracetak *jointed*/non-emulatif yang mempunyai potensi untuk digunakan dalam sistem struktur pemikul gempa kinerja tinggi.

Sistem struktur beton pracetak penahan gempa berkinerja tinggi merupakan konsep yang pertama kali dikembangkan oleh peneliti gabungan antara Amerika dan Jepang dalam program penelitian *PREcast Seismic Structural Systems* (PRESS) (1994-2002) [2-5] dan juga peneliti di Selandia Baru [6,7] pada akhir 1990. Konsep ini kemudian dikembangkan juga oleh peneliti dan praktisi di negara-negara lain termasuk di Indonesia [8-11] yang berlanjut hingga menghasilkan system dengan nama PRESSINDO [12,13]. Pengembangan system pracetak penahan gempa terus dilakukan di Indonesia [14-17]. Penggunaan sistem sambungan non-emulatif memerlukan validasi pengujian berdasarkan peraturan SNI 7834:2012 [18].

Alternatif lain yang berpotensi untuk menghasilkan sistem struktur dengan kinerja tinggi terhadap gempa dalam kaitannya dengan sistem pracetak adalah sistem struktur yang mengkombinasikan antara struktur beton pracetak dengan *base isolation*. Teknologi *base isolation* telah terbukti dapat mengurangi secara signifikan beban gempa yang diterima oleh struktur yang dilengkapi dengan *base isolation*, terutama untuk struktur yang mempunyai periode struktur yang tidak terlalu besar. Beberapa studi telah dilakukan untuk mengkombinasikan sistem beton pracetak dan teknologi base isolation [19,20] dan memberikan hasil yang menjanjikan dalam hal menghindari pemenuhan persyaratan daktilitas. Permasalahan yang perlu diatasi antara lain isu *initial cost* dan *life cycle cost*. Based on [19] biaya tambahan awal yang diperlukan untuk menambahkan base isolation adalah antara 1-2%, yang merupakan nilai yang cukup menarik dari segi *life cycle cost*

DESAIN TEKNOLOGI

Kriteria Keandalan Sistem Struktur

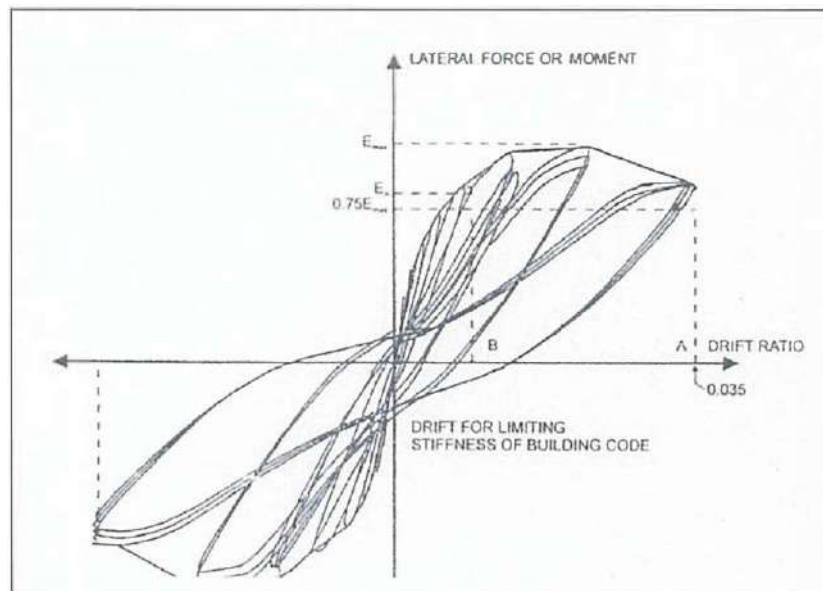
Secara umum keandalan sambungan komponen pracetak diperiksa melalui uji pembebanan bolak-balik dua arah pseudo dynamic. Hysteresis Loop beban lateral dan perpindahan dijadikan parameter kualitatif dan kuantitatif sebagai tolok ukur daktilitas. Parameter kuantitatif yang diperoleh dari hysteresis loop adalah daktilitas elemen (μ), energi disipasi (W_d), degradasi kekuatan dan kekakuan sambungan.

Pembebanan yang diberikan untuk pengujian keandalan sambungan pada umumnya adalah pembebanan horisontal siklik dua arah pseudo dynamic. Penilaian keandalan berdasarkan parameter kualitatif dan kuantitatif dari hysteresis loop beban lateral dan perpindahan. Parameter kualitatif yang didapat dari hysteresis loop adalah stabilitas kekuatan, kekakuan, energi disipasi dan beberapa parameter non dimensional lainnya.

Salah satu kriteria keandalan yang dapat digunakan sebagai referensi dalam menilai keandalan struktur pracetak adalah kriteria yang ditetapkan dalam SNI 7834:2012 Metode uji dan kriteria penerimaan sistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung. SNI 7834:2012 mensyaratkan benda uji harus diberikan pembebanan dengan riwayat perpindahan sekurang-kurangnya tiga siklus lengkap dan harus dirancang dengan konsep "Kolom Kuat Balok lemah", tahanan minimum (E_n) harus tercapai sebelum rasio simpangannya 2,00 % serta tahanan lateral maksimum tidak boleh melebihi nilai $\lambda \cdot E_n$ (λ = faktor kuat lebih kolom).

Selain itu, benda uji harus memenuhi kriteria kestabilan, rasio disipasi energi serta kriteria kekakuan. Penjelasan ketiga kriteria tersebut adalah sebagai berikut:

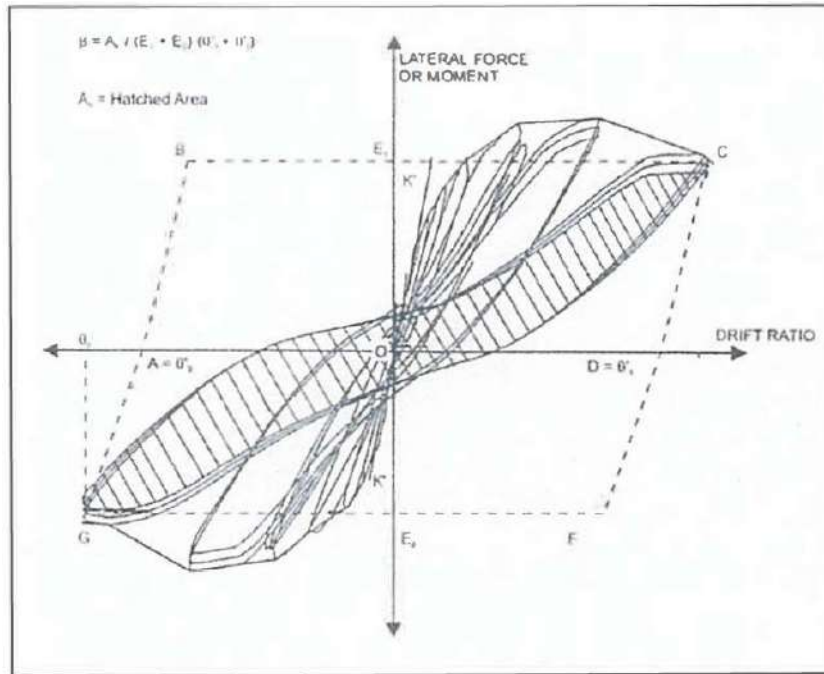
1. Nilai beban lateral pada akhir siklus pembebanan (drift ratio 3,50 %, siklus ke-3) harus lebih besar dari 75 % nilai beban maksimum.



Gambar Nilai 75 % Behan Lateral Maksimum

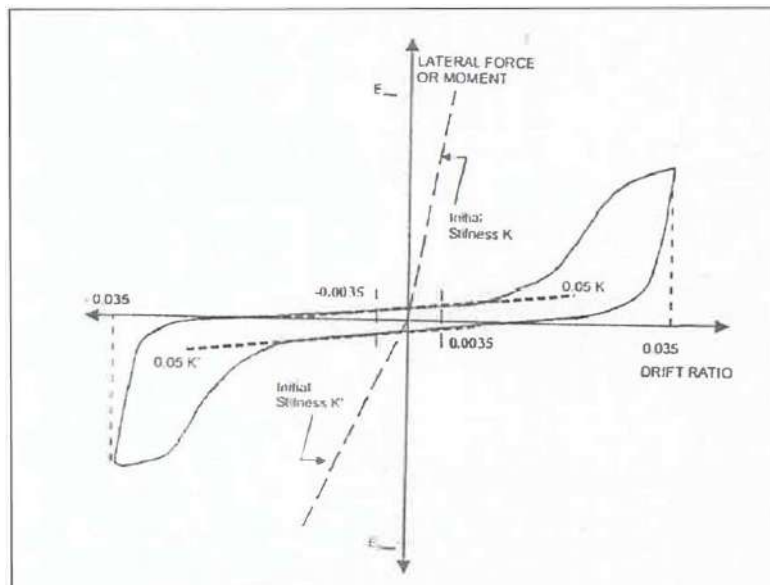
2. Nilai ratio disipasi energi relatif (P) harus lebih besar dari 0,125. Nilai rasio disipasi energi relatif adalah nilai perbandingan antara luas yang dibentuk oleh hysteretic loop

pada story drift 3,50% siklus ke-3 dengan luas jajaran genjang yang dibentuk dari perpotongan ujung hysteretic loop pada story drift 3,50% siklus ke-3 dengan garis yang sejajar dengan gradien pada siklus pertama story drift 0,2 % pada setiap arah pembebanan.



Gambar Nilai Disipasi Energi Relatif

- Perbandingan nilai gradien hysteresis loop siklus ke-3 story drift 3,50% yang dibatasi limit -0,35% dan +0,35% harus lebih besar atau sama dengan 0,05 kali nilai gradien awal modul struktur pada siklus pembebanan pertama.



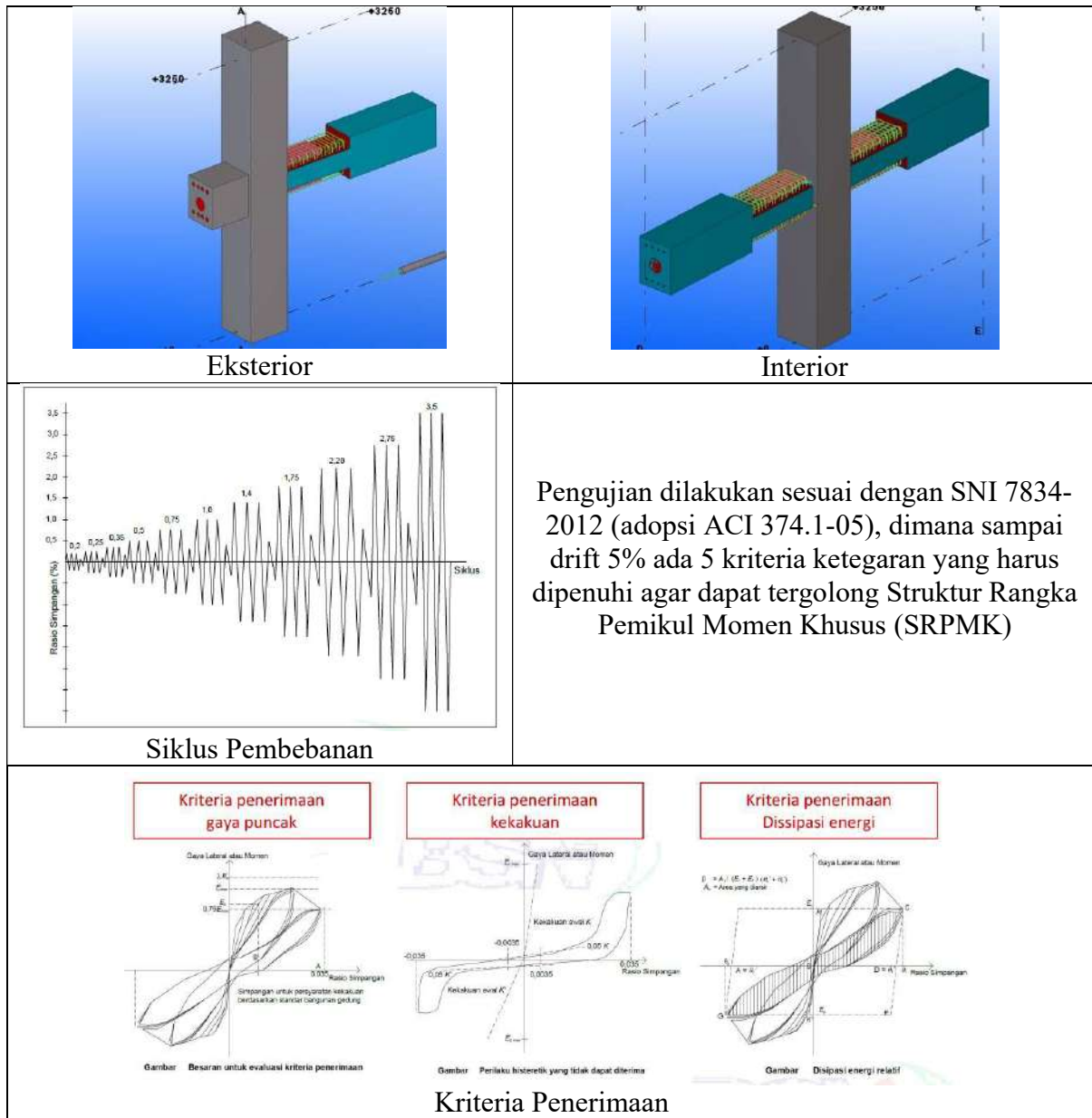
Gambar Nilai Gradien Kurva

Kriteria Kebutuhan Data Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem struktur beton panel pracetak yang direncanakan meliputi pengujian komponen dan sambungan. Apabila komponen struktur telah dapat diperkirakan dan diketahui dengan baik perilaku dan kekuatannya maka pengujian cukup dilakukan pada sambungan. Dimensi benda uji apabila memungkinkan sesuai dengan peralatan pengujian yang tersedia sebaiknya dibuat dalam skala 1 : 1, sehingga dapat dianalisis langsung tanpa teori model. Dengan benda uji berskala 1 : 1 maka jumlah benda uji yang diambil cukup satu benda uji untuk tiap dimensi dan lokasi sambungan namun dengan pemasangan jumlah sensor yang representatif.

PROGRAM PENGUJIAN DAN DATA HASIL PENGUJIAN

Modul Join Balok-Kolom, Siklus Pembebanan dan Kriteria Penerimaan



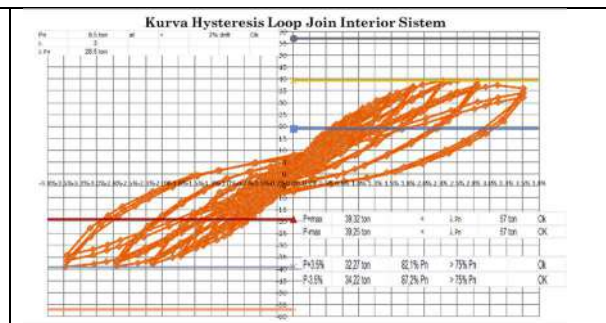
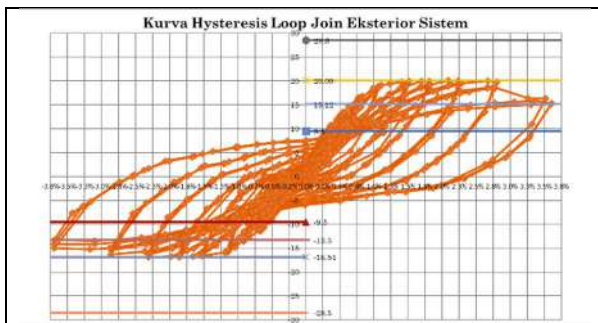


Eksterior



Interior

Data Hasil Pengujian Join Balok-Kolom



Contoh SPRMK (lulus 3.5%)

Persyaratan kekuatan:

E maks (+)	=	33.83 ton
E dirn 3.5% (+)	=	31.47 ton
E dirn 3.5% (-)	=	0.93 > 0.75
E maks (-)	=	33.46 ton
E dirn 3.5% (-)	=	31.44 ton
E maks (-)	=	0.94 > 0.75

Persyaratan kekakuan:

Desak (+)	=	0.72
1.03	=	0.16 > 0.06
Tarik (-)	=	0.22
1.54	=	0.13 > 0.08

Persyaratan disipasi energi:

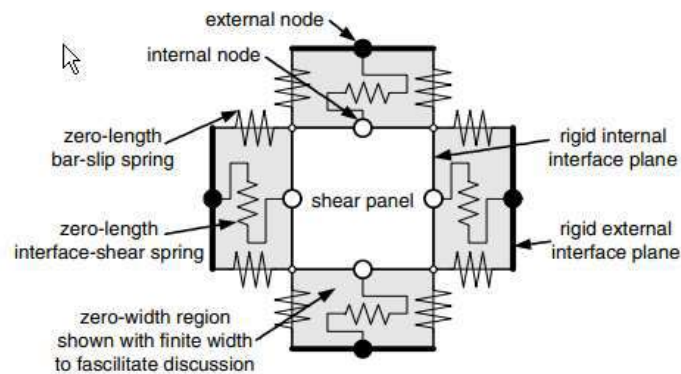
Disipasi energi relatif (β = A1/(P1+4) (β1-4β2))	=	4056.82
A1 =	=	8741.047
β =	=	0.46 > 0.125

PEMBUATAN MODEL NUMERIK DAN METODE DESAIN

Model Numerik

Model numerik join balok-kolom yang akan digunakan adalah model numerik join balok-kolom yang dikembangkan oleh Lowes dkk. [21], sebuah model join balok-kolom untuk mensimulasi respons rangka beton bertulang terhadap beban gempa. Model ini telah

diimplementasikan dalam OpenSees [22], kerangka kerja piranti lunak untuk simulasi respons sistem struktur dan geoteknik yang terkena beban seismik.



Model join balok-kolom

Motode Desain

Secara garis besar, metode desain yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan, maka akan dilakukan pemodelan numerik join balok-kolom untuk menghasilkan keluaran model numerik yang mendekati data-data hasil pengujian.
2. Setelah model numerik suatu join balok-kolom sudah berhasil ditentukan, maka model numerik tersebut akan digunakan untuk analisis dan desain struktur keseluruhan

PENDAFTARAN PATEN SEDERHANA

Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik Tanpa Lekatan

Invensi ini mengenai Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan, lebih khusus lagi, invensi ini berhubungan dengan sistem struktur yang digunakan untuk bangunan bertingkat yaitu struktur pracetak dinding pemikul beton bertulang yang dibuat dengan pracetak dimana komponen dinding beton bertulang akan disambung menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan secara vertikal. Komponen struktur dinding pemikul pracetak harus disediakan lubang saat fabrikasi sesuai jumlah dan posisi sesuai perencanaan studi kasus proyek yang dikerjakan untuk elemen batas dan elemen badan dinding pracetak. Tendon pascatarik tanpa lekatan dipasang dilapangan pada posisi lubang yang tersedia dan dilakukan penarikan kemudian dikunci dengan blok angkur pada komponen dinding terakhir yang dipasang pada lantai atas.

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini mengenai Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan, lebih khusus lagi, invensi ini berhubungan dengan sistem struktur yang digunakan untuk bangunan bertingkat yaitu struktur pracetak dinding pemikul beton bertulang dimana komponen dinding beton bertulang akan disambung menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan secara vertikal.

Latar Belakang Invensi

Invensi ini telah dikenal dan digunakan untuk konstruksi bangunan bertingkat dengan struktur pracetak yang menggunakan dinding geser atau dinding pemikul.

Invensi teknologi yang berkaitan dengan sistem sambungan struktur dinding pracetak pemikul beton bertulang, juga telah diungkapkan sebagaimana terdapat pada paten terkait sistem sambungan struktur dinding pracetak Nomor S00201905666 Tanggal 2019-07-05. dengan judul Struktur Dinding Pracetak Untuk Gedung Bertingkat Tinggi Dengan Sambungan Spiral pada Vertikal dan Sambungan Embedded Horizontal antar Panel. dimana diungkapkan komponen panel pracetak beton bertulang akan disambung secara horizontal menggunakan embedded dan sambungan secara vertikal menggunakan spiral, namun invensi tersebut masih terdapat kekurangan

yaitu karena mutu sambungan baja tulangan kurang lebih sama dengan mutu tulangan dinding yang akan disambung sehingga dibutuhkan sambungan vertikal yang cukup banyak.

Invensi lainnya sebagaimana diungkapkan pada paten terkait struktur dinding pracetak yang menggunakan sambungan pelat embedded untuk sambungan antar panel dan pondasi. Nomor IDS000003580 tanggal 2021-01-26. dengan judul Struktur Dinding Pracetak Yang Dilengkapi dengan Pelat Tertanam untuk Penyambungan antar Dinding dan dengan Pondasi. dimana diungkapkan struktur dinding pracetak menggunakan pelat embedded baik sambungan antar panel secara horizontal maupun terhadap pondasi. Namun demikian invensi yang tersebut diatas masih mempunyai kelemahan-kelemahan dan keterbatasan yang antara lain adalah sistem ini hanya dapat digunakan pada struktur bangunan tidak bertingkat karena tidak terdapat sambungan antar panel secara vertikal. Selanjutnya Invensi yang diajukan ini dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan yang dikemukakan diatas dengan cara sambungan struktur dinding pemikul vertikal menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan, dimana mutu baja prategang jauh lebih tinggi dari baja tulangan sehingga jumlah sambungan akan lebih sedikit dan lebih efisien.

Uraian Singkat Invensi

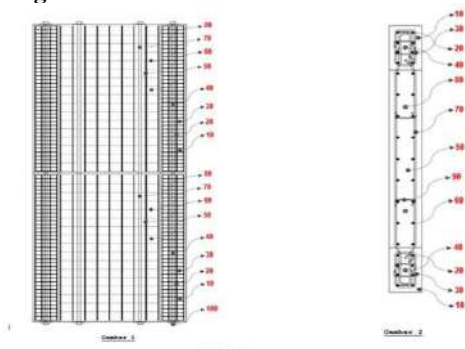
Tujuan utama dari invensi ini adalah untuk mengatasi permasalahan yang telah ada sebelumnya khususnya pada sambungan vertikal dinding menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan, dimana suatu Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan sesuai dengan invensi ini terdiri dari:

- Struktur pracetak dinding pemikul dengan material beton dan tulangan baja baik tulangan longitudinal maupun tulangan transversal;
- Dinding pracetak merupakan dinding geser beton bertulang yang terdapat elemen batas diujung nya ataupun tidak;
- Tendon pascatarik tanpa lekatan yang terdiri dari baja prategang mutu tinggi yang digunakan sebagai sambungan vertikal.

Yang dicirikan dengan sambungan vertikal dinding pemikul yang menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan. Tujuan lain dari invensi ini adalah untuk mendapatkan sistem struktur dinding pemikul beton bertulang untuk bangunan bertingkat yang sambungan vertikal nya dapat lebih efisien.

Tujuan dan manfaat-manfaat yang lain serta pengertian yang lebih lengkap dari invensi berikut ini sebagai perwujudan yang lebih disukai dan akan dijelaskan dengan mengacu pada gambar-gambar yang menyertainya.

Uraian Singkat Gambar



Gambar 1, adalah gambar pandangan trasparan sisi samping dari Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan sesuai dengan invensi ini.

Gambar 2, adalah gambar detail penampang Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan sesuai dengan invensi ini.

Uraian Lengkap Invensi

Invensi ini akan secara lengkap diuraikan dengan mengacu kepada gambar-gambar yang menyertainya. Mengacu pada Gambar 1 dan Gambar 2, yang memperlihatkan gambar detail secara lengkap Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan yang terdiri dari dinding pracetak beton bertulang elemen batas (10) dengan tulangan longitudinal batas (20) serta tulangan transversal batas (30) dan elemen badan (50) dengan tulangan longitudinal badan (60) dan tulangan transversal badan (70 & 90). Kedua elemen dinding akan disambung secara vertikal sebagaimana peruntukannya yaitu untuk bangunan bertingkat, sambungan vertikal menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan yang dipasang pada elemen batas dinding (40) dan tendon pascatarik tanpa lekatan yang dipasang pada elemen badan dinding (80). Tendon pascatarik tanpa lekatan (40 & 80) terdiri dari 7 (tujuh) buah baja tulangan prategang diameter 0.5” yang

dibungkus menjadi 1 (satu) tendon, pada ujung tendon setelah ditarik akan kunci menggunakan blok angkur (100) pada ujung terakhir pemasangan komponen dinding pemikul beton bertulang pracetak.

Mengacu pada gambar 1 hingga gambar 2, komponen struktur dinding pemikul beton bertulang pracetak sebelumnya di lakukan fabrikasi baik dipabrik maupun dilapangan, dimensi dinding baik elemen batas (10) yang terdiri dari tulangan longitudinal (20) dan tulangan transversal (30) maupun elemen badan (50) yang terdiri dari tulangan longitudinal (60) dan longitudinal (70 & 90) di desain oleh konsultan struktur sesuai kebutuhan berdasarkan studi kasus proyek yang dikerjakan. Saat fabrikasi harus disediakan lubang sebagai tempat sambungan vertikal tendon pascatarik tanpa lekatan baik untuk elemen batas (40) maupun sambungan vertikal untuk elemen badan (80) yang diperhitungkan sesuai kebutuhan studi kasus proyek yang dikerjakan. Selanjutnya dilapangan dilakukan pengangkatan dan pemasangan elemen dinding struktur pracetak dan harus di atur dan di pastikan supaya dinding atas dan bawah harus sejajar sehingga lubang antar dinding dapat sejajar dan pemasangan sambungan vertikal tendon pascatarik tanpa lekatan dapat dilakukan. Setelah pengaturan posisi selesai, dilakukan penarikan baja prategang pascatarik tanpa lekatan, dan setelah selesai tendon dikunci menggunakan blok angkur (100).

Dari uraian diatas jelas bahwa hasil dari invensi ini dapat memberi manfaat bagi pelaku konstruksi baik pelaksana maupun pemilik proyek karena secara praktis dan efisien karena sambungan yang lebih efisien dan cepat untuk dilaksanakan dan invensi ini benar-benar menyajikan suatu penyempurnaan yang sangat praktis khususnya pada sambungan vertikal dinding pracetak yang menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan.

Klaim

1. Suatu Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik tanpa Lekatan yang terdiri dari:

- a. Struktur pracetak dinding pemikul dengan material beton dan tulangan baja baik tulangan longitudinal maupun tulangan transversal;
- b. Dinding pracetak merupakan dinding geser beton bertulang yang terdapat elemen batas di ujungnya ataupun tidak;
- c. Tendon pascatarik tanpa lekatan yang terdiri dari baja prategang mutu tinggi yang digunakan sebagai sambungan vertikal.

Yang dicirikan dengan sambungan vertikal dinding pemikul yang menggunakan tendon pascatarik tanpa lekatan.

CONTOH PERHITUNGAN STRUKTUR PRACETAK PADA BANGUNAN GEDUNG

Disain perhitungan struktur pracetak pada bangunan gedung ini dilaksanakan dengan studi kasus pada pembangunan Apartemen Pancoran Riverside 2 Lokasi: Pancoran, Jakarta Selatan

1. Pendahuluan

Lokasi bangunan	: Pancoran, Jakarta Selatan.
Fungsi bangunan	: Bangunan Apartemen
Jumlah lantai	: 32 lantai, 6 lantai podium, dan 2 basement.
Tinggi bangunan	: 121.6 m
Struktur bangunan	: Beton bertulang precast.

2. Peraturan – Peraturan Yang Dipergunakan Dalam Desain

Dasar – dasar peraturan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah:

1. SNI 1727-2020, Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
2. SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3. SNI 2847-2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan
4. SNI 6880:2016, Spesifikasi Beton Struktural
5. SNI 2052:2017, Baja Tulangan Beton
6. SNI 8460:2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik

3. Mutu Material Yang Digunakan

Spesifikasi bahan yang digunakan adalah:

1. Tiang pancang : f'c 45 Mpa
2. Pile cap, tie beam, pelat lantai dasar : f'c 30 Mpa
3. Beton kolom dan shearwall : f'c 50 Mpa
4. Beton balok : f'c 40 Mpa
5. Beton pelat lantai HCS : f'c 40 Mpa
6. Baja tulangan : BJTS 420, fy = 420 Mpa
7. Strand : ASTM A416 grade 270 Low Relaxation
8. PC wire : ASTM A421 low Relaxation

4. Sistem Struktur Bangunan

Bangunan termasuk dalam kategori desain seismik KDS D, sehingga sistem struktur yang bisa dipakai berdasarkan tabel 12 SNI 1726:2019 adalah adalah: sistem ganda, gabungan dari struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang khusus

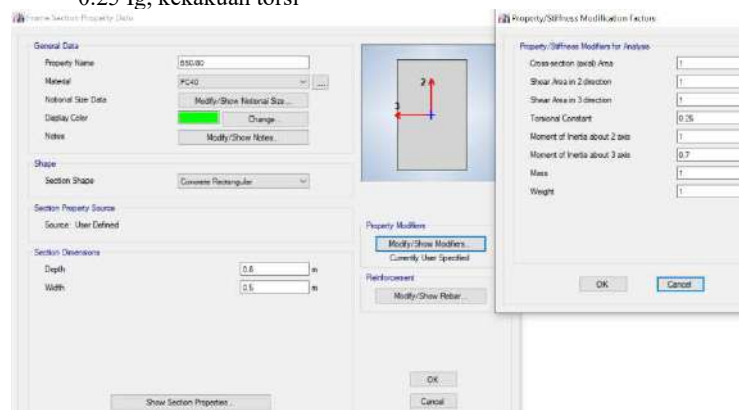
5. Metode Perencanaan Struktur Atas

Dalam perencanaan gedung ini dilakukan dengan analisis dinamik dengan langkah sebagai berikut:

- Melakukan pemodelan struktur secara 3 dimensi untuk mendapatkan periode getar struktur, bentuk ragam, factor partisipasi massa dan massa bangunan
- Menentukan jumlah ragam yang digunakan pada analisis agar tercapai partisipasi massa total dalam masing-masing arah minimal 90% dari massa total.
- Memasukkan respon spectrum yang sesuai dengan lokasi bangunan
- Kombinasikan perpindahan ragam dan gaya-gaya komponen menggunakan metode CQC / SRSS untuk menentukan perpindahan sistem dan gaya rencana
- Menghitung gaya geser dasar yang dihitung dengan metoda static ekivalen V_{statik} dengan mempertimbangkan batasan perioda $T=T_a C_u$
- Menghitung faktor skala pada masing-masing arah dengan membandingkan gaya geser dasar yang dihitung dengan metoda static ekivalen dan gaya geser yang didapat dari hasil analisis ragam, dengan perbandingan $100\% V_{statik}/V_{CQC} \geq 1.0$
- Menskalakan gaya geser hasil analisis ragam dengan mengalikannya dengan factor skala sehingga diperoleh gaya geser yang dipakai untuk desain, $V_{desain} = V_{CQC} \times \text{factor skala}$

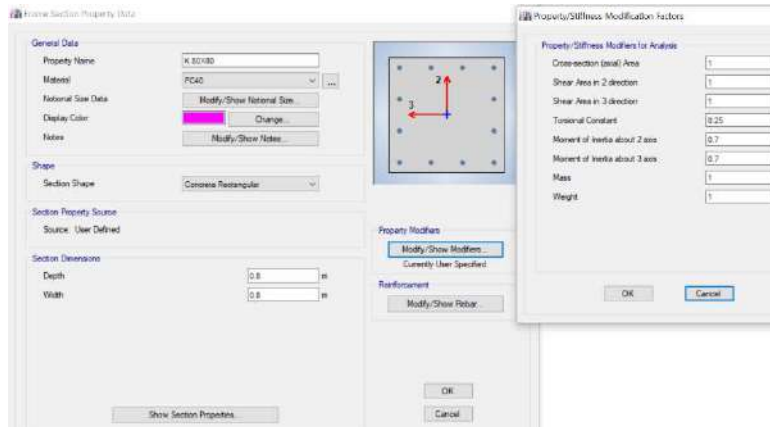
6. Pembebanan Dasar Dan Parameter Yang Dipakai Dalam Perencanaan

1. Beton bertulang $\gamma : 24.0 \text{ kN/m}^3$
2. baja struktural $\gamma : 78.5 \text{ kN/m}^3$
3. Beban hidup w_{II}
 - Ruang Bersama / fasilitas: 4.79 kN/m^2
 - Ruang hunian: 1.92 kN/m^2
 - Ruang parkir (mobil penumpang): 1.92 kN/m^2
4. Beban Super Dead load (SDL) : 1.5 kN/m^2
5. Beban dinding : 1.0 kN/m^2 , untuk partisi ruang dalam
: 24.0 kN/m^3 , untuk dinding façade pracetak
6. Parameter koefisien faktor reduksi untuk menentukan berat seismik efektif bangunan adalah (sesuai SNI 1726:2019):
 - Beban mati : 1.0
 - Beban hidup : 0.25
7. Parameter faktor reduksi kuat rencana (ϕ) yang digunakan dalam perencanaan komponen struktur (sesuai SNI 2847:2019) adalah:
 - Faktor reduksi lentur : 0.9
 - Faktor reduksi aksial : 0.65
 - Faktor reduksi geser : 0.75
8. Parameter efektifitas momen inertiya untuk memperhitungkan kekakuan efektif elemen struktur (sesuai SNI 2847:2019):
 - Modulus elastisitas : $4700\sqrt{f_c'}$
 - Komponen Balok : $0.7 I_g$, kekakuan lentur (balok persegi)
 $0.25 I_g$, kekakuan torsi



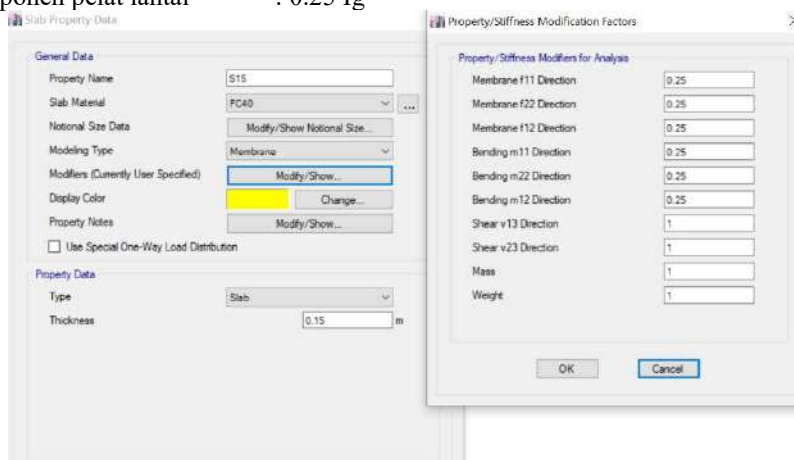
Gambar 6a. Pemodelan penampang balok

- Komponen Kolom : $0.7 I_g$, kekakuan lentur
 $0.25 I_g$, kekakuan torsi



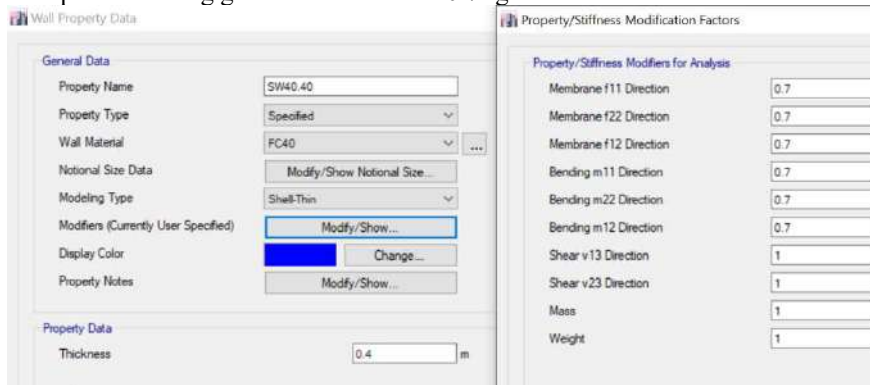
Gambar 6b. Pemodelan penampang kolom

- Komponen pelat lantai : 0.25 Ig



Gambar 6c. Pemodelan pelat lantai

- Komponen dinding geser : 0.7 Ig



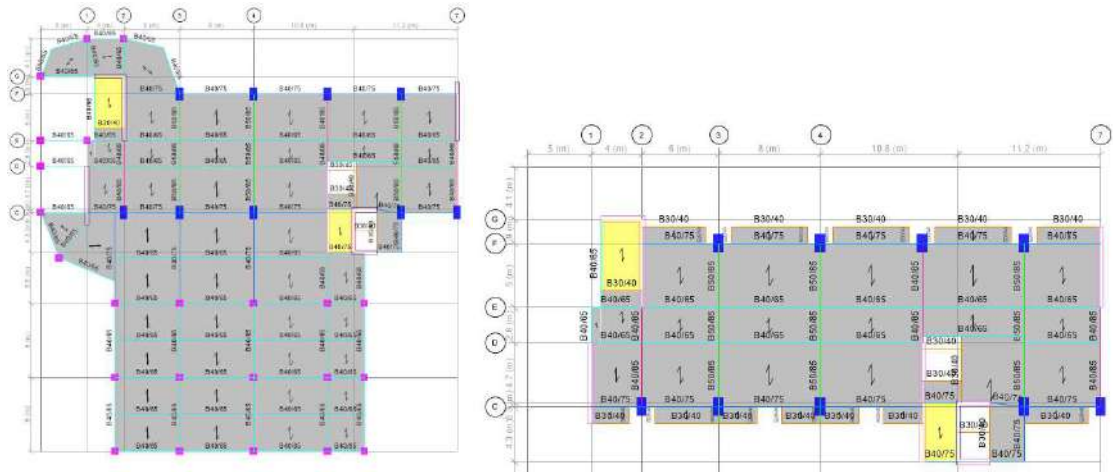
Gambar 6d. Pemodelan dinding geser

7. Pemodelan Struktur

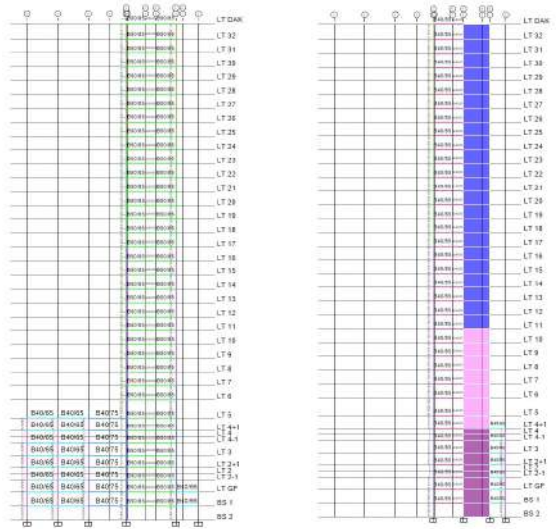
Analisis struktur Input geometri, massa bangunan dan model 3D dilakukan dengan bantuan program ETABS. Struktur atas gedung dianalisis secara 3-dimensi. Kolom dan balok dimodelkan menggunakan *frame element*, dinding geser menggunakan *shell* sedangkan pelat lantai dimodelkan menggunakan *membrane* dengan memperhitungkan pengaruh diafragma.

Beberapa hal yang menjadi perhatian utama terkait permodelan struktur adalah:

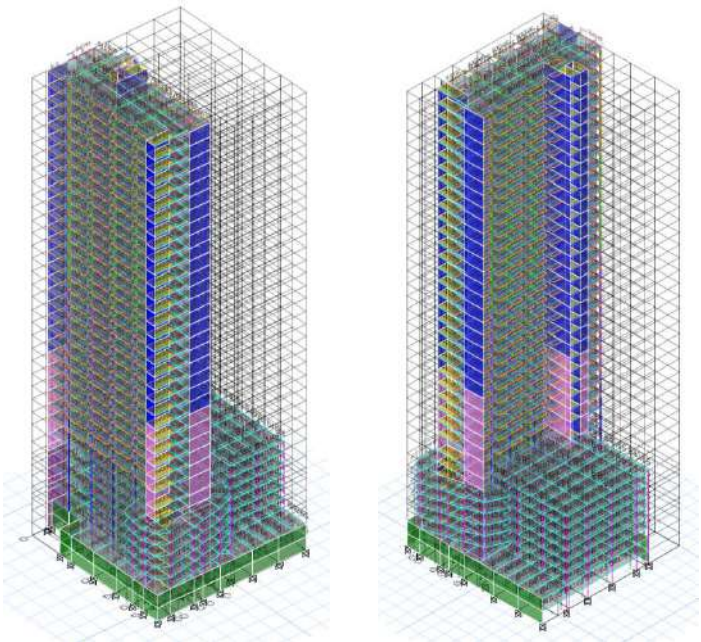
1. Perletakan kolom (*base of columns*) diasumsikan berupa perletakan jepit.
2. Pelat lantai diasumsikan sebagai *diafragma semi-kaku* pada bidangnya (*in plane*).



Gambar 7a - Model lantai tipikal



Gambar 7b - Potongan struktur

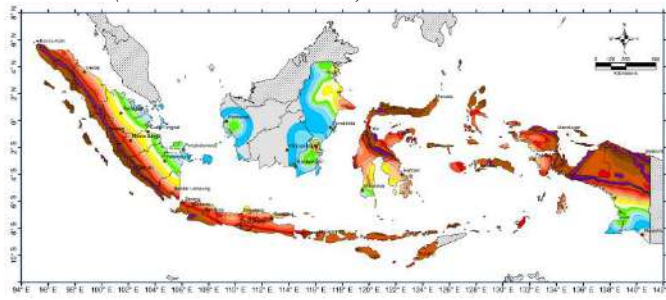


Gambar 7c - Model 3 dimensi

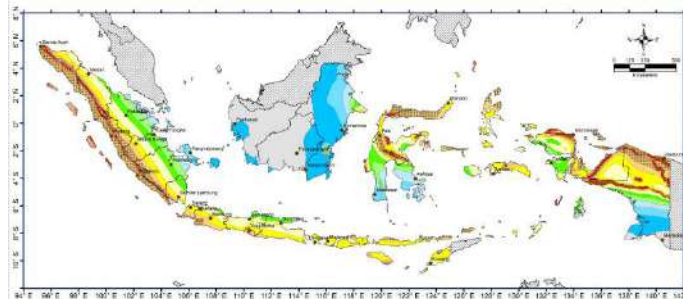
8. Penentuan Gaya Gempa Struktur

Untuk Peninjauan terhadap gaya gempa data-data yang dipakai adalah sebagai berikut:

- **Peta percepatan Batuan dasar** (sesuai SNI 1726:2019).



Gambar 8.1 - Peta Gempa Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek



Gambar 8.2 - Peta Gempa Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 detik

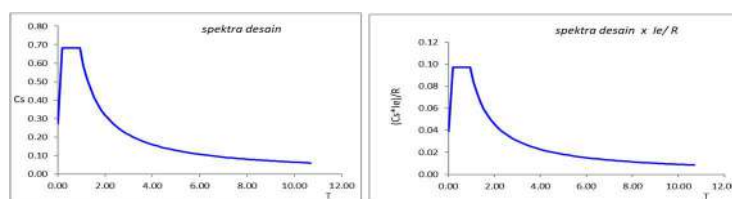
- **Kondisi Tanah**
Lokasi bangunan berada pada lokasi dengan kategori termasuk tanah lunak.
- **Kategori Resiko Bangunan Gedung**
Kategori resiko bangunan Gedung ditentukan berdasarkan fungsi atau penggunaan Gedung, yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 tabel 3 dan tabel 4. Bangunan ini termasuk kategori resiko II dengan nilai faktor keutamaan gempa yang dipakai $I_e = 1.0$
- **Faktor Koefisien Modifikasi Respon R, Faktor Pembesaran Defleksi C_d dan Faktor Kuat Lebih Ω_0**
Faktor R, C_d dan Ω_0 ditentukan berdasarkan system struktur yang dipakai. Factor-faktor ini ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 tabel 12. Sistem struktur yang dipakai adalah sistem ganda, gabungan rangka pemikul momen khusus dan dinding geser khusus, sehingga dipakai nilai faktor modifikasi respons, $R = 7$; faktor kuat lebih, $\Omega_0 = 2.5$; faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5.5$

Dari beberapa parameter di atas dapat ditentukan grafik respon spektrum yang dipakai untuk perencanaan beban gempa bangunan. Berikut tabel parameter penentuan beban gempa desain:

Tabel 8 - Parameter beban gempa desain

Parameter	Nilai
Kategori Resiko	II
Faktor Keutamaan	$I_e = 1.000$
Spektral Percepatan Terpetakan	$S_s = 0.823$
	$S_1 = 0.394$
Kelas Situs	SD
Koefisien kelas Situs	$F_a = 1.242$
	$F_v = 2.424$
Spektral Respon Percepatan	$SDS = 2/3 \times S_s \times F_a = 0.681$
	$SD1 = 2/3 \times S_1 \times F_v = 0.637$

Grafik Respon Spektrum yang dipakai untuk wilayah Jakarta dengan kondisi tanah lunak untuk Gedung B:



Gambar 8b - Grafik respon spektrum gempa wilayah Jakarta, Tanah Lunak, gedung B

Tabulasi parameter desain dan penentuan beban gempa desain yang dipakai:

Tabel 8c.2 - Parameter desain dan gaya geser seismik desain

Kategori Resiko	II	
Faktor Keutamaan	I_a	= 1.000
Spektral Percepatan Terpetakan	S_a	= 0.823
	S_1	= 0.394
Kelas Situs	= SD	
Koefisien kelas Situs	F_a	= 1.242
	F_v	= 2.424
Spektral Respon Percepatan	$S_{u2} = 2/3 \times S_s \times F_a$	= 0.681 g
	$S_{u1} = 2/3 \times S_s \times F_a$	= 0.637 g
Kategori Desain Seismik	K_{se}	= D

Sistem Struktur		Sistem Ganda, Rangka Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus	
Koefisien Modifikasi Respon	R	=	7
Dilatai Jarak Lebar Sistem	Δa	=	2.5
Faktor Pembesaran Deformasi	C_d	=	5.5
Periode Getar Struktur	T_a	=	4.4922
	T_b	=	4.0571
	T_c	=	1.8658
	$T_{max} = C_u \times T_a$	=	2.6121
	$T_{terpakai}$	=	2.6121
	$T_{terpakai}$	=	2.6121
Koefisien Respon Seismik	G (persamaan 22)	$S_{m}(R/2)$	= 0.097
	C_u (persamaan 23)	arah x	$S_{m}(T_b/L)$
		arah y	$S_{m}(T_b/L)$
	G_{max} (persamaan 24)		$0.044 \times S_{m} \times T_b$
	C_u terpakai	arah x	= 0.035
		arah y	= 0.035
Berat Seismik	= 32173.45 tonf		
Gaya Geser Dasar Desain Minimum, $V = 0.05 \times C_u \times W$	arah x	=	9336.08 kN
	arah y	=	9336.08 kN
Gaya Geser Dasar Terhitung Pada Model (analisis respon ragam)	arah x	=	5442.82 kN
	arah y	=	6142.01 kN
Faktor Skala Pada Model	arah x =	9336.08 / 5442.82	= 2.018
	arah y =	9336.08 / 6142.01	= 1.788

9. Massa Bangunan (Berat Seismik) Dan Partisipasi Modal Struktur Atas
 Massa bangunan per lantai seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 9a - Berat seismic per lantai

Story	Diaphragm	Mass, tonf
LT DAK	D33	631.17
LT 32	D32	732.48
LT 31	D31	741.63
LT 30	D30	741.63
LT 29	D29	741.63
LT 28	D28	741.63
LT 27	D27	741.63
LT 26	D26	741.63
LT 25	D25	743.40
LT 24	D24	745.26
LT 23	D23	745.26
LT 22	D22	745.26
LT 21	D21	745.26
LT 20	D20	745.26
LT 19	D19	745.26
LT 18	D18	745.26
LT 17	D17	751.95
LT 16	D16	958.04

LT 15	D15	759.35
LT 14	D14	759.35
LT 13	D13	759.35
LT 12	D12	759.35
LT 11	D11	767.35
LT 10	D10	776.35
LT 9	D9	776.35
LT 8	D8	776.35
LT 7	D7	782.94
LT 6	D6	831.50
LT 5	D5	1261.63
LT 4+1	D4+1	1021.11
LT 4	D4	220.79
LT 4-1	D4-1	1054.53
LT 3	D3	2350.12
LT 2+1	D2+1	1056.28
LT 2	D2	220.79
LT 2-1	D2-1	1054.53
LT 0P	D1	1755.11
BS 1	D-1	1527.39

Masa total = 32173.45 tonf

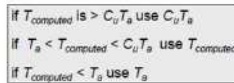
Partisipasi modal analisis sampai lebih besar dari 90% penyerapan gaya gempa dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 9b - Partisipasi Modal

Mode	Period sec	UX	UY	RZ
1	4.492	55%	0%	6%
2	4.057	0%	51%	4%
3	3.121	2%	3%	33%
4	1.420	12%	0%	0%
5	1.076	0%	12%	2%
6	0.880	1%	2%	9%
7	0.764	6%	0%	0%
8	0.535	5%	0%	2%
9	0.487	0%	4%	2%
10	0.434	1%	3%	7%
11	0.382	2%	0%	0%
12	0.308	1%	0%	3%
13	0.284	0%	3%	0%
14	0.273	0%	3%	5%
15	0.230	1%	0%	0%
16	0.196	0%	0%	3%
17	0.186	0%	3%	0%
18	0.184	1%	0%	1%
19	0.155	1%	0%	0%
20	0.138	0%	0%	2%

10. Penentuan Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 periode fundamental struktur T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung C_u dari tabel 17 dan periode fundamental pendekatan T_a dihitung sesuai dengan pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2012. $T_{max} = C_u \times T_a$



Tabel 10a - Tinggi bangunan per lantai Gedung

Story	Height, m	Elevation, m
LT DAK	4	528.8
LT 32	3.6	524.8
LT 31	3.6	521.2
LT 30	3.6	517.6
LT 29	3.6	514
LT 28	3.6	510.4
LT 27	3.6	506.8
LT 26	3.6	503.2
LT 25	3.6	499.6
LT 24	3.6	96
LT 23	3.6	92.4
LT 22	3.6	88.8
LT 21	3.6	85.2
LT 20	3.6	81.6
LT 19	3.6	78
LT 18	3.6	74.4
LT 17	3.6	70.8
LT 16	3.6	67.2

LT 15	3.6	63.6
LT 14	3.6	60
LT 13	3.6	56.4
LT 12	3.6	52.8
LT 11	3.6	49.2
LT 10	3.6	45.6
LT 9	3.6	42
LT 8	3.6	38.4
LT 7	3.6	34.8
LT 6	4.8	31.2
LT 5	3.2	27.6
LT 4+1	3.6	24
LT 4	3.6	21.6
LT 4-1	3.2	20
LT 3	3.2	16.8
LT 2+1	3.6	13.2
LT 2	3.6	12
LT 2-1	3.2	10.4
LT 0P	3.6	7.2
BS 1	3.6	3.6

Perioda getar alami bangunan dari hasil analisis ETABS adalah sebagai berikut:

Tabel 10b - Perioda getar Gedung

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal 1		4.492	0.22	1.40	1.96
Modal 2		4.057	0.25	1.55	2.40
Modal 3		3.121	0.32	2.01	4.05
Modal 4		1.420	0.70	4.42	19.57
Modal 5		1.076	0.93	5.84	34.12
Modal 6		0.880	1.14	7.14	50.96
Modal 7		0.764	1.31	8.22	67.56
Modal 8		0.535	1.87	11.74	137.89
Modal 9		0.487	2.05	12.89	166.21
Modal 10		0.434	2.30	14.48	209.66
Modal 11		0.382	2.62	16.43	270.00
Modal 12		0.308	3.25	20.41	416.50
Modal 13		0.284	3.52	22.13	489.54
Modal 14		0.273	3.66	23.00	529.05
Modal 15		0.230	4.35	27.34	747.69
Modal 16		0.196	5.09	32.00	1023.80
Modal 17		0.186	5.37	33.72	1136.75
Modal 18		0.184	5.44	34.17	1167.29
Modal 19		0.155	6.44	40.48	1638.60
Modal 20		0.138	7.26	45.64	2082.90

Nilai T_a diperoleh = $0.0488 \times 128.8^{0.75} = 1.8658$ (berdasarkan table 18, SNI1726:2019)

Nilai $T_{max} = 1.4 \times 1.8658 = 2.6121$ (berdasarkan table 17, SNI1726:2019)

Jadi nilai periode fundamental yang dipakai adalah:

$$T_x = 2.6121 \text{ detik}$$

$$T_y = 2.6121 \text{ detik}$$

11. Perhitungan Gaya Gempa Desain Struktur Atas

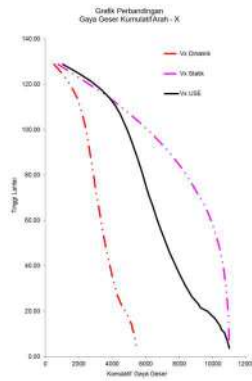
- Hasil analisis dinamik untuk gaya geser kumulatif arah X dan Y dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 11b.1 - Gaya geser kumulatif dinamik arah X dan Y

Story	Load	VX	Story	Load	VY
LT DAK	EigenX	514.55	LT DAK	EigenY	627.65
LT 32	EigenX	986.56	LT 32	EigenY	1194.99
LT 31	EigenX	1361.25	LT 31	EigenY	1622.62
LT 30	EigenX	1660.94	LT 30	EigenY	1947.16
LT 29	EigenX	1896.19	LT 29	EigenY	2192.98
LT 28	EigenX	2076.88	LT 28	EigenY	2381.80
LT 27	EigenX	2217.27	LT 27	EigenY	2531.62
LT 26	EigenX	2332.74	LT 26	EigenY	2654.87
LT 25	EigenX	2433.38	LT 25	EigenY	2758.49
LT 24	EigenX	2524.90	LT 24	EigenY	2844.50
LT 23	EigenX	2611.27	LT 23	EigenY	2913.15
LT 22	EigenX	2694.45	LT 22	EigenY	2966.76
LT 21	EigenX	2774.66	LT 21	EigenY	3009.99
LT 20	EigenX	2851.62	LT 20	EigenY	3048.78
LT 19	EigenX	2925.50	LT 19	EigenY	3089.20
LT 18	EigenX	2996.65	LT 18	EigenY	3136.72
LT 17	EigenX	3065.76	LT 17	EigenY	3196.08
LT 16	EigenX	3161.31	LT 16	EigenY	3300.58
LT 15	EigenX	3240.37	LT 15	EigenY	3406.71
LT 14	EigenX	3320.76	LT 14	EigenY	3527.65
LT 13	EigenX	3405.62	LT 13	EigenY	3663.36
LT 12	EigenX	3495.52	LT 12	EigenY	3811.77
LT 11	EigenX	3590.75	LT 11	EigenY	3971.29
LT 10	EigenX	3691.44	LT 10	EigenY	4138.44
LT 9	EigenX	3796.85	LT 9	EigenY	4307.22
LT 8	EigenX	3907.14	LT 8	EigenY	4473.45
LT 7	EigenX	4023.03	LT 7	EigenY	4635.52
LT 6	EigenX	4151.15	LT 6	EigenY	4800.31
LT 5	EigenX	4341.12	LT 5	EigenY	5023.17
LT 4+1	EigenX	4525.72	LT 4+1	EigenY	5214.26
LT 4	EigenX	4593.83	LT 4	EigenY	5287.30
LT 4-1	EigenX	4798.01	LT 4-1	EigenY	5493.23
LT 3	EigenX	5023.58	LT 3	EigenY	5722.83
LT 2+1	EigenX	5168.26	LT 2+1	EigenY	5869.86
LT 2	EigenX	5208.73	LT 2	EigenY	5911.27
LT 2-1	EigenX	5306.87	LT 2-1	EigenY	6011.06
LT GF	EigenX	5381.97	LT GF	EigenY	6089.48
BS 1	EigenX	5442.82	BS 1	EigenY	6142.01

$$V_{din-x} = 5442.82 \text{ kN} \quad V_{din-y} = 6142.01 \text{ kN}$$

- Perhitungan gaya geser desain minimum dan faktor skala :



Gambar 11b.1 - Grafik perbandingan gaya geser arah X

Tabel 11b - Perbandingan gaya geser dan gaya geser terpakai arah Y

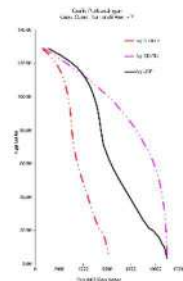
ARAH Y

Gaya gempa tingkat yang dipakai (USE) = Gaya gempa tingkat dinamik

$$\text{Faktor Skala} = \frac{100\% V_u}{V_{CQC}} = \frac{10983.62}{6142.01} = 1.788$$

Tabel perbandingan gaya geser lantai (arah y)

Lantai	Tinggi	Fy _{statik}	1,0 x Fy _{statik}	Fy _{dinamik}	cumulatif Fy _{statik}	cumulatif Fy _{statik}	cumulatif Fy _{dinamik}	Cumulatif USE	USE / DESAIN
38	128.80	752.11	752.11	627.65	752.11	752.11	627.65	1122.41	1122.41
37	124.80	841.84	841.84	567.34	1593.95	1593.95	1194.99	2136.94	1014.56
36	121.20	782.52	782.52	427.63	2376.47	2376.47	1622.62	2901.60	764.72
35	117.60	736.73	736.73	324.84	3113.20	3113.20	1947.16	3482.05	580.37
34	114.00	692.31	692.31	245.82	3805.51	3805.51	2192.98	3921.64	439.59
33	110.40	649.28	649.28	188.82	4454.78	4454.78	2381.80	4259.30	337.66
32	106.80	607.62	607.62	149.82	5062.41	5062.41	2531.62	4527.22	267.92
31	103.20	567.35	567.35	123.25	5629.75	5629.75	2654.87	4747.62	220.40
30	99.60	529.72	529.72	103.62	6159.47	6159.47	2758.49	4932.92	185.30
29	96.00	493.67	493.67	86.01	6653.14	6653.14	2844.50	5086.73	153.81
28	92.40	457.34	457.34	68.65	7110.48	7110.48	2913.15	5209.50	122.76
27	88.80	422.39	422.39	53.61	7532.87	7532.87	2966.76	5305.37	95.87
26	85.20	388.84	388.84	43.23	7921.71	7921.71	3009.99	5382.67	77.31
25	81.60	356.67	356.67	38.79	8278.38	8278.38	3048.78	5452.04	69.37
24	78.00	325.90	325.90	40.42	8604.28	8604.28	3089.20	5524.32	72.28
23	74.40	296.51	296.51	47.52	8900.79	8900.79	3136.72	5609.30	84.98
22	70.80	270.74	270.74	59.36	9171.53	9171.53	3196.08	5715.45	106.15
21	67.20	314.00	314.00	104.50	9485.54	9485.54	3300.58	5902.33	186.87
20	63.60	220.63	220.63	106.13	9706.17	9706.17	3406.71	6092.12	189.79
19	60.00	196.36	196.36	120.94	9902.52	9902.52	3527.65	6308.39	216.27
18	56.40	173.50	173.50	135.71	10076.03	10076.03	3663.36	6551.08	242.69
17	52.80	152.06	152.06	148.41	10228.09	10228.09	3811.77	6816.47	265.40
16	49.20	133.42	133.42	159.52	10361.51	10361.51	3971.29	7101.74	285.26
15	45.60	115.81	115.81	167.15	10477.31	10477.31	4138.44	7400.65	298.91
14	42.00	98.24	98.24	168.78	10575.56	10575.56	4307.22	7702.47	301.82
13	38.40	82.12	82.12	166.23	10657.68	10657.68	4473.45	7999.74	297.26
12	34.80	68.05	68.05	162.07	10725.73	10725.73	4635.52	8289.56	289.82
11	31.20	58.14	58.14	164.79	10783.87	10783.87	4800.31	8584.23	294.69
10	26.40	62.17	62.17	222.86	10846.04	10846.04	5023.17	8982.78	398.53
9	23.20	39.48	39.48	191.09	10885.52	10885.52	5214.26	9324.50	341.72
8	21.60	7.40	7.40	73.04	10892.92	10892.92	5287.30	9455.12	130.62
7	20.00	30.30	30.30	205.93	10923.22	10923.22	5493.23	9823.38	368.26
6	18.80	27.57	27.57	229.60	10950.79	10950.79	5722.83	10233.97	410.59
5	13.60	14.02	14.02	147.03	10964.81	10964.81	5869.86	10496.89	262.93
4	12.00	2.28	2.28	41.41	10967.10	10967.10	5911.27	10570.95	74.05
3	10.40	8.19	8.19	99.79	10975.29	10975.29	6011.06	10749.40	178.45
2	7.20	6.54	6.54	78.42	10981.83	10981.83	6089.48	10889.63	140.24
1	3.60	1.79	1.79	52.53	10983.62	10983.62	6142.01	10983.57	93.94



Gambar 11b.2 - Grafik perbandingan gaya geser arah Y

12. Eksentrisitas Rencana Struktur Atas

Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat, harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana e_x untuk arah gempa X dan e_y untuk arah gempa Y. Bila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan B dan L maka eksentrisitas rencana e harus ditentukan sebagai berikut: $e_x = e_{ox} + (0.05 B Ax)$ dan $e_y = e_{oy} + (0.05 L Ay)$, dengan e_{ox} dan e_{oy} adalah eksentrisitas

bawaan. 0.05BAx dan 0.05L Ay adalah eksentrisitas tak terduga, dengan Ax dan Ay sebagai faktor pembesaran torsi tak terduga. Ax dan Ay harus ≥ 1.0
 $Ax/Ay = (\delta_{max} / 1.2\delta_{avg})^2$

Tabel 12a - Eksentrisitas Rencana Arah X

ARAH X																
ETABS (Centres of cumulative mass dan centers of rigidity)								Eksentrisitas rencana								
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM x1	YCM y1	XCR x2	YCR y2	aksentrisitas awal		bx	0.05bx	Ax	ex	ey	com x	com y
								ex	ey							
								(x1-x2)	(y1-y2)							
LT DAK	D33	631.17	631.17	20.41	10.06	20.43	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.16	11.00
LT 4+1	D4+1	1021.11	1021.11	13.65	0.30	13.66	0.31	-0.01	-0.01	14.70	0.735	1.00	0.75	0.74	14.40	1.05
LT 4-1	D4-1	1054.50	1054.50	13.17	0.77	13.18	0.79	-0.01	-0.02	14.70	0.735	1.00	0.75	0.75	13.92	1.52
LT 2+1	D2+1	1055.38	1055.38	13.16	0.78	13.17	0.79	-0.01	-0.02	14.70	0.735	1.00	0.75	0.75	13.91	1.53
LT 2-1	D2-1	1054.50	1054.50	13.17	0.77	13.18	0.79	-0.01	-0.02	14.70	0.735	1.00	0.75	0.75	13.92	1.52
BS 1	D-1	1927.29	1927.29	15.22	3.29	15.24	3.35	-0.02	-0.07	14.70	0.735	1.00	0.75	0.80	15.97	4.09
LT 32	D32	752.48	752.48	20.25	10.04	20.27	10.24	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.98
LT 31	D31	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.99
LT 30	D30	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.99
LT 29	D29	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.99
LT 28	D28	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.99
LT 27	D27	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.99
LT 26	D26	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.00	10.99
LT 25	D25	743.40	743.40	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.01	10.99
LT 24	D24	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.01	10.99
LT 23	D23	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.01	10.99
LT 22	D22	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.01	10.99
LT 21	D21	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.01	10.99
LT 20	D20	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	1.00	0.76	0.94	21.01	10.99
LT 19	D19	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.47	1.83	2.01	22.09	12.07
LT 18	D18	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.44	1.81	2.00	22.07	12.05
LT 17	D17	751.95	751.95	20.27	10.06	20.29	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.41	1.79	1.97	22.06	12.03
LT 16	D16	968.04	968.04	19.11	10.21	19.13	10.41	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.47	1.84	2.02	20.95	12.23
LT 15	D15	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.44	1.81	2.00	22.09	12.05
LT 14	D14	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.41	1.79	1.97	22.07	12.03
LT 13	D13	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.37	1.76	1.94	22.04	12.00
LT 12	D12	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.45	1.82	2.00	22.10	12.06
LT 11	D11	767.35	767.35	20.26	10.05	20.28	10.25	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.40	1.78	1.96	22.04	12.01
LT 10	D10	775.35	775.35	20.24	10.05	20.26	10.25	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.32	1.72	1.90	21.96	11.95
LT 9	D9	775.35	775.35	20.24	10.05	20.26	10.25	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.44	1.81	2.00	22.06	12.04
LT 8	D8	775.35	775.35	20.24	10.05	20.26	10.25	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.33	1.74	1.92	21.98	11.96
LT 7	D7	782.34	782.34	20.25	10.05	20.27	10.25	-0.02	-0.20	14.70	0.735	2.30	1.71	1.89	21.96	11.94
LT 6	D6	831.50	831.50	20.27	10.01	20.29	10.21	-0.02	-0.20	44.60	2.23	0.90	0.02	0.20	20.29	10.21
LT 5	D5	1241.82	1241.82	18.47	1.98	18.49	2.02	-0.02	-0.04	44.60	2.23	0.00	0.02	0.04	18.49	2.02
LT 4	D4	220.79	220.79	33.04	8.63	33.07	8.81	-0.03	-0.17	44.60	2.23	0.00	0.03	0.17	33.07	8.81
LT 3	D3	1360.12	1360.12	16.59	2.39	16.60	2.43	-0.02	-0.05	44.60	2.23	0.00	0.02	0.05	16.60	2.43
LT 2	D2	220.79	220.79	33.04	8.63	33.07	8.81	-0.03	-0.17	44.60	2.23	0.00	0.03	0.17	33.07	8.81
LT GP	D1	1755.51	1755.51	14.89	3.05	14.91	3.11	-0.01	-0.06	44.60	2.23	0.00	0.01	0.06	14.91	3.11

Tabel 12b - Eksentrisitas Rencana Arah Y

ARAH Y																
ETABS (Centres of cumulative mass dan centers of rigidity)								Eksentrisitas rencana								
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM x1	YCM y1	XCR x2	YCR y2	aksentrisitas awal		by	0.05by	Ay	ex	ey	com x	com y
								ex	ey							
								(x1-x2)	(y1-y2)							
LT DAK	D33	631.17	631.17	20.41	10.06	20.43	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.43	12.26
LT 4+1	D4+1	1021.11	1021.11	13.65	0.30	13.66	0.31	-0.01	-0.01	40.00	2.00	1.00	2.01	2.01	15.66	2.31
LT 4-1	D4-1	1054.50	1054.50	13.17	0.77	13.18	0.79	-0.01	-0.02	40.00	2.00	1.00	2.01	2.02	15.18	2.79
LT 2+1	D2+1	1055.38	1055.38	13.16	0.78	13.17	0.79	-0.01	-0.02	40.00	2.00	1.00	2.01	2.02	15.17	2.79
LT 2-1	D2-1	1054.50	1054.50	13.17	0.77	13.18	0.79	-0.01	-0.02	40.00	2.00	1.00	2.01	2.02	15.18	2.79
BS 1	D-1	1927.29	1927.29	15.22	3.29	15.24	3.35	-0.02	-0.07	40.00	2.00	1.00	2.02	2.07	17.24	5.35
LT 32	D32	752.48	752.48	20.25	10.04	20.27	10.24	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.24
LT 31	D31	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 30	D30	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 29	D29	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 28	D28	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 27	D27	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 26	D26	741.63	741.63	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 25	D25	743.40	743.40	20.25	10.06	20.27	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.27	12.26
LT 24	D24	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 23	D23	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 22	D22	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 21	D21	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 20	D20	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 19	D19	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 18	D18	745.74	745.74	20.26	10.06	20.28	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.28	12.26
LT 17	D17	751.95	751.95	20.27	10.06	20.29	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.29	12.26
LT 16	D16	968.04	968.04	19.11	10.21	19.13	10.41	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	21.13	12.41
LT 15	D15	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.30	12.26
LT 14	D14	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.30	12.26
LT 13	D13	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	1.00	2.02	2.20	22.30	12.26
LT 12	D12	759.35	759.35	20.28	10.06	20.30	10.26	-0.02	-0.20	40.00	2.00	2.00	4.02	4.20	24.30	14.26
LT 11	D11	767.35	767.35	20.26	10.05	20.28	10.25	-0.02	-0.20	40.00	2.00	3.00	6.02	6.20	26.28	16.26
LT 10	D10	775.35	775.35	20.24	10.05	20.26	10.25	-0.02	-0.20	40.00	2.00	4.00	8.02	8.20	28.26	18.25
LT 9	D9	775.35	775.35	20.24	10.05	20.26	10.25	-0.02	-0.20	40.00	2.00	5.00	10.02	10.20	30.26	20.25
LT 8	D8	775.35	775.35	20.24	10.05	20.26										

13. Analisa Kinerja Struktur Gedung

a. Perhitungan simpangan antar lantai

Pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.6, ditentukan penentuan simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut: $\delta_x = C_d \delta_{xe} / I_e$

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan

I_e = faktor keutamaan gempa

Batasan simpangan antar lantai tingkat Δ_a seperti yang ditetapkan pada pasal 7.12 SNI1726:2012 untuk sistem struktur ganda adalah sebesar $0.02h_{sx}$ dengan h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x. Perhitungan simpangan antar lantai tingkat berdasarkan gaya geser minimum dan nilai perioda untuk menghitung simpangan antara lantai (sesuai pasal 7.8.6.1 dan 7.8.6.2 SNI 1726:2019). Perhitungan simpangan antar lantai juga memperhitungkan faktor torsi bawaan dan torsi tak terduga. Nilai simpangan antar lantai berdasarkan hal-hal tersebut, ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 13a - Simpangan antar lantai arah -X

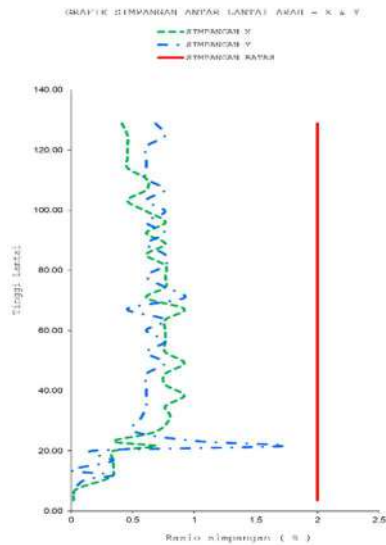
ARAH X

LANTAI	h_{sx} (mm)	δ_{xe} (mm)	$\delta_x=C_d \cdot \delta_{xe}/I_e$	Δ	$\Delta_a=0.02h_{sx}$ (mm)	$\Delta < \Delta_a$
LT DAK	4000	142.00	781.00	16.50	80.00	...ok
LT 32	3600	139.00	764.50	16.50	72.00	...ok
LT 31	3600	136.00	748.00	16.50	72.00	...ok
LT 30	3600	133.00	731.50	16.50	72.00	...ok
LT 29	3600	130.00	715.00	16.50	72.00	...ok
LT 28	3600	127.00	698.50	22.00	72.00	...ok
LT 27	3600	123.00	676.50	22.00	72.00	...ok
LT 26	3600	119.00	654.50	16.50	72.00	...ok
LT 25	3600	116.00	638.00	22.00	72.00	...ok
LT 24	3600	112.00	616.00	27.50	72.00	...ok
LT 23	3600	107.00	588.50	22.00	72.00	...ok
LT 22	3600	103.00	566.50	27.50	72.00	...ok
LT 21	3600	98.00	539.00	22.00	72.00	...ok
LT 20	3600	94.00	517.00	27.50	72.00	...ok
LT 19	3600	89.00	489.50	27.50	72.00	...ok
LT 18	3600	84.00	462.00	27.50	72.00	...ok
LT 17	3600	79.00	434.50	22.00	72.00	...ok
LT 16	3600	75.00	412.50	33.00	72.00	...ok
LT 15	3600	69.00	379.50	27.50	72.00	...ok
LT 14	3600	64.00	352.00	27.50	72.00	...ok
LT 13	3600	59.00	324.50	27.50	72.00	...ok
LT 12	3600	54.00	297.00	27.50	72.00	...ok
LT 11	3600	49.00	269.50	33.00	72.00	...ok
LT 10	3600	43.00	236.50	27.50	72.00	...ok
LT 9	3600	38.00	209.00	27.50	72.00	...ok
LT 8	3600	33.00	181.50	33.00	72.00	...ok
LT 7	3600	27.00	148.50	27.50	72.00	...ok
LT 6	4800	22.00	121.00	38.50	96.00	...ok
LT 5	3200	15.00	82.50	22.00	64.00	...ok
LT 4+1	1600	11.00	60.50	5.50	32.00	...ok
LT 4	1600	10.00	55.00	11.00	32.00	...ok
LT 4-1	3200	8.00	44.00	11.00	64.00	...ok
LT 3	3200	6.00	33.00	11.00	64.00	...ok
LT 2+1	1600	4.00	22.00	5.50	32.00	...ok
LT 2	1600	3.00	16.50	5.50	32.00	...ok
LT 2-1	3200	2.00	11.00	8.74	64.00	...ok
LT GF	3600	0.41	2.26	1.52	72.00	...ok
BS 1	3600	0.14	0.75	0.75	72.00	...ok

Tabel 13b - Simpangan antar lantai arah -Y

ARAH Y

LANTAI	h_{sy} (mm)	δ_{ye} (mm)	$\delta y = C_d \cdot \delta x_e / I_e$	Δ	$\Delta_a = 0.02h_{sx}$ (mm)	$\Delta < \Delta_a$
LT DAK	4000	135.00	742.50	27.50	80.00	...ok
LT 32	3600	130.00	715.00	27.50	72.00	...ok
LT 31	3600	125.00	687.50	22.00	72.00	...ok
LT 30	3600	121.00	665.50	22.00	72.00	...ok
LT 29	3600	117.00	643.50	22.00	72.00	...ok
LT 28	3600	113.00	621.50	22.00	72.00	...ok
LT 27	3600	109.00	599.50	27.50	72.00	...ok
LT 26	3600	104.00	572.00	22.00	72.00	...ok
LT 25	3600	100.00	550.00	27.50	72.00	...ok
LT 24	3600	95.00	522.50	22.00	72.00	...ok
LT 23	3600	91.00	500.50	27.50	72.00	...ok
LT 22	3600	86.00	473.00	22.00	72.00	...ok
LT 21	3600	82.00	451.00	27.50	72.00	...ok
LT 20	3600	77.00	423.50	27.50	72.00	...ok
LT 19	3600	72.00	396.00	22.00	72.00	...ok
LT 18	3600	68.00	374.00	27.50	72.00	...ok
LT 17	3600	63.00	346.50	33.00	72.00	...ok
LT 16	3600	57.00	313.50	16.50	72.00	...ok
LT 15	3600	54.00	297.00	27.50	72.00	...ok
LT 14	3600	49.00	269.50	22.00	72.00	...ok
LT 13	3600	45.00	247.50	27.50	72.00	...ok
LT 12	3600	40.00	220.00	22.00	72.00	...ok
LT 11	3600	36.00	198.00	27.50	72.00	...ok
LT 10	3600	31.00	170.50	22.00	72.00	...ok
LT 9	3600	27.00	148.50	22.00	72.00	...ok
LT 8	3600	23.00	126.50	22.00	72.00	...ok
LT 7	3600	19.00	104.50	22.00	72.00	...ok
LT 6	4800	15.00	82.50	27.50	96.00	...ok
LT 5	3200	10.00	55.00	16.50	64.00	...ok
LT 4+1	1600	7.00	38.50	16.50	32.00	...ok
LT 4	1600	10.00	55.00	27.50	32.00	...ok
LT 4-1	3200	5.00	27.50	5.50	64.00	...ok
LT 3	3200	4.00	22.00	11.00	64.00	...ok
LT 2+1	1600	2.00	11.00	0.00	32.00	...ok
LT 2	1600	2.00	11.00	5.50	32.00	...ok
LT 2-1	3200	1.00	5.50	3.75	64.00	...ok
LT GF	3600	0.32	1.75	1.22	72.00	...ok
BS 1	3600	0.10	0.53	0.53	72.00	...ok



Gambar 13c - Grafik simpangan antar lantai Gedung C

b. Perhitungan efek P-delta struktur

Pengaruh P-delta diperhitungkan sesuai dengan pasal 7.8.7 SNI 1726-2019

Pengaruh P-delta tidak harus diperhitungkan bila koefisien stabilitas, $\Theta \leq 0.1$

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (35)$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x , dinyatakan dalam kilo newton (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;

Δ adalah simpangan antar lantai tingkat desain seperti didefinisikan dalam 7.8.6, terjadi secara serentak dengan V_x , dinyatakan dalam milimeter (mm)

I_e =faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

V_x =gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x , dinyatakan dalam milimeter (mm);

C_d =faktor pembesaran defleksi dalam Tabel9.

Tabel perhitungan efek P-delta :

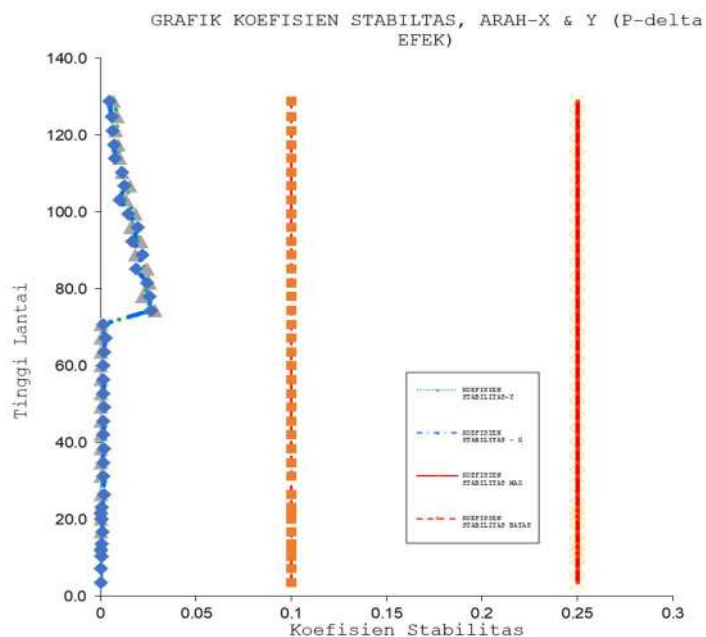
Tabel 13a - Perhitungan efek P-delta arah -X

LANTAI	h_{sx} (mm)	Δ (mm)	P (kN)	V_x (kN)	I_e	C_d	θ	θ max	$\theta < 0.1$ $\theta < \theta$ max
LT DAK	4000	16.50	6191.78	1038.36	1	5.5	0.004	0.25	...ok
LT 32	3600	16.50	13573.61	1990.88	1	5.5	0.006	0.25	...ok
LT 31	3600	16.50	20849.00	2747.00	1	5.5	0.006	0.25	...ok
LT 30	3600	16.50	28124.39	3351.78	1	5.5	0.007	0.25	...ok
LT 29	3600	16.50	35399.78	3826.51	1	5.5	0.008	0.25	...ok
LT 28	3600	22.00	42675.17	4191.14	1	5.5	0.011	0.25	...ok
LT 27	3600	22.00	49950.56	4474.45	1	5.5	0.012	0.25	...ok
LT 26	3600	16.50	57225.95	4707.47	1	5.5	0.010	0.25	...ok
LT 25	3600	22.00	64518.70	4910.56	1	5.5	0.015	0.25	...ok
LT 24	3600	27.50	71834.41	5095.25	1	5.5	0.020	0.25	...ok
LT 23	3600	22.00	79150.12	5269.54	1	5.5	0.017	0.25	...ok
LT 22	3600	27.50	86465.83	5437.40	1	5.5	0.022	0.25	...ok
LT 21	3600	22.00	93781.54	5599.26	1	5.5	0.019	0.25	...ok
LT 20	3600	27.50	101097.25	5754.57	1	5.5	0.024	0.25	...ok
LT 19	3600	27.50	108412.96	5903.66	1	5.5	0.026	0.25	...ok
LT 18	3600	27.50	115728.67	6047.24	1	5.5	0.027	0.25	...ok
LT 17	3600	22.00	123105.30	6186.70	1	5.5	0.001	0.25	...ok
LT 16	3600	33.00	132601.77	6379.52	1	5.5	0.002	0.25	...ok
LT 15	3600	27.50	140050.99	6539.07	1	5.5	0.002	0.25	...ok
LT 14	3600	27.50	147500.22	6701.29	1	5.5	0.002	0.25	...ok
LT 13	3600	27.50	154949.44	6872.54	1	5.5	0.002	0.25	...ok
LT 12	3600	27.50	162398.66	7053.96	1	5.5	0.001	0.25	...ok
LT 11	3600	33.00	169926.37	7246.13	1	5.5	0.002	0.25	...ok
LT 10	3600	27.50	177532.55	7449.33	1	5.5	0.001	0.25	...ok
LT 9	3600	27.50	185138.73	7662.04	1	5.5	0.001	0.25	...ok
LT 8	3600	33.00	192744.92	7884.61	1	5.5	0.002	0.25	...ok
LT 7	3600	27.50	200419.67	8118.47	1	5.5	0.001	0.25	...ok
LT 6	4800	38.50	208576.69	8377.02	1	5.5	0.001	1.25	...ok
LT 5	3200	22.00	220758.94	8760.38	1	5.5	0.002	2.25	...ok
LT 4+1	1600	5.50	230776.03	9132.90	1	5.5	0.001	3.25	...ok
LT 4	1600	11.00	232941.98	9270.35	1	5.5	0.000	4.25	...ok
LT 4-1	3200	11.00	243286.63	9682.38	1	5.5	0.001	5.25	...ok
LT 3	3200	11.00	256629.40	10137.58	1	5.5	0.001	6.25	...ok
LT 2+1	1600	5.50	266982.68	10429.55	1	5.5	0.001	7.25	...ok
LT 2	1600	5.50	269148.63	10511.22	1	5.5	0.000	8.25	...ok
LT 2-1	3200	8.74	279493.28	10709.26	1	5.5	0.000	9.25	...ok
LT GF	3600	1.52	296714.83	10860.82	1	5.5	0.000	10.25	...ok
BS 1	3600	0.75	315621.54	10983.61	1	5.5	0.000	11.25	...ok

Tabel 13b - Perhitungan efek P-delta arah -Y

ARAH Y

LANTAI	h _{sy} (mm)	Δ (mm)	P (kN)	V _y (kN)	I _e	C _d	θ	θ max	θ < 0.1 < θ max
LT DAK	4000	27.50	6191.78	1122.41	1	5.5	0.007	0.25	...ok
LT 32	3600	27.50	13573.61	2136.96	1	5.5	0.009	0.25	...ok
LT 31	3600	22.00	20849.00	2901.68	1	5.5	0.008	0.25	...ok
LT 30	3600	22.00	28124.39	3482.05	1	5.5	0.009	0.25	...ok
LT 29	3600	22.00	35399.78	3921.64	1	5.5	0.010	0.25	...ok
LT 28	3600	22.00	42675.17	4259.30	1	5.5	0.011	0.25	...ok
LT 27	3600	27.50	49950.56	4527.22	1	5.5	0.015	0.25	...ok
LT 26	3600	22.00	57225.95	4747.62	1	5.5	0.013	0.25	...ok
LT 25	3600	27.50	64518.70	4932.92	1	5.5	0.018	0.25	...ok
LT 24	3600	22.00	71834.41	5086.73	1	5.5	0.016	0.25	...ok
LT 23	3600	27.50	79150.12	5209.50	1	5.5	0.021	0.25	...ok
LT 22	3600	22.00	86465.83	5305.37	1	5.5	0.018	0.25	...ok
LT 21	3600	27.50	93781.54	5382.67	1	5.5	0.024	0.25	...ok
LT 20	3600	27.50	101097.25	5452.04	1	5.5	0.026	0.25	...ok
LT 19	3600	22.00	108412.96	5524.32	1	5.5	0.022	0.25	...ok
LT 18	3600	27.50	115728.67	5609.30	1	5.5	0.029	0.25	...ok
LT 17	3600	33.00	115728.67	5715.45	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 16	3600	16.50	115728.67	5902.33	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 15	3600	27.50	115728.67	6092.12	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 14	3600	22.00	115728.67	6308.39	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 13	3600	27.50	115728.67	6551.08	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 12	3600	22.00	115728.67	6816.47	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 11	3600	27.50	115728.67	7101.74	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 10	3600	22.00	115728.67	7400.65	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 9	3600	22.00	115728.67	7702.47	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 8	3600	22.00	115728.67	7999.74	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 7	3600	22.00	115728.67	8289.56	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 6	4800	27.50	115728.67	8584.25	1	5.5	0.000	0.25	...ok
LT 5	3200	16.50	115728.67	8982.78	1	5.5	0.000	1.25	...ok
LT 4+1	1600	16.50	115728.67	9324.50	1	5.5	0.000	2.25	...ok
LT 4	1600	27.50	115728.67	9455.12	1	5.5	0.000	3.25	...ok
LT 4-1	3200	5.50	115728.67	9823.38	1	5.5	0.000	4.25	...ok
LT 3	3200	11.00	115728.67	10233.97	1	5.5	0.000	5.25	...ok
LT 2+1	1600	0.00	115728.67	10496.89	1	5.5	0.000	6.25	...ok
LT 2	1600	5.50	115728.67	10570.95	1	5.5	0.000	7.25	...ok
LT 2-1	3200	3.75	115728.67	10749.40	1	5.5	0.000	8.25	...ok
LT GF	3600	1.22	115728.67	10889.63	1	5.5	0.000	9.25	...ok
BS 1	3600	0.53	115728.67	10983.57	1	5.5	0.000	10.25	...ok



Gambar 13c - Grafik koefisien stabilitas, efek P_{delta} Gedung B

14. Kombinasi Pembebanan Struktur Atas

Sesuai dengan yang ditentukan dalam SNI 1726:2012 pasal 7.4.2 kombinasi pembebanan akibat pengaruh beban gempa harus diperhitungkan terhadap pengaruh beban gempa horisontal dan pengaruh beban gempa vertikal. Pengaruh beban gempa horisontal E_h ditentukan dengan memasukkan pengaruh faktor redundansi ρ seperti ditentukan dalam pasal 7.3.4 SNI 1726:2012. Pengaruh beban gempa vertikal ditentukan dengan memasukkan pengaruh faktor parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek S_{DS} seperti yang ditentukan pada pasal 6.10.4 SNI 1726:2012.

Dengan memasukkan faktor $\rho = 1.3$ (untuk kategori desain seismik D) dan nilai

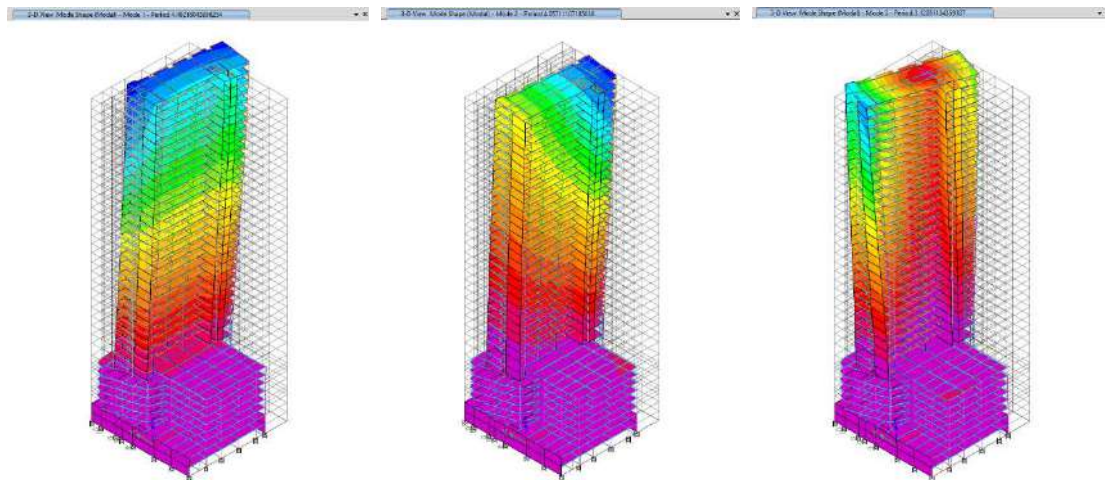
$S_{DS} = 0.67$ maka

diperoleh kombinasi pembebanan desain sbb:

Tabel 14.1 - Kombinasi pembebanan

COMBO 1	1.4 D							
COMBO 2	1.2 D + 1.6 L							
COMBO 3	1.33 D	+	1 L	+	1.30	Eqx	+	0.39 Eqy
COMBO 4	1.33 D	+	1 L	+	1.30	Eqx	-	0.39 Eqy
COMBO 5	1.33 D	+	1 L	-	1.30	Eqx	-	0.39 Eqy
COMBO 6	1.33 D	+	1 L	-	1.30	Eqx	+	0.39 Eqy
COMBO 7	1.33 D	+	1 L	+	0.39	Eqx	+	1.30 Eqy
COMBO 8	1.33 D	+	1 L	+	0.39	Eqx	-	1.30 Eqy
COMBO 9	1.33 D	+	1 L	-	0.39	Eqx	-	1.30 Eqy
COMBO 10	1.33 D	+	1 L	-	0.39	Eqx	+	1.30 Eqy
COMBO 11	0.77 D	+			1.30	Eqx	+	0.39 Eqy
COMBO 12	0.77 D	+			1.30	Eqx	-	0.39 Eqy
COMBO 13	0.77 D	-			1.30	Eqx	-	0.39 Eqy
COMBO 14	0.77 D	-			1.30	Eqx	+	0.39 Eqy
COMBO 15	0.77 D	+			0.39	Eqx	+	1.30 Eqy
COMBO 16	0.77 D	+			0.39	Eqx	-	1.30 Eqy
COMBO 17	0.77 D	-			0.39	Eqx	-	1.30 Eqy
COMBO 18	0.77 D	-			0.39	Eqx	+	1.30 Eqy

Mode Shape dan Periode Getar Struktur



ANALISIS LIFE CYCLE COST (LCC)

Asumsi untuk perhitungan LCC dengan rencana umur bangunan gedung 50 tahun, direncanakan dengan 3 kondisi yaitu :

1. Konstruksi gedung bertingkat konvensional
2. Konstruksi gedung bertingkat pracetak
3. Konstruksi gedung bertingkat pracetak dengan base isolation

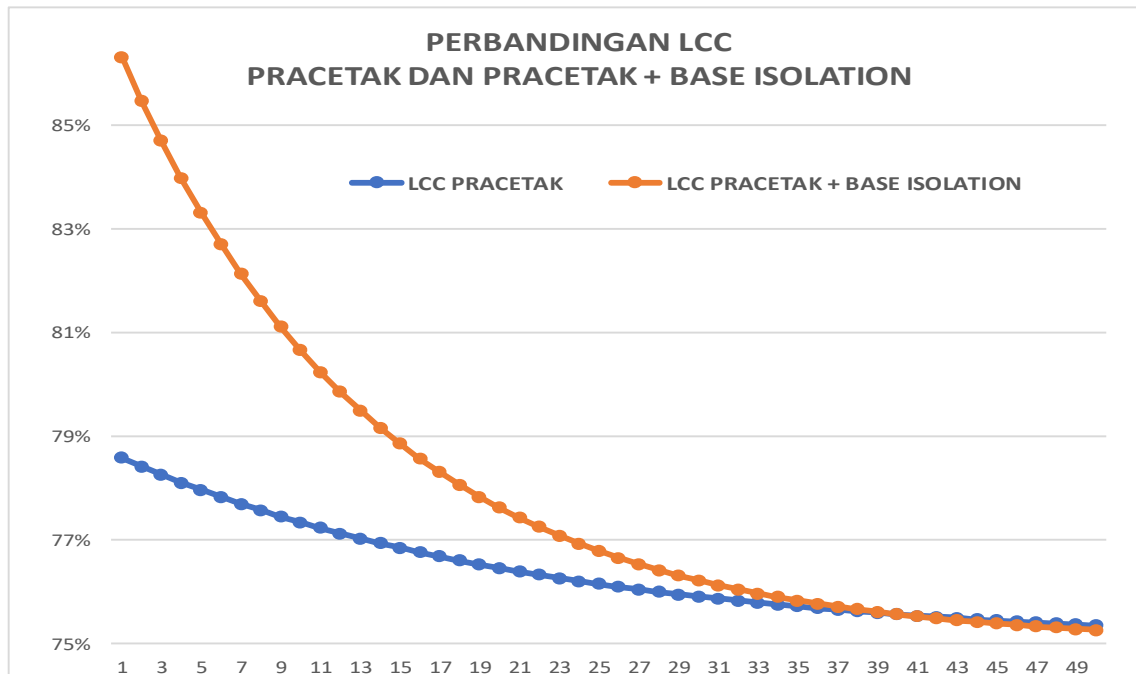
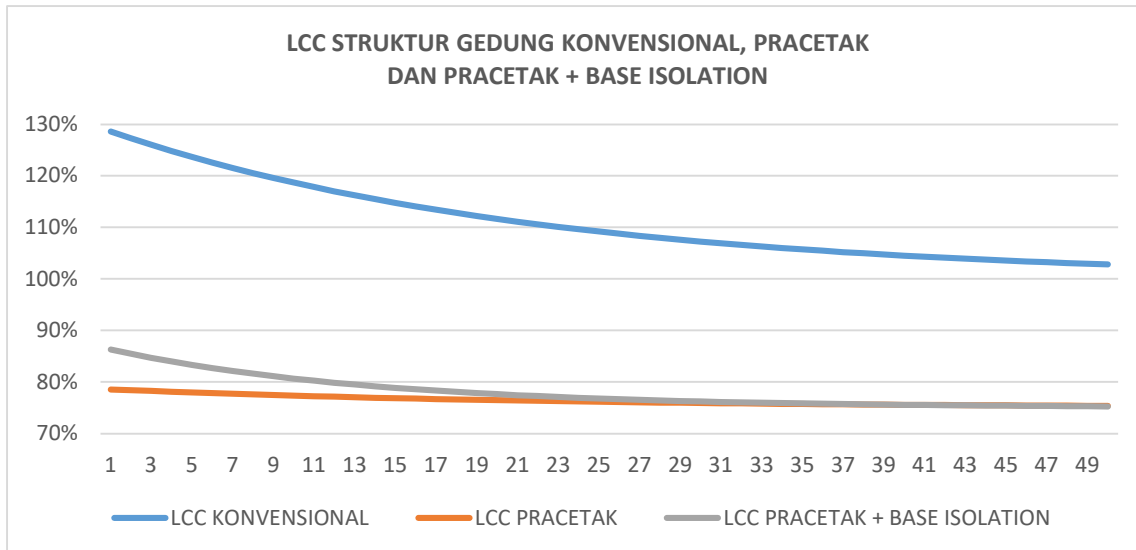
Diasumsikan kejadian gempa terjadi 1x dalam kurun waktu 50 tahun dimana kemungkinan kejadian gempa bisa terjadi pada tahun ke 1, 2, 3 dst (disimulasikan jika kejadiannya pada tahun ke 1 sd 50). Besarnya biaya konstruksi gedung bertingkat struktur konvensional sebesar 100%, untuk sistem pracetak 75% dan sistem pracetak dengan base isolation 79%. Artinya nilai biaya investasi bangunan gedung bertingkat struktur konvensional sebesar 100%, untuk sistem pracetak 75% dan sistem pracetak dengan base isolation 79%. Besarnya biaya perbaikan akibat gempa pada bangunan konvensional dengan kerusakan sedang sebesar 30% biaya investasi, pada bangunan sistem pracetak dengan kerusakan ringan 5% biaya investasi, sedangkan bangunan kombinasi sistem pracetak dengan base isolation adalah tidak terjadi kerusakan jika terjadi gempa tetapi umur dari base isolatin adalah 20

tahun dimana setiap 20 tahun sekali perlu dilakukan penggantian 100% base isolation yang dipasang pada bangunan tersebut (pada tahun ke 20 dan ke 40) dengan asumsi kenaikan material dan upah pertahun sebesar 3%. Untuk biaya Operasional dan Pemeliharaan pada bangunan beton adalah 0% dan besarnya $i = 8\%$. (dengan inflasi 3%/tahun dan suku bunga 5%/tahun).

Bisnis oportunit loss saat perbaikan kerusakan setelah gempa untuk:

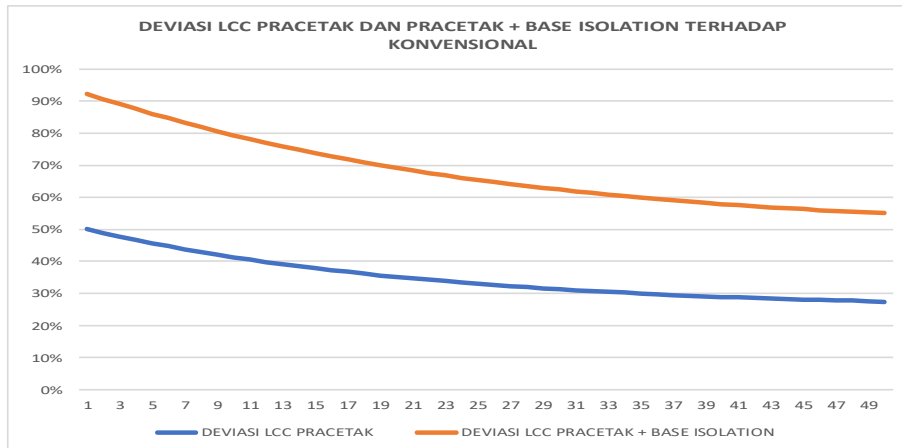
- Gedung konvensional (rusak sedang perlu perbaikan sekitar 1 tahun) 35% Investasi (biaya konstruksi konvensional)
- Gedung pracetak dengan base isolation (tidak mengalami kerusakan tetapi diperlukan penggantian karet base isolation tiap 20 tahun sekali)

Maka perhitungan LCC untuk bangunan konvensional, pracetak dan pracetak dengan base isolation adalah sebagai berikut:



Kesimpulannya nilai LCC antara ketiga kondisi tersebut adalah LCC konvensional lebih besar dibandingkan dengan LCC pracetak baik yang pracetak saja atau pracetak dengan base isolation. Nilai LCC dari tahun kejadian gempa tahun ke 1 sampai dengan tahun ke 50 adalah cenderung menurun sesuai kejadian gempa mendekati tahun ke 50 atau akhir umur bangunan. Nilai LCC konvensional antara 103%-130%, LCC pracetak 75%-79% dan LCC pracetak dengan base isolation 75%-91%. Deviasi LCC pracetak dan pracetak dengan base isolation terhadap konvensional berdasarkan simulasi setiap kejadian gempa (dari tahun ke 1 sd 50), dapat diketahui bahwa kejadian

gempa mempengaruhi deviasi nilai LCC pada kedua sistem (pracetak dan pracetak dengan base isolation) terhadap konvensional. Semakin dini kejadian gempa, semakin besar nilai deviasi LCC pada kedua sistem tersebut. Artinya penggunaan pracetak dan kombinasi pracetak dengan base isolation akan sangat besar atau menguntungkan atau efisien jika terjadi gempa di awal-awal tahun, dan akan semakin mengecil jika kejadian gempanya mendekati tahun ke 50 atau akhir umur bangunan. Besaran LCC antara bangunan pracetak dan pracetak dengan base isolation adalah lebih besar pracetak dengan base isolation dan akan semakin mengecil seiring kejadian gempa mendekati tahun ke 50 atau akhir umur bangunan. Nilai LCC bangunan pracetak dan pracetak dengan base isolation akan sama pada tahun ke 39,95, dan setelah tahun 39,95 nilai LCC pracetak justru lebih besar dibandingkan LCC pracetak dengan base isolation.



Capaian luaran penelitian baik wajib dan tambahan adalah sebagai berikut:

1. Produk hasil penelitian ini juga sudah didaftarkan ke Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual dalam bentuk paten sederhana dengan Nomor Pendaftaran paten/Nomor Permohonan: S00202110209, Judul Invensi “Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik Tanpa Lekatan”
2. Publikasi penelitian tahun pertama Seminar Internasional dan prosiding The 17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE 2021) Sendai Jepang pada tanggal 27 September – 2 Oktober 2021 dengan 3 paper.
3. Seminar Internasional Quality In Research (QIR) di UI pada tanggal 13-15 Oktober 2021.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

Publikasi penelitian tahun pertama Seminar Internasional dan prosiding The 17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE 2021) Sendai Jepang pada tanggal 27 September – 2 Oktober 2021 dengan 3 paper, serta Seminar Internasional Quality In Research (QIR) di UI pada tanggal 13-15 Oktober 2021.

Produk hasil penelitian ini juga untuk didaftarkan ke Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual dalam bentuk paten sederhana dengan Nomor Pendaftaran paten/Nomor Permohonan: S00202110209, Judul Invensi : Struktur Dinding Pemikul Beton Bertulang Pracetak Dengan Sistem Sambungan Tendon Pascatarik Tanpa Lekatan

Dilakukan penelitian contoh penerapan pada proyek bangunan konstruksi Gedung Pancoran Riverside 2 di Jakarta.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Adanya kerjasama dengan mitra yaitu mitra perusahaan telah menyatakan bersedia menerapkan teknologi ini pada proyek pembangunan yang dikerjakan. Telah dilakukan studi banding, diskusi dengan mitra industri, kunjungan pabrik, uji coba penerapan pada proyek bangunan konstruksi Gedung Pancoran Riverside 2 di Jakarta. Percobaan penerapan akan menjadi demonstrasi model atau prototipe sistem/subsistem dalam lingkungan yang relevan.

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Tidak ada kendala dalam melakukan penelitian ini karena semua keluaran sudah tercapai/dilaksanakan.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Pada tahap kedua (2022) dikembangkan model, perencanaan dan pengujian tahanan gempa elemen pracetak prategang untuk jalan layang.

Pengusul pada proposal ini mengajukan usulan penelitian terapan sistem pracetak kinerja tinggi berbagai tipe konstruksi lain untuk mendapatkan varian teknologi yang lebih luas. Setelah tahun pertama (2021) selesai maka rencana penelitian tahun berikutnya adalah diusulkan penelitian terapan sistem pracetak kinerja tinggi sambungan prategang pada komponen pracetak untuk bangunan pier pracetak untuk jalan layang. Publikasi penelitian tahun kedua direncanakan di *International Journal* tahun 2022, Produk hasil penelitian direncanakan didaftarkan ke Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual dalam bentuk paten sederhana dan dilakukan penelitian contoh penerapan di proyek jalan layang. Tingkat kesiapan teknologi yang dicapai akhir tahun ketiga adalah TKT 6, karena pengembangan akan lengkap dan memenuhi syarat melalui pengujian dan demonstrasi dalam aplikasi sebenarnya.

METODE

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada pengembangan teknologi terapan bangunan tahanan gempa kinerja tinggi dengan batasan sebagai berikut :

1. Subyek Penelitian adalah pemangku kepentingan (stakeholder) yang dilibatkan sistem ini laboratorium uji tahanan gempa di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Standard Nasional, Direktorat Jenderal Hak atas Kekayaan Intelektual, dan mitra perusahaan yang menerapkan teknologi yang dikembangkan.
2. Studi kasus pada penelitian tahun kedua adalah sambungan antar segmen pier secara vertikal untuk jalan layang.
3. Lokasi penelitian di Jakarta, analisis hasil data pengujian tahanan gempa di Bandung, pembuatan draft SNI di Bandung, pembuatan SNI di Jakarta, pembuatan buku panduan di Jakarta, pengujian penerapan di pabrik pracetak dan konstruksi di jalan layang.

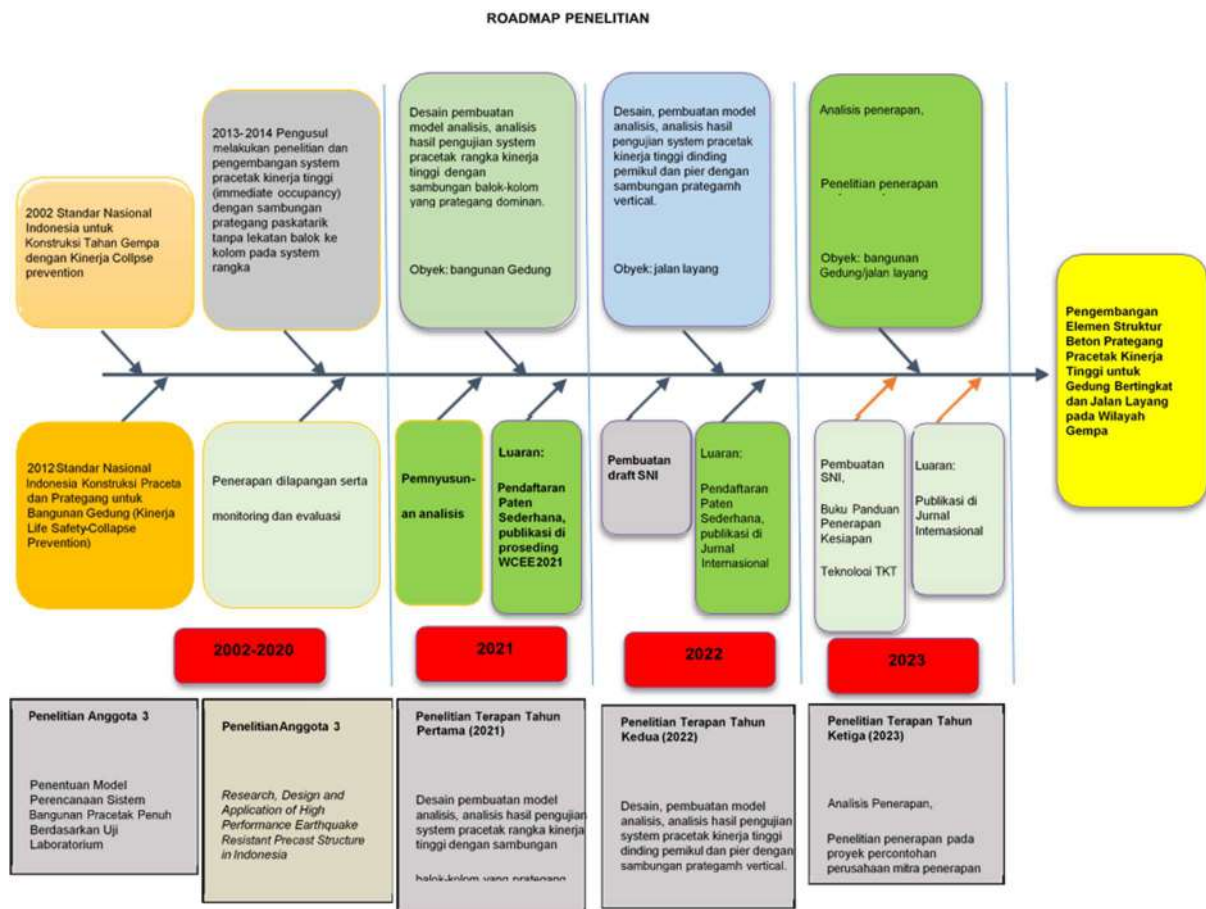
4. Pengumpulan data penelitian dengan studi banding, data dari model numerik, data pengujian tahanan gempa, dan penelitian penerapan di lapangan untuk mendukung pengembangan teknologi sampai data penelitian dengan kompilasi hasil akuisisi data survey diolah di Jakarta.

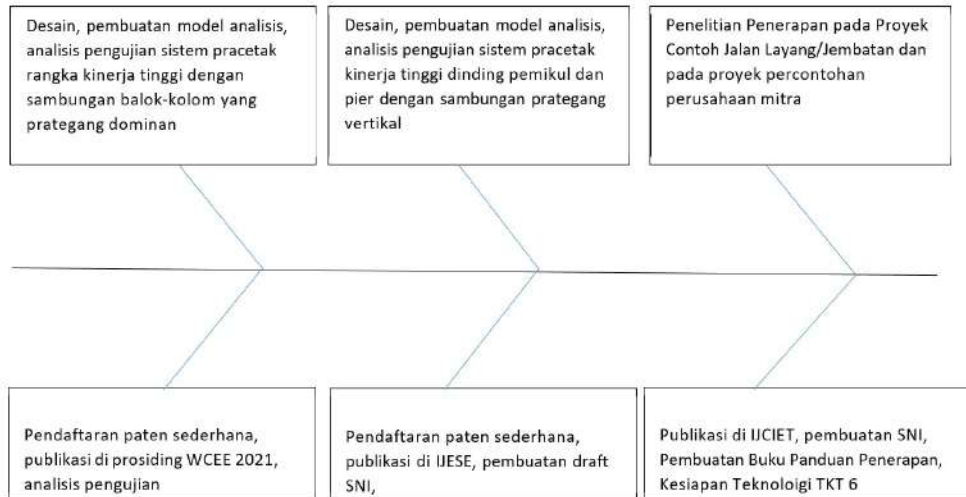
Metode Pengambilan Data.

1. Metode studi banding
2. Metoda pengamatan diatas meja (*desk work observation*)
3. Metoda pengamatan eksperimental
4. Metoda pengamatan uji prototipe

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metoda kuantitatif yang terdiri langkah-langkah sebagai berikut.

1. Pengumpulan standar perencanaan tahanan gempa terkait dengan teknologi yang dikembangkan, baik yang sudah ada di Indonesia, maupun standar luar negeri yang belum diadopsi di Indonesia.
2. Merencanakan detail teknologi yang dikembangkan berdasarkan studi banding di luarnegeri serta material dan teknologi lokal yang sudah ada di Indonesia. Detail teknologi ini dapat segera didaftarkan di Direktorat Jenderal HKI dalam bentuk paten sederhana
3. Membuat model matematik dan model numerik untuk menguji kehandalan teknologi secara *desk work* berdasarkan code yang berlaku.
4. Analisis hasil data uji tahanan gempa di laboratorium untuk menguji model matematik dan model numerik berdasarkan code yang berlaku.
5. Uji penerapan di lapangan, mulai dari produksi elemen dalam skala 1 : 1 sampai penerapan di proyek percontohan.
6. Pembuatan Standar Nasional Indonesia dan Buku Panduan Perencanaan dan Penerapan Teknologi.





Jadwal Kegiatan Tahun Ke 2

Tahun Ke 2		Bulan											
No	Nama Kegiatan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Studi literatur tentang standard teknis, teknologi terkait sistem pracetak tahan gempa kinerja tinggi berbentuk dinding pemikul dan pier												
2	Desain teknologi produk sistem dinding pemikul dan pier tahan gempa kinerja tinggi dengan sambungan vertikal komponen pracetak dengan sistem prategang												
3	Proses penyusunan draft sampai dengan pendaftaran paten sederhana produk												
4	Pembuatan model matematis, model numerik, simulasi komputer, proposal metoda perencanaan												
5	Analisis hasil data pengujian tahan gempa												
6	Perencanaan teknologi pier pracetak pada proyek Jalan Layang/Jembatan												
7	Publikasi di International Journal												
8	Proses konsesus SNI hasil dari tahun pertama												
9	Laporan akhir penelitian tahun 2 dengan luaran produk sistem pracetak tahan gempa kinerja tinggi berbentuk dinding pemikul dan pier dengan sambungan vertikal komponen pracetak dengan sistem prategang dan penerapan sistem pracetak tahan gempa kinerja tinggi pada Jalan Layang												

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Kurama, Y. C., Sritharan, S., Fleischman, R. B., Restrepo, J. I., Henry, R. S., Cleland, N. M., Ghosh, S. K. and Bonelli, P. 2018. "Seismic-Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art." *Journal of Structural Engineering* 144 (4): 03118001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001972](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001972).
2. Priestley, M. (1991). "Overview of PRESSS research program." *PCI J.*, 36(4), 50–57.
3. Nakaki, S. D., Stanton, J. F., and Sritharan, S., "An Overview of the PRESSS Five-Story Precast Test Building," *PCI JOURNAL*, V. 44, No. 2, March-April 1999, pp. 26-39.
4. The PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building, University of California at San Diego, La Jolla, California," *PCI JOURNAL*, V. 46, No. 5, September-October 2001, pp. 20-26.
5. Rahman, A., and Restrepo, J. I. (2000). Earthquake resistant precast concrete buildings: Seismic performance of cantilever walls prestressed using unbonded tendons, Research Rep. No. 2000, University California at San Diego, USA.
6. Pampanin, S. (2010), *PRESSS Design Handbook*, New Zealand Concrete Society, 10-22, 71-82.
7. Pampanin, S. (2012), *Reality-check and Renewed challenges in Earthquake Engineering : Implementing low-amaged structural System – from theory to practice*, 15th World Conference of Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 14-15, 24-27.
8. Nurjaman, H.N. 1997. *Penentuan Model Perencanaan Sistem Bangunan Pracetak Penuh Berdasarkan Uji Laboratorium*. Tesis Magister. Institut Teknologi Bandung.
9. Nurjaman, H.N. 2002. *Penentuan Model dan Parameter untuk Analisis dan Perencanaan Tahan Gempa Struktur Pracetak Rangka Beton*. Disertasi Doktor. Institut Teknologi Bandung.

10. Nurjaman, H.N. 2002. "Determination of Model and Parameter for Precast Concrete Frame Structure Analysis and Design". Proceedings of International Conference on Advancement in Design, Construction, Construction Management and Maintenance of Building Structures. Ministry of Settlements and Regional Infrastructure. Bali, Indonesia. I-204 – I- 205.
11. Nurjaman, H.N., Hariandja, B.H., and Sidjabat, H.R. 2008. "The Use of Precast Concrete Systems in The Construction of Low-Cost Apartments in Indonesia". Proceeding of 14th World Conference of Earthquake Engineering. Beijing.
12. Puslitbangkim (2014), Hasil Uji Benda Uji Dissipater Spircon, Laporan, Bandung, Indonesia.
13. Puslitbangkim (2015), Uji Gempa Sistem Pracetak PRESSSINDO-WIKA BETON, Laporan, Bandung, Indonesia.
14. Nurjaman, H.N., Lutfi Faizal, Hasiholan Sidjabat, Binsar Hariandja, Yesualdus Put and Riyanto Rivky. 2014. "Application of Precast System Buildings with Using Connection of Unbonded Post-tension and Local Dissipater Device". ELSEVIER Procedia Engineering 95 (2014) 75 – 87.
15. Suprpto, G., Almanik Husin, Widiasih, Andika Hadif Pratama, Iwan Ahmad Sofwan, Hari Nugraha Nurjaman and Riyanto Rivky. 2017. "Full Precast Structure with Unbonded Posttension Prestressed Hybrid Frame Structures at The Tamansari Hive Office Park Building, Jakarta, Indonesia". International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 8, Issue 10.
16. Nurjaman, H.N., Gambiro Suprpto, Lutfi Faizal and Binsar Hariandja. 2018. "Design, Testing, and Construction of Special Hybrid Moment Frame Structures for High Rise Building in Indonesia". International Journal of Earth Sciences and Engineering. P.P.162- 168.
17. Nurjaman, H.N., L. Faizal, G. Soeprpto, R. Rivky, Y. Put, B. Hariandja, J. Restrepo, H. Sidjabat and S. Wijaanto. 2017. "Research, Design and Application of High Performance Earthquake Resistant Precast Structure in Indonesia". 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017. Santiago Chile.
18. Badan Standardisasi Nasional. SNI 7834:2012. Metode Uji dan Kriteria Penerimaan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang Pracetak untuk Bangunan Gedung.
19. Mayes, R. L., Buckle, I. G., and Jones, L.R. (1988). Seismic Isolation: A solution to the earthquake problems of the precast concrete industry. PCI J., May-June, 24-57.
20. Tiong, Patrick & Adnan, Azlan & abd rahman, ahmad baharuddin & Mirasa, Abdul Karim. (2014). Seismic base isolation of precast wall system using high damping rubber bearing. Earthquakes and Structures. 7. 1141-1169. 10.12989/eas.2014.7.6.1141.
21. Lowes, L. N., Mitra, N., Altoontash, A. (2003). A beam-column joint model for simulating the earthquake response of reinforced concrete frames PEER-2003/10 Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley 59 pages (400/P33/2003-10).
22. McKenna, F., Fenves, G. L, and Scott, M. H. (2000) Open System for Earthquake Engineering Simulation. University of California, Berkeley, <http://opensees.berkeley.edu>.