

# Perbandingan Desain Struktur Apartemen Berlantai 33 di Daerah Surabaya dengan Modifikasi Penambahan Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss*

*Comparison of 33-storey Apartment Structure Design in Surabaya area with Modified Additions to Outrigger and Belt-Truss Systems*

**Faturahman Agung Pradana, Yoga Aprianto Harsoyo**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Ada salah satu apartemen yang merupakan bangunan bertingkat tinggi di daerah Surabaya dibangun pada tahun 2018-2020, memiliki 2 basemen, 3 lantai podium, 33 lantai utama, dan *roof floor*. Bangunan bertingkat tinggi identik dengan adanya beban gempa dan tekanan angin, yang dapat mengakibatkan ayunan lateral dan mengurangi kekakuan struktur, maka diperlukan adanya sistem struktur tambahan untuk mengantisipasi, yaitu dengan penambahan sistem *outrigger* dan *belt-truss*, agar dapat membandingkan desain struktur apartemen berlantai 33 dengan modifikasi penambahan sistem *outrigger* dan *belt-truss*. Penelitian ini memodelkan pemodelan dengan *open frame* dan *shell element*, berdasarkan gambar fortender, yang dimodelkan secara 3D menggunakan program Etabs versi 16.2.1, dengan dua mode pemodelan yaitu pemodelan dengan data dari element struktur fortender eksisting dan pemodelan dengan penambahan sistem elemen *outrigger* dan *belt-truss* yang ditempatkan pada lantai 16. Proses *running* dari kedua pemodelan, untuk dibandingkan response struktur, dan desain kebutuhan dimensi dari sistem struktur *outrigger* dan *belt-truss*. Hasil analisis yang didapat dari kontrol struktur untuk partisipasi massa struktur, dapat meningkatkan kekakuan, sedangkan untuk periode fundamental, gaya geser antar lantai, dan *interstory drift* dapat mengurangi kontrol struktur. Hasil analisis desain *outrigger* memakai ketebalan 300 mm, mutu beton 35 Mpa, selimut beton 40 mm, tulangan tarik memakai mutu baja U-55 sepanjang 680 mm sisi ketinggian atas dan bawah dipasang tulangan 4D22-170 dua lapis, dan tulangan geser memakai mutu baja dan U-24 sepanjang sisi ketinggian tengah dipasang 12D10-170 dua lapis, untuk desain *belt-truss* memakai profil baja CHC 318,5.9, dengan mutu baja U-41, untuk desain pelat landas memakai ukuran 500 mm x 500 mm dengan ketebalan 41 mm, mutu baja U-25, untuk desain sambungan las memakai mutu E60xx dengan ketebalan 17 mm, untuk desain baut angkur memakai 24D22, mutu baja U-25 dengan kedalaman efektif 150 mm.

Kata-kata kunci : *outrigger*, *belt-truss*, kontrol struktur

**Abstract.** There is one apartment which is a high-rise building in Surabaya area built in 2018-2020, has 2 basements, 3 podium floors, 33 main floors, and a roof floor. High-rise buildings are identical to the earthquake load and wind load, which can result in lateral swings and reduce structure rigidity, so an additional structure system is needed to anticipate, by adding outriggers and belt-truss systems, in order to compare the design of 33-storey apartment structures with modification of the addition of outrigger and belt-truss systems. This research models open frame and shell element modeling, based on the fortender image, which is modeled in 3D using the Etabs program version 16.2.1, with two modeling modes, modeling with data from existing fortender structure elements and modeling with the addition of outrigger and belt-truss element systems placed on the 16th floor. The running process of both models, to compare the response of the structure, and design the dimensions of the outrigger and belt-truss structure system. The analysis results obtained from the control of the structure for mass participation of the structure, can increase stiffness, while for fundamental period, shear force, and interstory drift can reduce the control of the structure. Outrigger design analysis results use a thickness of 300 mm, 35 Mpa concrete quality, 40 mm concrete blanket, tensile reinforcement using U-55 steel quality along 680 mm side of the upper and lower heights mounted 4D22-170 reinforcement, and shear reinforcement using steel quality and U-24 along the middle height side mounted 12D10-170 two layers, for belt-truss design using CHC 318.5.9 steel profile, with U-41 steel quality, for landing plate design using 500 mm x 500 mm size with 41 mm thickness, U-25 steel quality, for the design of welding joints using E60xx quality with a thickness of 17 mm, for anchor bolt design using 24D22, U-25 steel quality with an effective depth of 150 mm.

Keywords : *outrigger*, *belt-truss*, structure control

## 1. Pendahuluan

Surabaya adalah kota kedua terbesar setelah Jakarta, dengan populasi penduduk yang padat, kebutuhan akan tempat tinggal dan penginapan semakin pula meningkat, munculnya kebijakan pembangunan pola apartemen-apartemen, sebagai jawaban atas semakin sempitnya ketersediaan lahan, berdasarkan keputusan pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Wali Kota Surabaya Nomor 46 Tahun 2013 Tentang Rencana Kerja Pembangunan Daerah (RKPD) Kota Surabaya Tahun 2014 dalam BAB II capaian kinerja dan penyelenggara pemerintah. Ada salah satu dari apartemen di Surabaya, yang dibangun pada tahun 2018-2020, mempunyai elevasi ketinggian + 138,50 m, terdiri dari 2 lantai basement, 3 podium, 33 lantai utama, dan *roofloor*. Perancangan desain apartemen-apartemen yang berada di daerah Surabaya diperlukan strategi khusus, agar struktur geometri gedung baik itu arsitektur dan struktur dapat mengantisipasi terjadinya gempa dan tekanan angin. Bekerjanya beban lateral pada bangunan bertingkat tinggi, disebabkan adanya kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang ditimbulkan, mengakibatkan ayunan lateral pada gedung bertingkat tinggi, sehingga pertimbangan kekakuan dan kekuatan struktur sangat menentukan dalam desain, maka diperlukan sistem struktur tambahan untuk menambah perkuatan struktur, dari ujung penyaluran beban lateral menjadi satu kesatuan, salah satunya adanya sistem *outrigger* dan *belt-truss*.

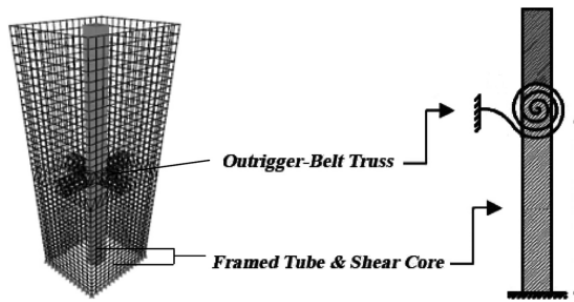
Secara umum untuk penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* terbukti dapat mengurangi efek volume struktur dan kontrol struktur, dalam penelitian-penelitian seperti (Park. dkk., 2016) mengenai pengoptimalan volume struktur terhadap jumlah *outrigger* dapat mengurangi efek volume struktur terhadap meningkatnya jumlah *outrigger*. (Christianto. dkk., 2017) menyebutkan bahwa dengan adanya struktur *outrigger* dan *belt-truss* terbukti dapat mereduksi dimensi balok dan kolom, serta untuk kontrol struktur terdapat adanya perbedaan dan menjauhi dari batas kriteria izin. (Hardiman. dkk., 2017) menyatakan bahwa, sistem *outrigger* dan *belt-wall* dapat menghasilkan efisiensi sebesar 9,70% terwujud pada berkurangnya massa

struktur atau berat total struktur terhadap sistem *shearwall frame*. (Pesik. dkk., 2018) melakukan penelitian mengenai respons dinamis bangunan bertingkat banyak dengan variasi tata letak *outrigger*, untuk model dengan perbandingan simpangan antar lantai, yang memiliki nilai terkecil pada lokasi penambahan *outrigger* di  $\frac{1}{2} h$ , dan  $\frac{3}{4} h$  yang dapat mereduksi simpangan terbesar 12,27%. (Faimun. dkk., 2017) menyatakan dengan memodifikasi desain struktur apartemen gunawangsa menggunakan struktur beton bertulang pada sistem *outrigger* dan *belt-truss* dapat mengurangi nilai simpangan antar lantai arah Y, yang melebihi batas izin dan hasil analisis dimensi *outrigger* dan *belt-truss* didapat sama dimensinya yaitu sebesar 400 mm x 2000 mm. (Kim, Han Soo, 2017) menyebutkan bahwa jarak pembagian dari *outrigger* yang sama dapat menghasilkan pengurangan optimum dari perpindahan lateral.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk memberikan perbandingan gambaran tentang penambahan sistem perkuatan struktur pada salah satu apartemen di daerah surabaya yang berlantai 33 menggunakan *outrigger* dan *belt-truss*, terhadap kontrol stuktur seperti partisipasi massa struktur, waktu getar alami, gaya geser, simpangan dan dimensi hasil desain *outrigger* dan *belt-truss*. Manfaat dari penelitian adalah memberikan informasi dan rujukan tentang manfaat penambahan adanya sistem *outrigger* dan *belt-truss* pada pemilik perencana bangunan bertingkat tinggi.

## 2. Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss*

Bangunan tinggi diibaratkan seperti kolom langsing atau kantilever akibat perilaku lentur yang dominan, adanya gaya tarik dan gaya tekan di sisi parimeter luar seperti pada gambar 1, maka perlu satu kesatuan sistem struktur yang menyatukan elemen-elemen struktur vertikal yang berada pada salah satu tapi lantai terluar terhadap ketinggian gedung dengan sistem *belt-truss*, dan untuk meningkatkan kekakuan lateral maka diperlukan lengan yang terikat pada *core wall* hingga kolom terluar yang juga di letakan seletak dengan *belt-truss* pada salah satu lantai terhadap ketinggian gedung, yang akan berhubungan dengan *belt-truss* memakai sistem *outrigger*.



Gambar 1 Sistem *outrigger* dan *belt-truss* (Kamgar, Reza. Reza Rahgozar, 2017)

### 3. Pembebanan

#### **Beban mati tambahan**

Berat semua bagian dari konstruksi gedung yang membebani struktur ketika masih berdiri, yang bersifat tetap dan layan, termasuk segala unsur tambahan seperti mesin. Nilai-nilai beban mati diambil, berdasarkan (Departemen Pekerjaan Umum, PPPURG 1987 pada tabel 1).

#### **Beban hidup**

Beban yang terjadi akibat penghuni atau pengguna suatu gedung, dan barang-barang yang dapat dipindahkan, yang mengakibatkan perubahan pada beban-beban lantai dan atap, dan tidak termasuk beban konstruksi serta beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa. Besarnya beban hidup diambil, berdasarkan (Departemen Pekerjaan Umum, PPPURG 1987 pada tabel 2) atau (BSN, SNI 1727-2013 pada tabel 4-1).

#### **Beban angin**

Aksi angin pada bangunan tinggi bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti bentuk permukaan daratan, sehingga dapat mempengaruhi kecepatan angin, arah angin, dan perilaku angin. Beban angin menganggap adanya angin tekanan positif, angin hisap negatif, dan angin tepi yang terjadi ketika adanya turbulen. Besarnya beban angin diambil, berdasarkan (Departemen Pekerjaan Umum, PPPURG 1987 pada pasal 2.1.3.2 ayat 1-2) atau (BSN, SNI 1727-2013 pada pasal 27).

#### **Beban hujan**

Atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup, ditambah lagi beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada

aliran rencananya, besarnya beban hujan diambil berdasarkan (BSN, SNI 1727-2013 pada pasal 8).

#### **Beban gempa**

Pengaruh gaya gempa dapat ditentukan dengan desain beban gempa nominal berupa analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik seperti *response spectrum*, dan *time history*. (Faizah, 2015) bahwa desain beban gempa untuk gedung yang memiliki lantai lebih dari 5 tingkat, lebih akurat dengan pembebanan gempa dinamik *time history*.

Prosedur persyaratan berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pada pasal 11) yang menyatakan taraf pembebanan gempa nominal dalam analisis dinamik *time history* untuk gerakan tanah paling sedikit ada tiga pergerakan tanah, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan, harus diskala ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut.

Faktor skala gempa ke taraf pembebanan gempa nominal, dilakukan dengan *acceleration* gempa masukan yang dirubah menjadi spektra desain gempa masukan, dengan bantuan *software* seismosignal. Besarnya skala gempa spektra desain gempa masukan, berdasarkan *append ix-a* (Erol & Anil, 2010) melalui persamaan 1, selanjutnya dibandingkan antara spektrum respon desain dari berbagai spektrum respon gempa masukan, dalam rentang periode dari 0.2T-1,5T, untuk dipilih spektrum respon maksimum dari tiap ragam.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{A} \times A}{\sum_{i=1}^n A \times A} \dots\dots\dots (1)$$

$\bar{A}$  = *acceleration*, A = spektrum respon desain, T = fleksibilitas struktur.

Berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pada pasal 6.7.3) menyatakan percepatan puncak yang telah disesuaikan ke taraf pembebanan gempa nominal, digunakan untuk evaluasi likuifaksi, gerakan lateral, penurunan seismik, dan masalah geoteknik lainnya seperti kehilangan kekuatan tanah, akan mengakibatkan percepatan tanah puncak (PGA) melalui persamaan 2, untuk parameter  $F_{PGA}$  berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pada tabel 2.34), dan untuk parameter PGA diambil dari (Irsyam, et al., 2017 pada halaman 356).

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots (2)$$

Sehingga nilai percepatan muka tanah puncak menjadi dalam persamaan 3, untuk

parameter  $I_e$  berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pada tabel 1), dan parameter  $R$  berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pada tabel 9).

$$A = \frac{A_0 \times I_e}{R} \dots\dots\dots (3)$$

**Kombinasi pembebanan**

Konsep perencanaan berbasis kekuatan atau LRFD menetapkan besarnya keamanan, terhadap kondisi beban ekstrem selama masa layan, melalui persamaan 4 yaitu :

Kuat rencana  $\geq$  Kuat perlu ..... (4)

Kuat rencana atau kuat nominal adalah kemampuan komponen struktur untuk menerima beban yang dihitung berdasarkan ketentuan dengan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) kekuatan yang sesuai.

Kuat perlu adalah elemen struktur didesain untuk memikul nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor ( $U$ ), yang diperoleh dengan menghasilkan suatu faktor beban yang membatasi kegagalan struktur secara tiba-tiba, terhadap beban layan nominal. Berdasarkan persyaratan dalam (BSN, SNI 1727-2013, pasal 4.2.2 dan pasal 7.4.2) besarnya kuat perlu, yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis, harus dipikul oleh elemen struktur melalui persamaan 5 sampai persamaan 11.

$U = 1,4 D$  ..... (5)

$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$  ..... (6)

$U = 1,2 D + 1,6 R + L$  ..... (7)

$U = 1,4 D + 1,0 W + L + 0,5 R$  ..... (8)

$U = (1,2 D + 0,2 S_{Ds}) D \pm \rho (Q_E = E_h \pm E_v) + L$  ..... (9)

$U = 0,9 D + 1,0 W$  ..... (10)

$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D \pm \rho (Q_E = E_h \pm E_v) + 1,6 H$  ..... (11)

Untuk parameter redundansi ( $\rho$ ) berdasarkan (BSN, SNI 1727-2013, pasal 7.3.4) maka untuk KDS A, B, C, sebesar 1,00 dan untuk KDS D, E, F sebesar 1,30.

**4. Response Struktur**

**Partisipasi massa struktur**

(BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.3.4) menyatakan jumlah respon ragam, yang memenuhi minimal 90% pada massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

**Waktu getar alami**

Periode getar struktur merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran lengkap, dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi kesimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode ini bergantung pada besarnya massa dan kekakuan struktur.

**Gaya geser**

*Gaya geser dasar (base shear)*

Gaya dasar seismik ( $V$ ), dalam arah yang ditetapkan, berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.8.1) melalui persamaan 12. Untuk nilai gaya geser dasar maksimum yang telah diskalakan kurang dari ( $0.85 V_s < V_d$ ) dari *base shear* statik maksimum maka harus mencari faktor skala gempa baru dengan mengalikan skala gempa masukan dengan, persamaan 13, berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.8.4.1).

$V = C_s \times W$  ..... (12)

$C_s$  = Koefisien respons seismik, berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1)

$W$  = Berat seismik efektif

Faktor skala =  $0,85 \times \frac{V_s}{V_d}$  ..... (13)

*Gaya geser antar lantai (story shear)*

Pendistribusi gaya geser dasar ke semua tingkat menjadi gaya lateral ekuivalen, yang dibagi menjadi distribusi vertikal gaya gempa, yang besarnya ditentukan berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.8.3) melalui persamaan 14. Pendistribusian tergantung pada fleksibilitas diafragma yang berupa atap, lantai, membran, atau sistem bresing.

$F_x = C_{vx} \times V$  ..... (14)

**Simpangan**

Pemeriksaan simpangan struktur digunakan untuk menjamin stabilitas struktur, mencegah kerusakan elemen-elemen nonstruktural, serta untuk menjamin kenyamanan pengguna bangunan. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau, simpangan antar lantai memiliki batasan, antara simpangan antar tingkat desain, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin, berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pada pasal 7.12).

## 5. Perancangan Struktur

### Perancangan outrigger

Elemen struktur *outrigger* didesain menggunakan balok tinggi (*deep beam*) sesuai (BSN, SNI 2847-2013, pada pasal 10.7) yaitu komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya sisi atas balok dan ditumpu pada muka yang berlawanan, sehingga terbentuk lintasan serat tekan antara beban dan tumpuan, akibat tegangan tarik dan tekan maka dibutuhkan tulangan tarik hingga 1/5 tinggi balok.

### Perancangan belt-truss

#### Batang tarik dan batang tekan

Elemen struktur *belt-truss* didesain menggunakan rangka baja, element *belt-truss* hanya didesain menerima gaya tarik didesain berdasarkan (BSN, SNI 1729-2015, pada pasal D) dan batang tekan didesain berdasarkan (BSN, SNI 1729-2015, pada pasal E).

#### Sambungan belt-truss dengan kolom

Elemen struktur sambungan *belt-truss* dengan kolom eksterior didesain menggunakan sambungan tipe *simple connector*, yang terdiri dari elemen profil pelat landas didesain berdasarkan (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016 pada bab 8.10), dan pengangkur didesain berdasarkan (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016 pada bab 8.11), sedangkan sambungan las didesain berdasarkan (BSN, SNI 1729-2015, pada pasal J2).

## 6. Metode Penelitian

### Pengumpulan data

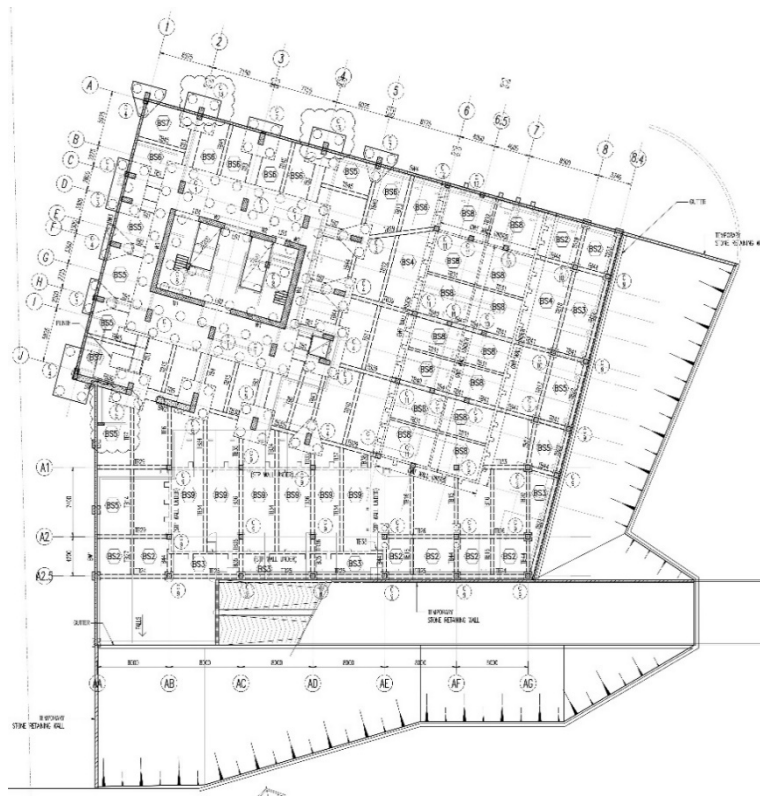
Data yang diperoleh, didapatkan dari pelaksanaan pembangunan salah satu apartemen berlantai 33 yang berada di Surabaya, langsung dari (kontraktor BUMN) antara lain gambar struktur fortender, dan data penyelidikan tanah dalam bentuk *soft-file*, dikarena data proyek mencakup banyak aspek, baik itu *owner*, kontraktor, dan antar pihak-pihak konsultal, maka dalam penelitian ini, nama dari data proyek sengaja tidak informasikan.

Data geometri 3D sebagai berikut :

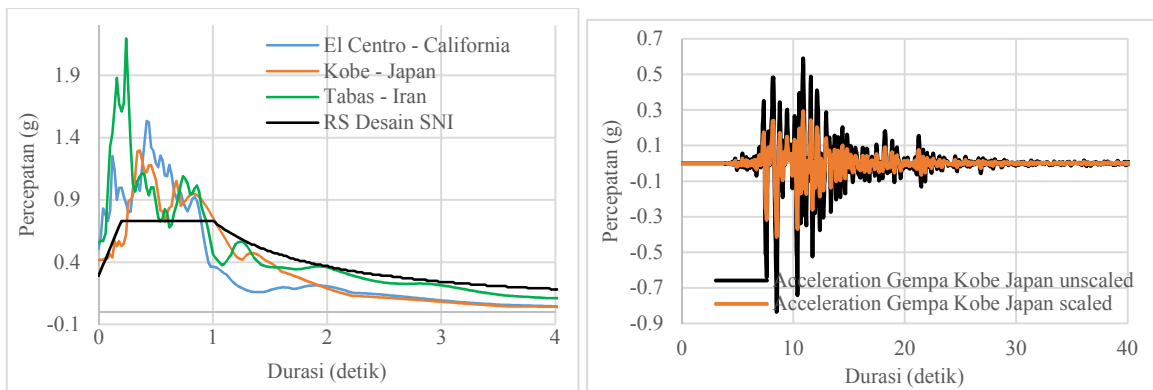
- Denah lantai, ditunjukkan pada gambar 2.
- Variasi geometri lantai pada ketinggian basement 2-1, *lower ground*, *ground floor*,

*upper ground*, lantai 1-15, lantai 17-33, lantai 10, lantai 16, lantai 24, lantai 25.

- Perbedaan evelasi basement : 4,00 m; podium : 3,50 m; lantai 1-33 : 3,4 m.
- Digunakan variasi kolom, balok dan tebal pelat seperti ukuran dimensi, dan mutu material yang digunakan berdasarkan data gambar fortender secara proporsional.
- Data pembebanan sebagai berikut :
  - Data beban mati tambahan, digunakan variasi *desain load* yang terdapat dalam gambar fortender secara proporsional.
  - Beban angin,  $V_{\text{surabaya}} = 19,25$  m/s (diambil dari <https://www.bps.go.id>);  $K_d = 0,85$ ;  $K_{zt} = 1$ ;  $G = 0,85$ ;  $C_p$  arah desak = 0,8, tepi = -0,7 pergi = -0,5
  - Beban hujan  $R = 0,294$  kN/m<sup>2</sup>
  - Beban gempa *time history* menurut (BSN, SNI 1726-2012 pasal 11) menggunakan minimal tiga buah rekaman data gempa. Untuk ketiga buah rekaman data rekaman; Gempa Tabas di Iran 1978 sebesar  $M = 7,35$ ; Gempa Kobe di jepang 1995 sebesar  $M = 6,90$ ; Gempa Imperial Valley di Calofornia 1979 sebesar  $M = 6,53$  (diambil dari <https://ngawest2.berkeley.edu/>). Pemilihan tiga buah gempa berdasarkan (Irsyam, et al., 2017) bahwa surabaya memiliki dua sumber sesar gempa yaitu baribis-kendeng dan fold-trust dengan magnitude maksimal sebesar 6,5 M, maka untuk pemilihan data gempa dipilih yang melebihi magnitudenya 6,5. Pemilihan skala gempa berdasarkan respons spektrum, melalui gambar 3 (a) sesuai ketentuan yang diisyaratkan oleh (Erol & Anil, 2010), untuk gempa arah x dan untuk gempa arah y sengaja tidak ditampilkan tapi untuk data arah y mirip seragam pada gempa x, maka dipilih Gempa Kobe Japan karena memiliki respons spektrum yang mendekati spektrum respons desain dalam rentang periode dari 0.2T-1,5T dan memiliki spektrum respon maksimum dari tiap periode-periode tertentu.



Gambar 2 Contoh denah tipikal pemodelan apartemen 33 tingkat



(a)

(b)

Gambar 3 (a) Rekapitulasi grafik respon spektrum arah x *scaled*, (b) *Acceleration* Gempa Kobe Japan arah x *unscaled* dan *scaled*

### **Pemodelan struktur**

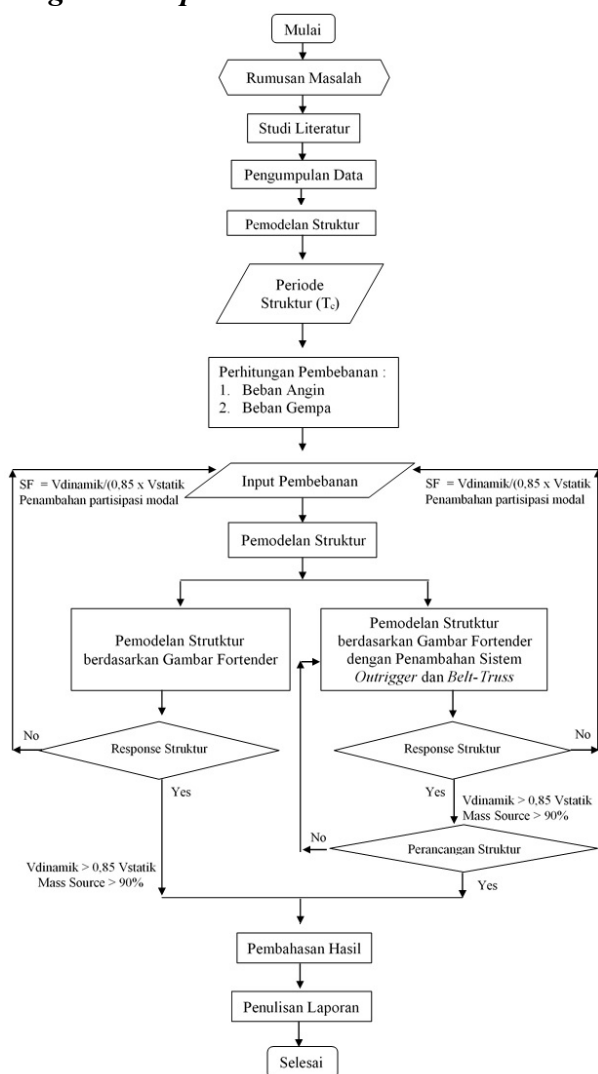
Pembuatan pemodelan struktur apartemen berlantai 33 berdasarkan gambar struktur fortender, yang dimodelkan secara 3D menggunakan program ETABS versi 16.2.1 dengan dua model yaitu dengan data dari element struktur fortender dan data dari element struktur fortender eksisting dengan penambahan sistem elemen *outrigger* dan *belt-truss* yang menurut tingkat keefektifan (Chen,

Yue. Zhenya Zhang, 2017) menyarankan satu sistem *outrigger*, maka hanya pada satu lantai, dan untuk ketinggian menurut penelitian yang diambil dari (tiga penelitian yaitu (Tavakoli. dkk., 2019) pada 0,47 h; (Kim, Han Soo, 2017) pada 0,312 h – 0,685 h; (Kamgar, Reza. Reza Rahgozar, 2017) pada 0,441 h) maka diambil pada ketinggian + 67,4 m atau lantai 16.

Pendefinisikan elemen struktur meliputi; dimensi penampang elemen struktur seperti;

parameter spesifikasi bahan struktur ; dan untuk pembebanan beban tambahan yang tidak dicantumkan dalam *desain load* pada gambar fortender, untuk diperhitungkan beban angin, dan beban gempa, dilanjutkan menempatkan *assign* data ke struktur seperti; *assign* penampang; *assign* beban yang bekerja. Proses *running* digunakan untuk membedakan penarikan kesimpulan dengan membandingkan antar respons struktur pada elemen struktur yang dirancang menurut gambar fortender, dan penambahan sistem elemen struktur *outrigger* dan *belt-truss*, sampai pada kesimpulan akhir yaitu mendapatkan desain apartemen menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-truss* yang tertuang dalam bentuk gambar teknik.

### Diagram alir penelitian



Gambar 4 Diagram alir penelitian

## 7. Hasil dan Pembahasan

### Response Struktur

#### a. Partisipasi massa struktur

Hasil penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*, terbukti dapat menambah kekakuan, dengan berkurangnya mode partisipasi massa bangunan dan meningkatkan jumlah partisipasi massa struktur yang dibawa oleh tiap pola ragam getar kedua arah DOF (translasi x, translasi y), dengan rasio pengurangan mode hasil dari perkalian jumlah lantai dengan sumbu analisis sebanyak 1 model pada arah x, sedangkan arah y mengalami peningkatan jumlah partisipasi massa struktur dari minimum 90% pada mode ke-20 sebesar 90,08% menjadi 90,35%, maka mode bangunan pada pemodelan tidak perlu ditambah lagi, karena telah memenuhi syarat rasio partisipasi massa yangizinkan berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.3.4).

#### b. Waktu getar alami

Hasil analisis waktu getar alami menunjukkan bahwa hubungan antara nilai periode fundamental dengan mode respons ragam, terbukti dapat mengurangi periode fundamental pada mode pertama sebesar 2,67 detik tanpa penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* menjadi sebesar 2,492 detik dengan penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*.

#### c. Gaya geser

Untuk gaya geser dasar (*base shear*), hasil selisih analisis dinamik (Vd) dengan analisis statik (Vs), pada tabel 1 dan tabel 2 merupakan hasil perhitungan *base shear* sebagai skala percepatan gempa masukan yang digunakan. Pada arah x dan y telah memenuhi batas rasio terhadap nilai  $Vd > 0,85 Vs$  dengan rasio (Vd/Vs) melebihi 0,85, sehingga beban gempa masukan tidak diskala ulang lagi, karena telah memenuhi syarat respons terkombinasi untuk gaya geser yangizinkan berdasarkan (BSN, SNI 1726-2012 pasal 7.8.4.2).



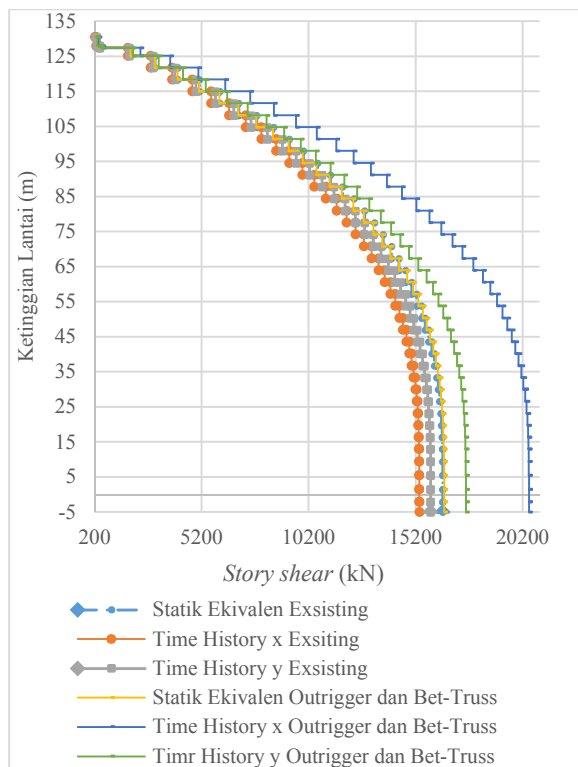
Tabel 1 Nilai gaya geser dasar pada analisis skala gempa masukan tanpa penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*

Beban Gempa Arah gempa	Vstatik (kN)	Syarat 85% Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Rasio ( $V_d/V_s$ )	Skala Gempa Masukan	Kriteria
X	16466.87	13991.16	15381.73	0.93	2.8656	Memenuhi
Y	16466.87	13991.16	15896.45	0.96	2.5287	Memenuhi

Tabel 2 Nilai gaya geser dasar pada analisis skala gempa masukan dengan penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*

Beban Gempa Arah gempa	Vstatik (kN)	Syarat 85% Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Rasio ( $V_d/V_s$ )	Skala Gempa Masukan	Kriteria
X	16535,89	14049,83	20500.1	1.24	2.8656	Memenuhi
Y	16535,89	14049,83	17553.1	1.06	2.5287	Memenuhi

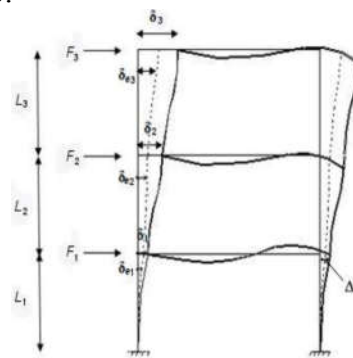
Untuk gaya geser lantai (*story shear*), hasil analisis gaya geser pada gambar 5, menunjukkan bahwa nilai kumulatif dari gaya gempa yang terjadi pada tiap lantai, dengan adanya penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*, terbukti dapat mengurangi gaya geser mulai yang terjadi di ketinggian lantai 16 atau + 67,4 m dari penempatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* sampai di ketinggian *roof floor* pada gaya geser statik ekuivalen sebesar rata-rata 3,5%.



Gambar 5 Grafik *story shear* arah x dan arah y

#### d. Simpangan

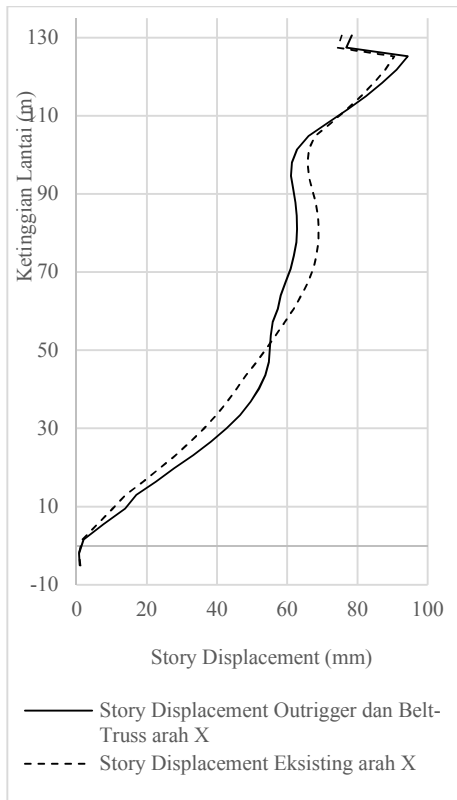
Untuk *Story displacement* (simpangan lantai), hasil analisis *story displacement* pada gambar 7 dan gambar 8, merupakan simpangan yang terjadi pada suatu lantai yang diukur dari dasar lantai. Nilai simpangan lantai sesuai gambar 6.



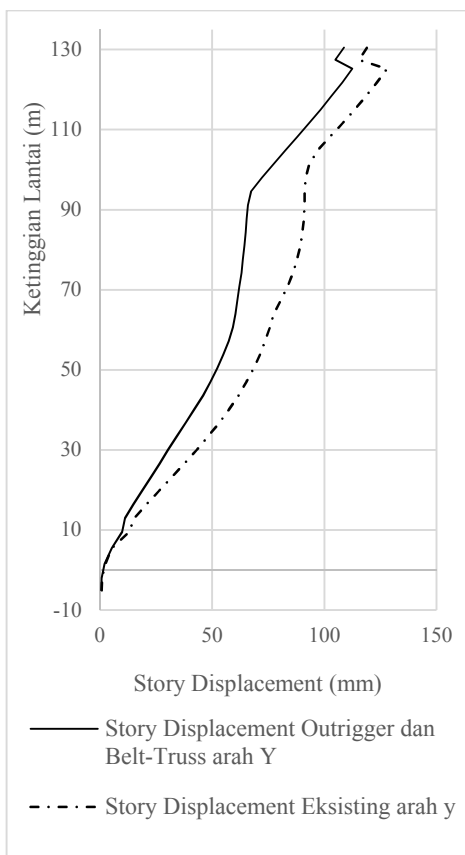
Gambar 6 Visual goyangan pada bangunan

Terbukti dengan adanya penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*, dapat mengurangi simpangan lantai yang terjadi arah x mulai ada pengurangan simpangan, yang terjadi di ketinggian dari lantai 12 atau + 50,4 m sampai di ketinggian lantai 33 atau + 121,8 m sebesar rata-rata 4,38%. Sedangkan arah y mulai ada pengurangan simpangan, yang terjadi sepanjang di ketinggian apartemen sebesar rata-rata 14,12%. Namun untuk arah x terjadi melebihi simpangan pada pemodelan eksisting yang terjadi pada ketinggian basemnet 2 atau - 5,00 m sampai di ketinggian lantai 11 atau + 47,0 m sebesar 4,03% dikarenakan pengaruh geometri apartemen antara arah x lebih panjang ketimbang arah y.



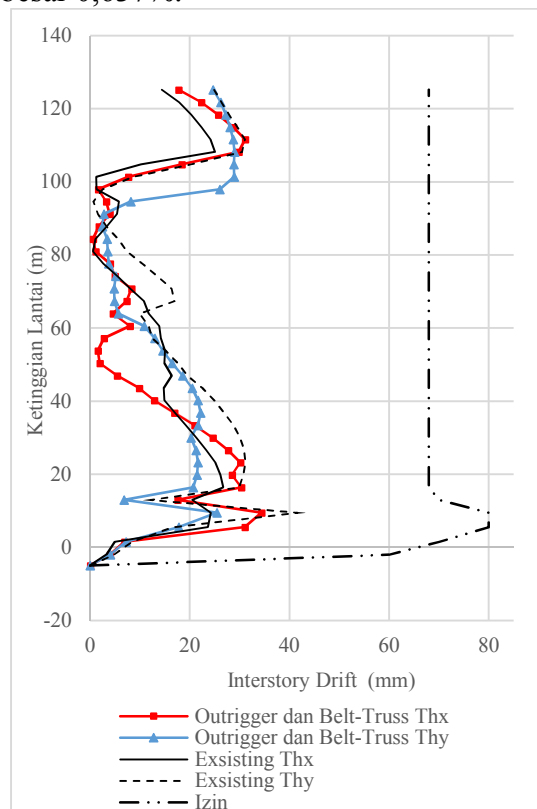


Gambar 7 Joint displacement maksimum time story x

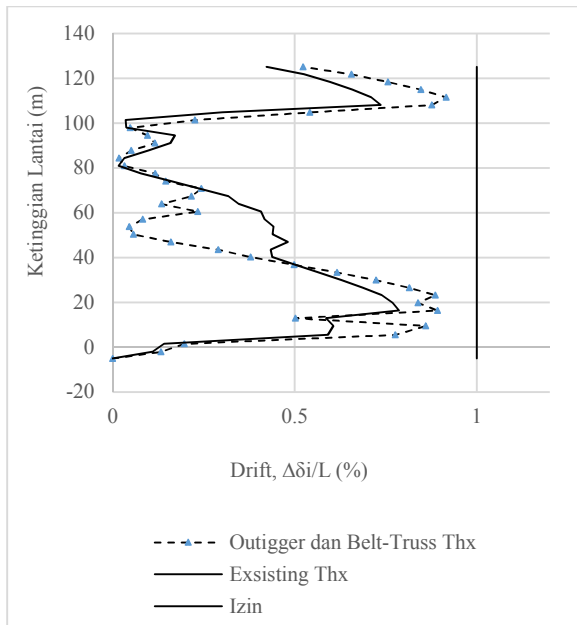


Gambar 8 Joint displacement maksimum time story y

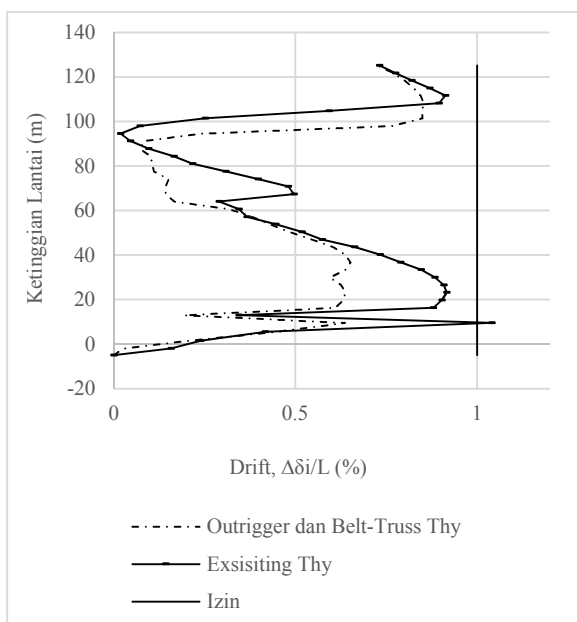
Untuk *interstory drift* (simpangan antar lantai), hasil analisis *interstory drift* pada gambar 9, nilai simpangan antar lantai dengan tinggi antar lantai yang menunjukkan dengan adanya tambahan sistem *outrigger* dan *belt-truss* dapat mengurangi simpangan antar lantai yang terjadi di sepanjang ketinggian, dan hasil analisis *drift ratio* pada gambar 10 dan gambar 11 merupakan rasio nilai simpangan antar lantai dengan tinggi antar lantai, dengan syarat jika *drift ratio* ada yang lebih dari 1% (BSN, SNI 1726-2012 pada pasal 8.8.5). Jadi struktur tersebut perlu ditinjau ulang kembali simpangan dan kekakuan strukturnya, maka dibuktikan dengan adanya penambahan kekuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* dari yang tadinya *drift ratio* tanpa penambahan kekuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* arah y melebihi 1% sebesar 1,041% yang terjadi di lantai *upper ground*, dapat mengurangi *drift ratio* yang terjadi setelah penambahan kekuatan *outrigger* dan *belt-truss* menjadi sebesar 0,637%.



Gambar 9 Interstory drif maksimum time history arah x dan y



Gambar 10 *Drift ratio* arah x



Gambar 11 *Drift ratio* arah y

### Perancangan Struktur

Hasil desain elemen *outrigger* dan *belt-truss* tertuang dalam lampiran

## 8. Kesimpulan

a. Perbandingan kontrol struktur akibat penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Kontrol partisipasi massa struktur dapat menambah kekakuan, dengan berkurangnya mode partisipasi massa

bangunan sebesar 1 mode pada arah x dan meningkatkan jumlah partisipasi massa struktur.

- 2) Kontrol periode fundamental struktur dapat mengurangi periode fundamental struktur dari 2,67 detik menjadi 2,492 detik untuk mode pertama sebesar 0,178 detik.
- 3) Pada kontrol gaya geser (*base shear*) didapatkan rasio nilai gaya geser, dari kedua pemodelan memenuhi persyaratan  $V_d > 0,85 V_s$  dari rasio yang melebihi 0,85.
- 4) Pada kontrol gaya geser antar lantai (*story shear*) dapat mengurangi gaya geser antar lantai, mulai yang terjadi di ketinggian lantai 16 atau + 67,4 m dari penempatan sistem *outrigger* dan *belt-truss* sampai di ketinggian *roof floor*, pada gaya geser statik ekuivalen sebesar rata-rata 3,5%.
- 5) Pada kontrol simpangan lantai dari kedua arah, dapat mengurangi simpangan *joint* yang terjadi arah x mulai di ketinggian dari lantai 12 sampai lantai 33 sebesar rata-rata 4,38%, sedangkan arah y mulai di sepanjang ketinggian lantai sebesar rata-rata 14,12%.
- 6) Pada kontrol simpangan *interstory drift* dapat mengurangi simpangan antar lantai di sepanjang ketinggian, sedangkan untuk kontrol *drift ratio* dapat mengurangi yang terjadi pada arah y sebesar 1,041% menjadi sebesar 0,637%.

b. Hasil desain dimensi *outrigger* dan *belt-truss* sebagai berikut :

- 1) Balok *outrigger*

Dimensi balok  $t_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h_w = 3400 \text{ mm}$

Mutu beton  $F_c' = 35 \text{ Mpa}$

Mutu baja U-40 D22

Mutu baja U-24 D10

Selimut beton 40 mm

Tulangan tarik sepanjang 680 sisi ketinggian atas dan bawah dipasang tulangan 4D22-170 dua lapis

- Tulangan geser sepanjang sisi ketinggian tengah dipasang tulangan 12D10-170 dua lapis
- 2) Sambungan belt-truss  
Profil baja CHC 318,5.9  
Mutu baja U-41
  - 3) Pelat landas  
Ukuran 500 mm x 500 mm  
Ketebalan 41 mm  
Mutu pelat U-25
  - 4) Sambungan las sudut  
Mutu E60xx dengan ketebalan 17 mm
  - 5) Baut Angkur  
Jumlah baut 24  
Diameter baut 22  
Mutu baut U-2  
Jarak  $Ca1=Ca2 = 65$  mm  
Jarak  $S1=S2 = 80$  mm  
Kedalaman hef = 150 mm ; ha = 500 mm

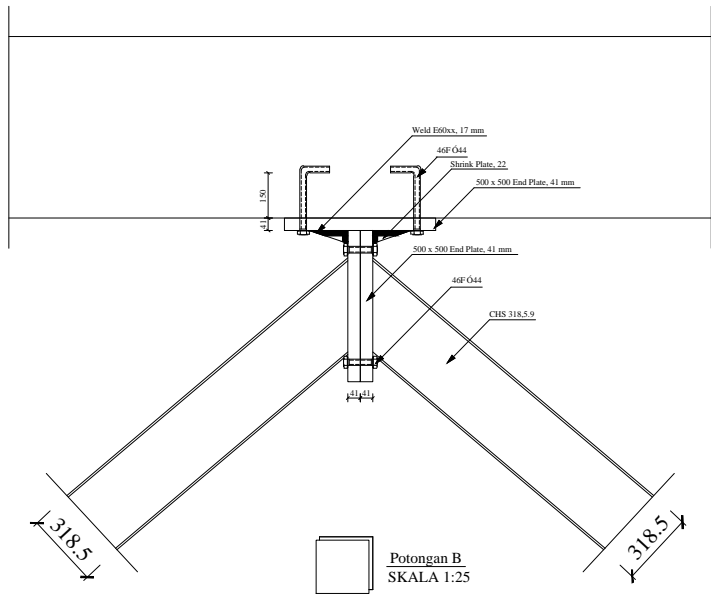
## 9. Saran

- a. Perlu dilakukan analisis dengan dimensi kolom, balok, dan *core wall* akibat adanya penambahan perkuatan sistem *outrigger* dan *belt-truss*.
- b. Untuk penempatan dari ketinggian *outrigger* dan *belt-truss* perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap karakteristik apartemen dan ketinggiannya yang sangat mempengaruhi kekuatan dari apartemen.

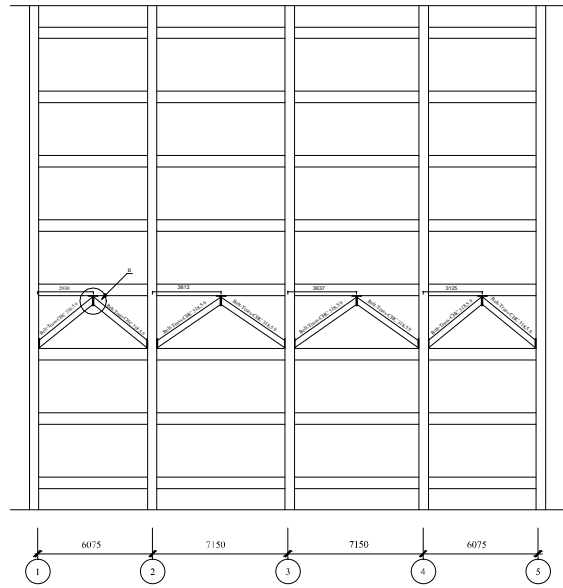
## 10. Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2014, *Statistik Indonesia 2014*, Diambil dari Badan Pusat Statistik Kota Surabaya (<https://www.bps.go.id>), (diakses pada sabtu pada 1 mei 2018 pukul 09.30 WIB).
- BSN, 2013, SNI 1727-2013: *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2012, SNI 1726-2012: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2013, SNI 2847-2013: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2015, SNI 1729-2015: *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Chen, Yue. Zhenya Zhang, 2017, Analysis of Outrigger Numbers and Locations in Outrigger Braced Structures Using a Multiobjective Genetic Algorithm, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27, 1-16.
- Christianto, Angga Bayu. Tavo. I Gusti Putu Raka, 2017, Desain Modifikasi Struktur Apartemen Puncak Dharma Husada Surabaya dengan Kombinasi Shear Wall dan Outrigger System, *Jurnal Teknik Aplikasi Teknik Sipil, Vol 6, No 2*, 295-299.
- Departemen Pekerjaan Umum, PPPURG 1987: *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, Yayasan Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Dewobroto. W, 2016, *Struktur Baja Edisi ke-2*, Tangerang, Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Faimun. Tavo. Fauzan Kurnianto, 2017, Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya Menggunakan Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Outrigger dan Belt-Truss, *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, Vol 6, No 2*, 2301-9271.
- Faizah. Restu, 2015, Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta, *Semesta Teknika, Vol 18, No 2*, 190-199.

- Hardiman. Satria Erlangga, Mukahar, Agus Setiya Budi, 2017, Kinerja Sistem Struktur Outrigger dan Belt Wall pada Gedung Tinggi Akibat Pembebanan Gempa, *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Vol 5, No 3*, 823-830.
- Irsyam. dkk, 2017: *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 1-400.
- Kalkan. Chopra, 2010: *Practical Guidelines to Select and Scale Earthquake Records for Nonlinear Response History Analysis of Structures*, Open File Report U.S Departement of the Interior and U.S Geological Survey, USGS and Earthquake Engineering Research Institute.
- Kamgar, Reza. Reza Rahgozar, 2017, Determination of Optimum Location for Flexible Outrigger Systems in Tall Buildings with Constant Cross Section Consisting of Framed Tube, Shear Core, Belt Truss and Outrigger System Using Energy Method, *International Journal of Steel Structures*, 17, 1-8.
- Kim, Han Soo, 2017, Optimum Design of Outriggers in a Tall Building by Alternating Nonlinear Programming, *Advances in Structural Engineering*, 150, 91-97.
- Park, Hyo Seon. Eunseok Lee. Se Woon Choi. Byung Kwan Oh. Tongjun Cho. Yousok Kim, 2016, Genetic Algorithm Based Minimum Weight Design of an Outrigger System for High-Rise Buildings, *Advances in Structural Engineering*, 117, 496-505.
- Pesik. Dkk., 2018, Respon Dinamis Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Outrigger. *Jurnal Sipil Statik, Vol 6. No 3*, 163-174.
- RKPD Kota Surabaya, 2014, Nomor 46 Tahun 2013: *Rencana Kerja Pembangunan Daerah Kota Surabaya*. Walikota Surabaya, Surabaya.
- Setiawan. A, 2016, *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 2013*, Jakarta, Erlangga.
- Tavakoli, Reihaneh. Reza Kamgar. Reza Rahgozar, 2019, Seismic Performance of Outrigger–Belt Truss System Considering Soil–Structure Interaction, *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 11, 45-54.
- University of California, 2018, *PEER Ground Motion Data Base*, Diambil dari Pasific Earthquake Engineering Research Center: <https://ngawest2.berkeley.edu/>, (diakses pada sabtu pada 1 Juni 2018 pukul 09.30 WIB).

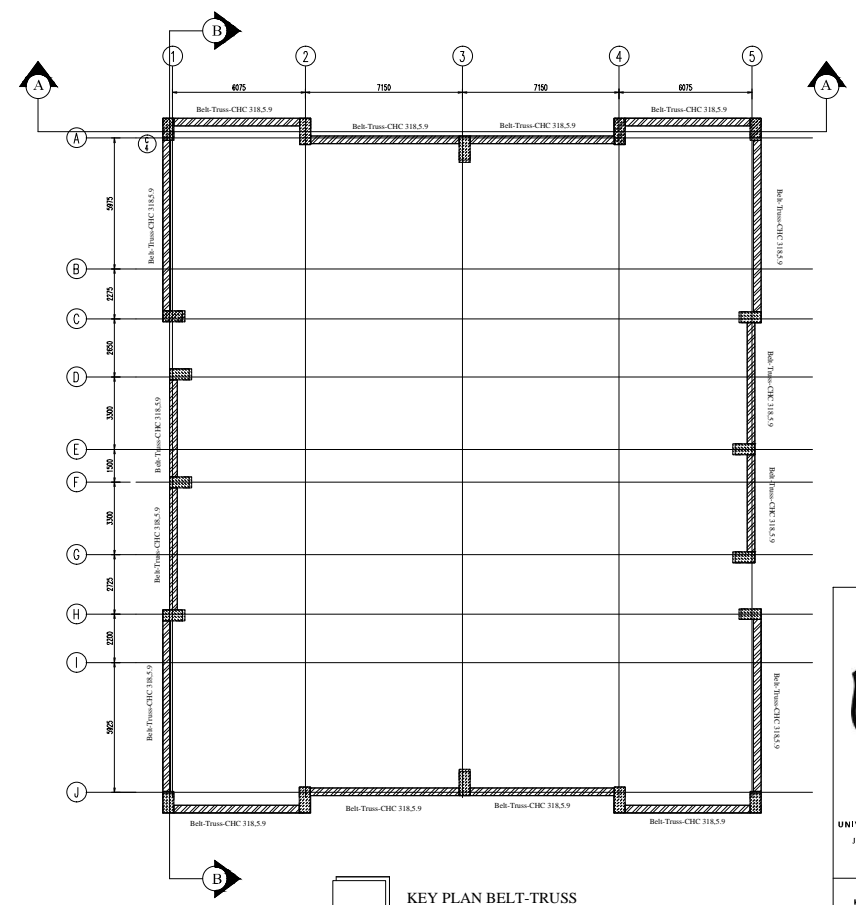


Potongan B  
SKALA 1:25



Potongan A-A  
SKALA 1:400

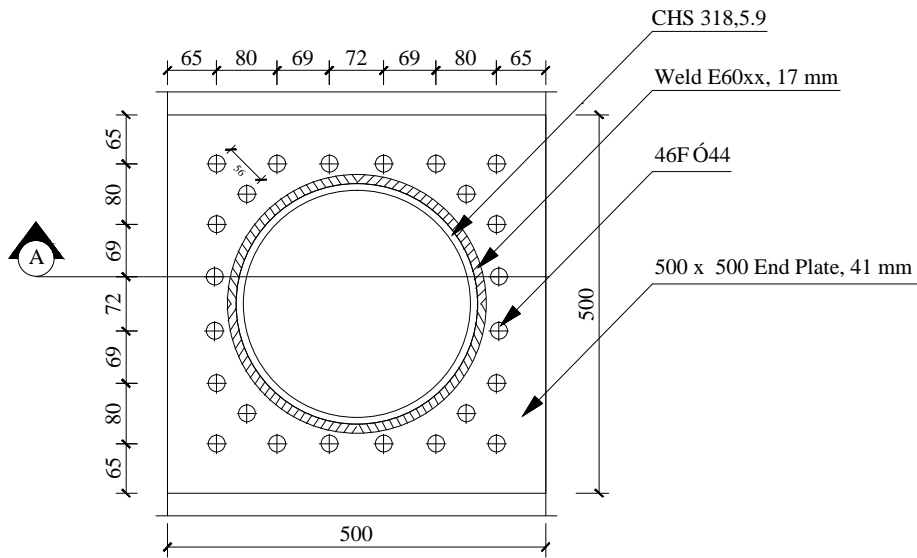
MEMBER SCHEDULE			
MARK	TYPE	SIZE (mm)	MATERIAL
Belt-Truss	Stell Bracing CHS	318.5.9	BJ-55
Connection	Weld	17	E60xx, Fexx = 550 Mpa
Connection	Anchor Bolt	46O44 150 Embedment	BJ-41
Connection	End Plate	500 x 500, t = 41	BJ-41



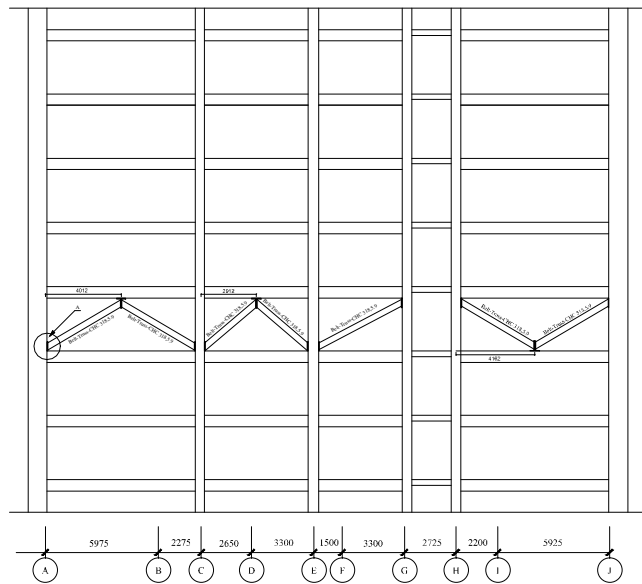
KEY PLAN BELT-TRUSS

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
Jl. Brawijaya, Tamanjito, Kec. Kasihan,  
Kab. Bantul, Prov. D.I. Yogyakarta

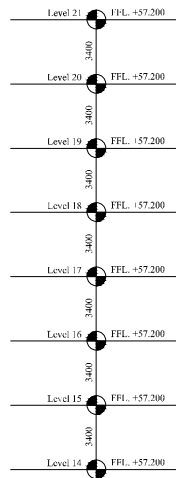
KEGIATAN	
LAMPIRAN TUGAS AKHIR DESAIN BELT-TRUSS	
NAMA GAMBAR	SKALA
BELT-TRUSS	
NOMOR GAMBAR	NOMOR HALAMAN
1	220
JUMLAH GAMBAR	
3	



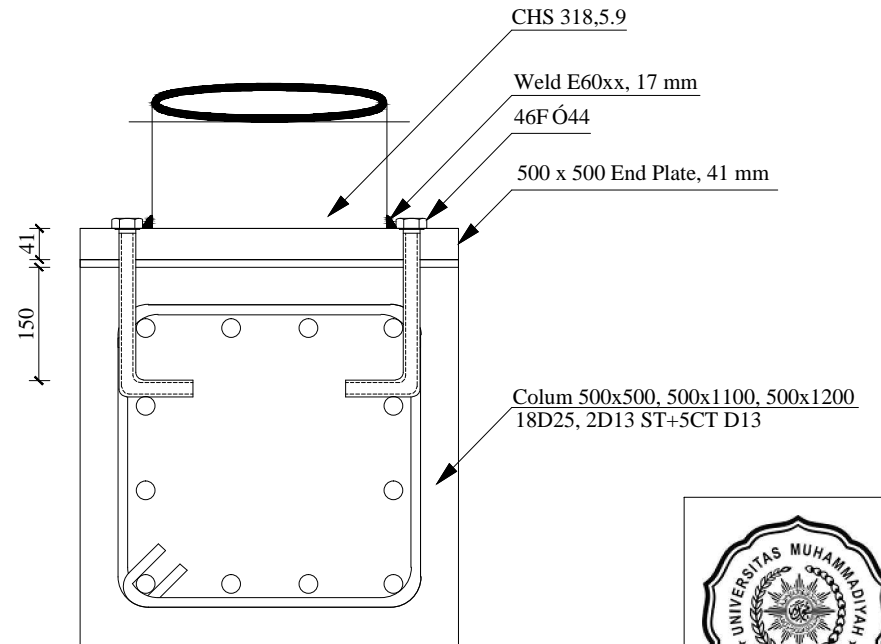
Potongan A  
SKALA 1:10



Potongan B-B  
SKALA 1:400



MEMBER SCHEDULE			
MARK	TYPE	SIZE (mm)	MATERIAL
Belt-Truss	Stell Bracing CHS	318.5,9	BJ-55
Connection	Weld	17	E60xx, Fexx = 550 Mpa
Connection	Anchor Bolt	46Ø44 150 Embedment	BJ-41
Connection	End Plate	500 x 500, t = 41	BJ-41



DETAIL POTONGAN A  
SKALA 1:10



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
Jl. Brawijaya, Tamaniito, Kec. Kasihan,  
Kab. Bantul, Prov. D.I. Yogyakarta

KEGIATAN  
LAMPIRAN TUGAS AKHIR DESAIN BELT-TRUSS

NAMA GAMBAR  
BELT-TRUSS

SKALA

NOMOR GAMBAR  
2

NOMOR HALAMAN

JUMLAH GAMBAR  
3

221

