

PENATAAN ELEMEN STRUKTURAL UNTUK MENYEDERHANAKAN PERILAKU DINAMIK, DALAM KETERPADUAN DENGAN DESAIN ARSITEKTUR

Bisatya W. Maer, Benjamin Lumantarna, Joyce M. Laurens
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra Surabaya
Email: mbm@petra.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan penataan elemen struktural yang dapat lebih efektif menyederhanakan perilaku dinamik struktur terhadap gempa bumi, dan tidak merusak keterpaduan antara rancangan arsitektural dengan rancangan struktural. Sebagai studi kasus digunakan prototipe yang merupakan bagian *tower* dari Gedung Intiland Tower Jakarta. Penelitian diawali dengan membuat dan menganalisis model eksisting dan tiga buah model perubahan tata letak elemen struktural untuk mendapatkan perbandingan defleksi lateral dari model-model tersebut. Perbandingan tersebut menunjukkan tingkat efektifitas tata letak elemen struktural dalam menyederhanakan perilaku dinamik, sementara pengaruhnya terhadap tingkat keterpaduan dievaluasi dengan metode deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada dua model eksperimen yang signifikan mengurangi defleksi lateral dan satu diantaranya tidak mengganggu keterpaduan rancangan arsitektural.

Kata kunci: Tata letak elemen struktural, keterpaduan, struktur, desain arsitektur.

ABSTRACT

This research is aimed to obtain the structural element's layout to simplify the dynamic behavior against earthquake without disturbing the integration between architectural design and structural design. As a case study a prototype tall building which is the tower part of Intiland Tower, Jakarta is considered. Research is started by making and analyzing existing models and three rearranged structural elements layout models to obtain the lateral deflection comparisons of those models. The comparisons show the effectiveness of structural layout in simplifying the dynamic behavior, while its influences toward the integrity level with architectural design is evaluated using descriptive method. The results show that the two experiment models could minimize lateral deflection quite significantly, one of which does not disturb the integrity of the architectural design.

Keywords: Structural element layout, integration, structure, architectural design.

PENDAHULUAN

Problem umum perancangan arsitektur bangunan dalam hubungannya dengan perancangan struktur adalah perbedaan kemauan arsitek dengan perancang struktur. Menurut Wangsadinata (1986) sebagai perancang struktur Gedung Intiland Tower Jakarta (GITJ) yang digunakan sebagai sudi kasus dalam penelitian ini, kemauan arsitek dan perancang struktur telah terakomodasi dengan baik, karena arsitek dan perancang struktur berangkat dari pendekatan perancangan yang sama, yaitu: ruang, bentuk dan struktur dikembangkan secara terpadu. Bila dilihat dari wujud bangunan yang ada, nampak sekali bahwa arsitek bangunan GITJ mempunyai keleluasaan yang luas dalam menuangkan ide-idenya (Gambar 1), sehingga menghasilkan bentuk bangunan tinggi yang unik dan kompleks. Ditinjau dari teori Arnold (1982) kompleksitas bentuk bangunan tersebut termasuk dalam "konfigurasi" yang tidak beraturan terhadap

gempa bumi. "Konfigurasi" bangunan tidak beraturan dapat mengakibatkan perilaku dinamik struktur terhadap gempa menjadi kompleks. Penulis tertarik untuk melakukan penelitian perilaku struktur bangunan GITJ dengan fokus hanya pada towernya saja, maka bentuk asli bangunan GITJ dimodifikasi dengan menghilangkan sayap-sayap podium (Gambar 1). Karena karya arsitektur merupakan kesatuan yang utuh, maka dalam pembahasan keterpaduan struktur dengan desain arsitektur tetap ditinjau seluruh bangunan, dengan asumsi tidak ada perubahan tata letak arsitektural eksisting.

Penulis melihat ada peluang untuk merancang tata letak elemen struktural yang lebih efektif untuk menyederhanakan perilaku dinamik struktur GITJ yang dimodifikasi (GITJ-M) dengan tidak merubah karakter tampilan arsitektur *tower* nya. Bertolak dari hal tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Bagaimana pola tata letak elemen struktural pada bangunan GITJ-M yang dapat lebih menyejahterakan perilaku dinamik akibat gempa bumi.
- Bagaimana pengaruh perubahan tata letak elemen struktural pada bangunan GITJ-M terhadap keterpaduan rancangan arsitektur dan struktur?

Untuk menguji efektifitas penataan elemen struktural, dibuat model-model eksperimen perubahan tata letak elemen-elemen struktural yang seminimal mungkin mengakibatkan perubahan karakter tampilan arsitekturnya, yaitu dengan menempatkan elemen-elemen struktural sedapat mungkin pada posisi yang sudah ada dindingnya. Efektifitas tersebut diukur dari perbandingan antara besarnya defleksi lateral maksimal yang terjadi pada model eksisting dibandingkan dengan yang terjadi pada model-model eksperimen. Sedangkan keterpaduan perancangan arsitektur dievaluasi dengan metode diskriptif.

RANCANGAN ARSITEKTUR GEDUNG INTILAND TOWER JAKARTA

Bangunan GITJ (dahulu bernama Wisma Dharmala Sakti) berlokasi di jalan Sudirman 32, Jakarta, merupakan bangunan kantor pusat PT. Intiland. Di dalamnya terdapat juga perkantoran sewa serta sejumlah fasilitas pelengkap seperti bank dan restoran. Gedung ini dirancang pada tahun 1982 oleh Paul Rudolph (USA) sebagai perancang arsitektur, dan PT. Wiratman & Rekan (Jakarta) sebagai perancang struktur. GITJ merupakan bangunan *tower* 27 lantai, dengan ketinggian 112,20 m, terdiri atas lantai tipikal (20 lantai), lantai podium (7 lantai) dengan total luas lantai sebesar 45.260 m².

Untuk dapat mempertahankan keterpaduan rancangan arsitektur dan struktur, perlu diidentifikasi keunikan ekspresi arsitektur GITJ. Keunikan tersebut dapat diidentifikasi melalui perbandingan rancangan GITJ dengan karya-karya Paul Rudolph yang lain. Karya pembanding dipilih berdasarkan:

- Kurun waktu perancangannya berdekatan dengan waktu perancangan GITJ, dengan asumsi gaya perancangan Paul Rudolph tidak mengalami perubahan.
- Fungsi bangunan sejenis.
- Bangunan berada di negara dengan rumpun budaya yang sama.
- Lokasi berada di lingkungan yang sejenis.

Dipilih Concourse Building di Singapura (CBS) dan Bond Centre di Hongkong (BCH). Waktu perancangan GITJ adalah tahun 1982, Concourse Building tahun 1981, dan Bond Centre tahun 1984. Fungsi se-

bagian besar ketiga bangunan tersebut adalah perkantoran, berada di lingkungan pusat perdagangan yang sibuk, dan berada di benua Asia (Gambar 2, 3, 4).

Dari studi perbandingan ini, dapat diidentifikasi ada beberapa kesamaan ekspresi eksterior yang unik dan selalu ada pada ketiga rancangan Paul Rudolph, sehingga penulis menyimpulkannya sebagai keunikan rancangan GITJ. Kesimpulan ini akan dirangkum dalam pembahasan selanjutnya.

Selain dari studi perbandingan, keunikan ekspresi bangunan lebih jauh diidentifikasi melalui pengamatan di tempat, terutama di dalam interior bangunan dan dari gambar-gambar rancangan GITJ. Hasilnya menunjukkan bahwa ekspresi arsitektur yang menonjol adalah skala dan kontinuitas ruang. Skala ruang diidentifikasi dari ukuran tinggi dan luas ruang-ruang, sedangkan kontinuitas ruang diidentifikasi dari *spatial interpenetration* antar ruang-ruang (Gambar 5, 6, 7).

Dari kajian tersebut, dapat disimpulkan keunikan ekspresi rancangan GITJ sebagai berikut:

- Skala ruang manusiawi pada lingkungan terbentuk karena adanya atrium terbuka yang diorientasikan ke arah trotoir jalan raya, dan dibentuk oleh massa podium. Atrium terbuka tersebut berfungsi sebagai ruang penerima atau ruang transisi dari lingkungan luar bangunan menuju ke bangunan.
- Hirarki ruang terbentuk dari susunan ruang yang mempunyai perbedaan dimensi (luas dan tinggi).
- Kolom-kolom ganda ditonjolkan dari lantai dasar sampai ke puncak. Di bagian podium, kolom-kolom ganda berukuran sangat langsing dan panjang menembus atrium terbuka.
- Tampak bangunan secara visual terbagi menjadi dua kelompok, yaitu bagian tipikal dan bagian podium. Bagian tipikal terdiri dari tiga bentuk denah yang disusun membentuk sebuah unit, dan unit-unit tersebut disusun ke atas secara repetitif.
- *Spatial interpenetration* menghasilkan hubungan ruang yang kontinu secara horisontal dan vertikal.

Kesimpulan tentang keunikan ekspresi bangunan GITJ tersebut di atas akan menjadi acuan dalam pembuatan model eksperimen. Perubahan tata letak elemen struktural diusahakan agar semaksimal mungkin tidak mengubah keunikan ekspresi tersebut. Untuk itu hal-hal yang harus dipertahankan adalah:

- Keterbukaan atrium diorientasikan ke arah trotoir, sehingga tidak boleh ada penghalang tambahan pada bagian depan bangunan.
- Skala ruang.
- Pengelompokkan dan repetisi pada tampak.
- Kontinuitas ruang.
- Kelangsingan kolom-kolom ganda.

PEMAHAMAN "KONFIGURASI" BANGUNAN

Gempa merupakan beban dinamik yang pengaruhnya terhadap bangunan lebih dominan pada arah lateral dibandingkan pada arah vertikal. Arnold (1982), mengelompokkan elemen struktural pendukung gaya lateral menjadi tiga, yaitu: *Cantilever Wall*, *Braced Frame*, *Moment-resisting Frame*. Disamping tiga elemen tersebut ada bidang diafragma horisontal yang meratakan beban-beban lateral agar dapat mencapai masing-masing elemen penahan gaya lateral. Elemen-elemen struktural penahan gaya lateral tersebut bersama dengan tata ruang dan bentuk bangunan serta elemen-elemen non-struktural, secara keseluruhan membentuk "konfigurasi bangunan" yang mencakup: bentuk/proporsi/ukuran bangunan; tata letak elemen-elemen struktural; tata letak elemen-elemen non struktural.

Perilaku struktur akibat konfigurasi bangunan yang tidak beraturan dijelaskan dengan teori Arnold¹ dan Charleson³:

1. Torsi:

Torsi terjadi karena pusat massa (*centre of mass* = CoM) bangunan tidak berimpit dengan pusat perlawanan lateral (*lateral resistant*) atau pusat rotasi (*centre of rotation* = CoR). Posisi CoM dipengaruhi oleh penyebaran beban mati dan beban hidup dalam denah tiap-tiap lantai, sedangkan posisi CoR dipengaruhi oleh tata letak elemen-elemen struktural penahan gaya lateral. Beban gempa bekerja di CoM, sedangkan resultan perlawanan struktur bekerja di CoR. Apabila CoM dan CoR tidak berimpit terjadi torsi pada denah bangunan (Gambar 8).

2. *Soft storey*

Soft storey merupakan problem struktural yang disebabkan oleh diskontinuitas kekuatan dan kekakuan struktur yang signifikan bila ditinjau pada penampang vertikal bangunan (Gambar 9), dimana terdapat satu tingkat/lebih yang sangat lemah (atau lebih fleksibel, menurut Charleson, 2008) dibandingkan dengan tingkat-tingkat yang di atasnya. Ciri-ciri dari konfigurasi ini adalah salah satu atau beberapa tingkat (pada umumnya lantai dasar) mempunyai ukuran lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat-tingkat di atasnya, atau bentang baloknya lebih lebar dari tingkat-tingkat di atasnya, sehingga kekakuan struktur pada tingkat ini jauh lebih kecil.

IDENTIFIKASI MASALAH "KONFIGURASI" BANGUNAN GITJ-M

Identifikasi didasarkan definisi Arnold¹, yaitu berdasarkan bentuk, dimensi, proporsi massa bangun-

an, serta tata letak elemen struktural, dan tata letak elemen nonstruktural. Dari segi bentuk (Gambar 10):

- Bentuk garis besar (*outline*) denah *tower* cukup beraturan.
- Bentuk denah lantai-lantai podium tidak beraturan, distribusi massa (beban mati dan beban hidup) tidak simetri terhadap struktur pendukung.
- Dimensi void di lantai-lantai podium pada umumnya luas dan bentuknya tidak beraturan, hal ini mengurangi kekakuan bidang diafragma, selain itu mengakibatkan penyebaran beban gravitasi tidak merata dan tidak simetri pada tiap-tiap denah podium.

Dari segi tata letak elemen struktural (Gambar 11):

- Hasil perhitungan dengan *software* ETABS (2005) memperlihatkan bahwa pada sumbu Y (tegak lurus gempa arah sumbu X), posisi *cantilever core* jauh dari CoM. Eksentrisitas maksimal sebesar 10,13 m di lantai tipikal 8, dan di podium sebesar 10,01 m di lantai 6.
- Pada sumbu X (tegak lurus gempa arah sumbu Y), posisi *cantilever core* di lantai-lantai tipikal relatif simetri, sedangkan di podium terdapat ekesentrisitas karena posisi *cantilever core* -3 asimetri. Eksentrisitas di lantai tipikal terbesar berada di lantai 7 sebesar 0,30 m, dan di podium eksentrisitas terbesar berada di lantai 4 sebesar 4,65 m.

Kesimpulan "konfigurasi" bangunan:

1. Torsi terjadi karena posisi *cantilever core* eksentris terhadap CoM, terutama sangat signifikan pada sumbu Y. Dengan demikian torsi terbesar adalah akibat gempa dari arah tegak lurus sumbu Y, yaitu dari arah sumbu X. Sedangkan pada sumbu X eksentrisitas sangat kecil, maka torsi akibat gempa dari arah sumbu Y tidak signifikan.
2. *Soft storey*, terjadi karena adanya kolom-kolom ganda yang sangat langsing. Di podium terdapat kolom setinggi 31 m dengan diameter 1,30 m, jauh lebih langsing dari pada kolom-kolom tipikal di atasnya dengan tinggi 4 m dengan diameter yang sama (Gambar 10,12,14). Menurut Wangsadinata (1986), rancangan struktur GITJ-M mengantisipasi *soft storey* dengan memanfaatkan *core* -3 setinggi podium sebagai *cantilever core*, dan merancang semua kolom ganda di podium dengan *steel reinforced concrete* (komposit).

Dari dua butir kesimpulan di atas, maka masalah torsi adalah yang signifikan terjadi pada struktur GITJ-M dan menjadi fokus penelitian selanjutnya.

PEMODELAN STRUKTUR

Rancangan Tata Letak Elemen Struktural

Rancangan tata letak elemen struktural bertolak dari:

- Batasan dan lingkup pembahasan.
- Rumusan masalah dan kesimpulan dari identifikasi masalah struktural.
- Kesimpulan tentang kekhasan ekspresi arsitektural GITJ.
- Organisasi dan program ruang.

Charleson³ menawarkan konsep penyederhanaan perilaku torsi dengan cara meminimalkan eksentrisitas. Penerapan konsep Charleson dalam pembuatan model struktur eksperimen diterapkan dengan memindahkan *cantilever core* mendekati pada CoM. Agar pemindahan posisi *cantilever core* tersebut tidak mengubah ekspresi arsitektural yang ada, maka diusahakan untuk:

- memindahkan *cantilever core* pada dinding non struktural yang sudah ada
- tidak menambahkan *cantilever core* yang menghalangi keterbukaan atrium ke arah trotoir
- tidak ada penambahan *cantilever core* yang mengakibatkan terputusnya kontinuitas ruang
- tidak ada penambahan *cantilever core* pada fasad bangunan
- tidak terjadi perubahan skala yang signifikan akibat penempatan *cantilever core*; tidak ada penambahan dimensi kolom-kolom ganda
- sedapat mungkin tidak mengubah organisasi dan program ruang.

Model Eksisting (Gambar 13,14)

Dalam denah eksisting, dinding nonstruktural permanen yang berdiri dari lantai dasar sampai puncak bangunan adalah: dinding-dinding *shaft* utilitas, dan dinding-dinding tangga -2 yang posisinya berada dekat CoM. Artinya pemindahan posisi *cantilever core* yang dapat memenuhi tuntutan di atas hanya di daerah sekitar *shaft* utilitas dan dinding-dinding tangga -2 saja.

Ditemukan tiga alternatif tata letak elemen struktural, yaitu: model eksperimen 1, model eksperimen 2, dan model eksperimen 3. Pada model eksperimen 1 di lantai dasar, lantai 5, dan lantai 6 ada perubahan denah di area toilet, yang seharusnya tanpa toilet menjadi ada dinding *cantilever core* (gambar 14 dan 16). Karena hasil analisis model eksperimen 1 menunjukkan peningkatan kekakuan yang signifikan, maka alternatif ini ditampilkan untuk memperlihatkan ada model yang paling ideal dari segi penataan elemen struktural. Dari sudut pandang keterpaduan antara struktur dengan desain arsitektur, hal ini bermanfaat untuk bahan konsultasi/negosiasi dengan arsitek pada proses desain awal.

Model Eksperimen 1 (Gambar 15,16)

Pada model ini dinding-dinding toilet, dinding *core* tangga-2, dan dinding-dinding tangga -3 setinggi podium dimanfaatkan sebagai *cantilever core*. Sedangkan struktur *core lift* -1 diubah menjadi *moment resisting frame* yang diisi dengan dinding non struktural.

Model Eksperimen 2 (Gambar 17,18)

Dalam model ini dicoba untuk menghindari penggunaan dinding-dinding toilet sebagai *cantilever core*. Yang dimanfaatkan sebagai *cantilever core* pada model ini dinding-dinding *core* tangga -2, semua *shaft* toilet, dinding *core* tangga -3 setinggi podium, dan sebagian *lift core* -1 yang posisinya paling mendekati pusat denah. Sisa *lift core* diubah menjadi *moment resisting frame* yang diisi dengan dinding nonstruktural.

Model Eksperimen 3 (Gambar 19, 20)

Dalam model ini dicoba untuk tidak memanfaatkan sama sekali *lift core* sebagai *cantilever core*, dengan harapan CoR semakin bergeser mendekati CoM pada sumbu Y, tetapi dengan resiko kekakuan *core* tidak cukup besar untuk mengurangi defleksi lateral. Pada model ini dinding-dinding *core* tangga -2 dan semua *shaft* toilet, serta dinding *core* tangga -3 setinggi podium dimanfaatkan sebagai *cantilever core*.

Model eksisting, model eksperimen 1, 2 dan 3 dianalisis dengan software ETABS v. 9.05⁴ dengan masukan yang sama:

- Beban gempa berdasarkan respon spektrum wilayah 3, Jakarta, tanah lunak, menurut SNI 03-1726-2002,
- Bahan *cantilever core* dan kolom-kolom untuk semua model sama yaitu dari beton bertulang.
- Dimensi penampang tiap-tiap *cantilever core* dan tiap kolom-kolom untuk semua model diasumsikan sama dari lantai dasar hingga puncak bangunan.
 - Pada model eksisting tebal dinding *lift core* -1 = 60 cm dan 65 cm (Gambar 23); tebal dinding *core* tangga -2 dan 3 = 40 cm.
 - Pada model eksperimen 1, 2, dan 3 tebal dinding *core* -2 = 40 cm; dinding toilet = 15 cm, dan dinding *core* -3 = 40 cm, masing-masing *core* tersebut berfungsi sebagai *cantilever core*.
 - Diameter kolom podium lantai 1 sampai dengan lantai 6 untuk kolom-kolom eksterior 120 cm, kolom-kolom interior 130 cm.
 - Diameter kolom lantai-lantai tipikal 120 cm

- Semua dinding nonstruktural dimodelkan sebagai beban merata garis, tegak lurus pada bidang lantai.

HASIL ANALISIS

Besarnya defleksi struktur dapat dilihat dari perpindahan titik (*point displacement*) tiap-tiap lantai menurut arah beban gempa (spektrum respons) yang ditinjau. Dalam penelitian ini ditinjau arah gempa menurut sumbu X dan sumbu Y di lantai 22 yang merupakan puncak struktur utama.

Analisis ini akan menampilkan besarnya perpindahan titik lateral maksimal, yaitu di salah satu titik terjauh dari CoR, dan selisih perpindahan titik lateral maksimal antara dua titik terjauh untuk mengetahui besarnya pengaruh torsi. Titik yang terjauh dari CoR yang ditinjau adalah titik 1. Titik yang terjauh terhadap titik 1 adalah titik 399 (Gambar 21).

Perpindahan titik lateral maksimal di lantai 22 terhadap gempa arah sumbu X di titik 1 dan 399, ada di dalam Tabel 1, sedangkan terhadap gempa arah sumbu Y ada di dalam Tabel 2. Urutan besarnya defleksi lateral maksimal terhadap gempa arah sumbu X di titik 1 sebagai berikut: model eksisting = 12,67 cm; model eksperimen 2 = 12,16 cm; model eksperimen 3 = 11,32 cm; model eksperimen 1 = 9,65 cm. Urutan besarnya defleksi lateral maksimal terhadap gempa arah sumbu Y di titik 1 sebagai berikut: model eksperimen 3 = 9,534 cm; model eksperimen 1 = 9,515 cm; model eksperimen 2 = 8,8 cm; pada model eksisting = 7,78 cm.

Terhadap gempa arah sumbu X, defleksi terbesar pada model eksisting, dan defleksi terkecil pada model eksperimen 1. Hasil ini menunjukkan bahwa terhadap gempa arah sumbu X, model eksisting

mempunyai kekakuan struktur terkecil dan model eksperimen 1 mempunyai kekakuan struktur terbesar. Terhadap gempa arah sumbu Y, defleksi terbesar pada model eksperimen 3, dan terkecil pada model eksisting. Hasil ini menunjukkan bahwa terhadap gempa arah sumbu Y, model eksisting mempunyai kekakuan struktur terbesar dan model eksperimen 3 mempunyai kekakuan struktur terkecil. Dengan pemahaman bahwa defleksi model eksisting (sumbu X dan Y) dirancang tidak melampaui defleksi yang diijinkan, maka besarnya defleksi maksimal model eksisting arah sumbu X = 12,67 cm dijadikan acuan. Dari table 2 terlihat defleksi semua model eksperimen arah sumbu Y tidak melampaui angka tersebut, sehingga dapat disimpulkan kekakuan semua model eksperimen pada arah sumbu Y masih didalam batas yang disyaratkan. Selisih defleksi di titik 1 dan di titik 399 menunjukkan besarnya pengaruh torsi, Tabel 1 memperlihatkan semua model eksperimen lebih baik dari model eksisting

KONTROL DIMENSI KOLOM

Karena penelitian ini bukan perancangan struktur, maka untuk mengontrol besarnya dimensi kolom, dipakai acuan besarnya momen dan gaya geser yang bekerja pada kolom-kolom kritis model eksisting. Besarnya momen dan gaya geser yang bekerja pada kolom-kolom kritis model eksisting tidak boleh dilampaui oleh besarnya momen dan gaya geser kritis model-model eksperimen. Kolom -1 (Gambar 21) dipilih sebagai kolom kritis yang ditampilkan. Tabel 3 dan Tabel 4 menampilkan besarnya momen dan gaya geser kolom -1 dari lantai 1 sampai dengan lantai 8, dimana terdapat momen dan gaya geser paling signifikan.

Tabel 1. Defleksi Lateral Maksimal di Titik (1) Dan (399), pada Denah Lantai 22 Akibat Gempa Arah Sumbu X

Storey	Point	Load	Eksisting	Model 1	Model 2	Model 3
			UX (cm)	UX (cm)	UX (cm)	UX (cm)
22	1	SPECX	12,67	9,65	12,16	11,32
22	399	SPECX	5,52	8,15	7,7	8,19
Selisih defleksi			7,15	1,5	4,46	3,13

Catatan:

SPECX = Spektrum respon arah sumbu X

UX = Defleksi lateral arah sumbu X, dalam cm

Tabel 2. Defleksi Lateral Maksimal di Titik (1) dan (399), pada Denah Lantai 22 Akibat Gempa Arah Sumbu Y

Storey	Point	Load	Eksisting	Model 1	Model 2	Model 3
			UY (cm)	UY (cm)	UY (cm)	UY (cm)
22	1	SPEC90	7,78	9,51	8,8	9,53
22	399	SPEC90	7,78	9,53	8,7	9,55
Selisih defleksi			0	-0,02	-0,1	-0,02

Catatan:

SPEC90 = Spektrum Respon arah sumbu Y

UY = Defleksi lateral arah sumbu Y, dalam cm

Hasil analisis memperlihatkan bahwa terhadap gempa arah sumbu X, besarnya momen dan gaya geser maksimal kolom pada model eksperimen 1 dan model eksperimen 3 di kolom-1, lebih kecil dibandingkan dengan yang bekerja di model eksisting, sedangkan pada model eksperimen 2 besarnya momen maksimal dilantai 5 dan gaya geser maksimal di lantai 7 lebih besar dari yang bekerja di model eksisting (dalam tabel 3 terlihat pada angka-angka yang di *bolt*). Terhadap gempa arah sumbu Y, besarnya momen dan gaya geser maksimal kolom-1 pada semua model-model eksperimen menunjukkan nilai yang lebih besar daripada yang bekerja di model eksisting (dalam tabel 4 terlihat pada angka-angka yang di *bolt*). Hal ini disebabkan pada arah sumbu Y, dinding *cantilever core* model eksisting dimensinya lebih besar/lebar dibandingkan dengan model-model eksperimen 1, 2 dan 3 sehingga menghasilkan kekakuan lebih besar. Namun momen (M_x) dan gaya geser (V_y) akibat gempa arah sumbu Y pada model-

model eksperimen tidak melampaui momen dan gaya geser maksimal model eksisting pada arah sumbu X (dapat dilihat perbandingannya dalam Tabel 3 dan Tabel 4). Karena penampang melintang kolom dirancang simetri ke semua arah (Gambar 22), maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas kolom-kolom eksisting tidak dilampaui oleh momen dan gaya-gaya geser model-model eksperimen. Model yang memiliki kinerja struktural terbaik adalah model eksperimen 1, disusul model eksperimen 3. Sedangkan model eksperimen 2 tidak lebih baik dari model eksisting. Dalam hal kekakuan, model eksperimen 2 lebih baik dari model eksisting, tapi momen dan gaya geser maksimal di kolom-1 model eksperimen 2 lebih besar dari yang terjadi pada model eksisting. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mengetahui apakah penambahan kekuatan kolom-kolom podium model eksperimen 2 perlu merubah dimensi penampangnya atau tidak.

Tabel 3. Momen Maksimal dan Gaya Geser Maksimal pada Kolom (1) di Lantai 1 s/d Lantai 8 Terhadap Gempa Arah Sumbu X

	Model Eksisting	Model Eksperimen 1	Model Eksperimen 2	Model Eksperimen 3
Momen maksimal kolom (1) - lantai 8	11.303.688 kgf cm	8.277.15 kgf cm	11.029.441 kgf cm	9.747.973 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 7	9.760.684 kgf cm	7.908.428 kgf cm	10.775.484 kgf cm	9.453.449 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 6	14.903.97kgf cm	10.444.607 kgf cm	14.871.722 kgf cm	13.789.679 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 5	15.274.904 kgf cm	10.718.420 kgf cm	15.384.526 kgf cm	14.184.791 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 4	9.151.884 kgf cm	6.697.110 kgf cm	9.268.223 kgf cm	8.559.396 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 3	5.808.331 kgf cm	4.759.592 kgf cm	6.562.083 kgf cm	6.079.934 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 2	11.780.438 kgf cm	7.628.186 kgf cm	11.238.702kgf cm	10.021.264 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 1	12.582.160 kgf cm	8.611.981 kgf cm	12.817.55 kgf cm	11.200.798 kgf cm
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 8	58.116 kgf	42.833 kgf	57.690 kgf	51.316 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 7	54.302 kgf	43.055 kgf	59.918 kgf	53.366 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 6	51.665 kgf	35.646 kgf	51.595 kgf	47.808 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 5	49.252 kgf	34.345 kgf	49.874 kgf	46.017 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 4	43.835 kgf	32.056 kgf	45.916 kgf	41.695 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 3	13.447 kgf	10.966 kgf	15.464 kgf	13.990 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 2	26.838 kgf	15.987 kgf	23.991 kgf	20.965 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 1	32.533 kgf	22.450 kgf	33.954 kgf	29.278 kgf

Tabel 4. Momen Maksimal dan Gaya Geser Maksimal pada Kolom (1) di Lantai 1 s/ Lantai 8 Terhadap Gempa Arah Sumbu Y

	Model Eksisting	Model Eksperimen 1	Model Eksperimen 2	Model Eksperimen 3
Momen maksimal kolom (1) - lantai 8	2.441.690 kgf cm	2.377.288 kgf cm	3.389.053 kgf cm	2.904.688 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 7	1.533.733 kgf cm	1.606.714 kgf cm	2.591.107 kgf cm	2.188.983 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 6	1.053.103 kgf cm	1.402.275 kgf cm	2.480.851 kgf cm	2.411.890 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 5	1.534.596 kgf cm	1.700.532 kgf cm	3.108.391 kgf cm	2.734.564 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 4	4.012.579 kgf cm	4.409.537 kgf cm	5.476.793 kgf cm	4.989.743 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 3	3.198.370 kgf cm	4.179.057 kgf cm	5.092.309 kgf cm	4.743.445 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 2	821.747 kgf cm	1.033.559 kgf cm	2.658.304 kgf cm	1.766.042 kgf cm
Momen maksimal kolom (1) - lantai 1	530.522 kgf cm	1.905.203 kgf cm	1.863.119 kgf cm	2.655.956 kgf cm
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 8	12.650 kgf	12.486 kgf	17.593 kgf	15.156 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 7	9.138 kgf	9.903 kgf	15.389kgf	13.060 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 6	3.642 kgf	4.832 kgf	8.434 kgf	8.301 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 5	4.444 kgf	5.085 kgf	9.171 kgf	8.412 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 4	13.237 kgf	13.216 kgf	17.829 kgf	15.411 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 3	12.671 kgf	17.890 kgf	20.666 kgf	19.955 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 2	5.955 kgf	6.057 kgf	8.480 kgf	7.212 kgf
Gaya geser maksimal kolom (1) - lantai 1	1.332 kgf	4.673 kgf	4.770 kgf	6.744 kgf

Tebal dinding *cantilever core* 1 model eksisting lihat Gambar 23, eksperimen 2 = 40 cm

Tebal dinding *cantilever core* 2 semua model eksperimen = 40 cm, dinding toilet model eksperimen 1 = 15 cm, dinding shaft model eksperimen 1, 2 dan 3 = 15 cm

Tebal dinding *cantilever core* 3 semua model eksperimen = 40 cm

KESIMPULAN KETERPADUAN

Pengaruh pemindahan *cantilever core* terhadap keterpaduan perancangan arsitektur (Tabel 5):

Tabel 5. Kesimpulan Pengaruh Penataan Struktur Terhadap Keterpaduan

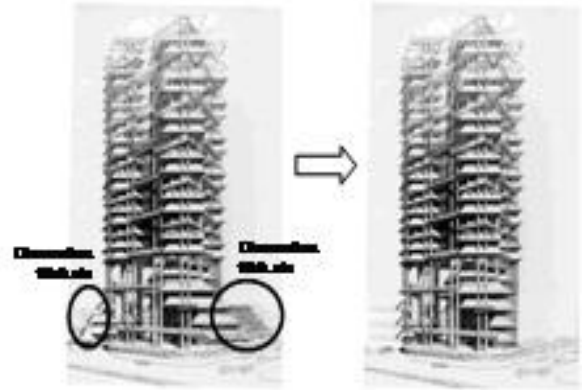
Model Eksperimen 1	Model Eksperimen 2	Model Eksperimen 3
Perubahan S T.S	Perubahan S T.S	Perubahan S T.S
Perubahan ujung core tangga (2)	Perubahan ujung core tangga (2)	Perubahan ujung core tangga (2)
Perubahan dinding toilet menjadi cantilever core, ●	-	-
-	Perubahan tebal dinding core tangga (3), tidak signifikan ●	Perubahan tebal dinding core tangga (3), tidak signifikan ●
-	Kejujuran tampilan struktur pada core lift (1)	Kejujuran tampilan struktur pada core lift (1) ●

Catatan: S = signifikan TS = tidak signifikan

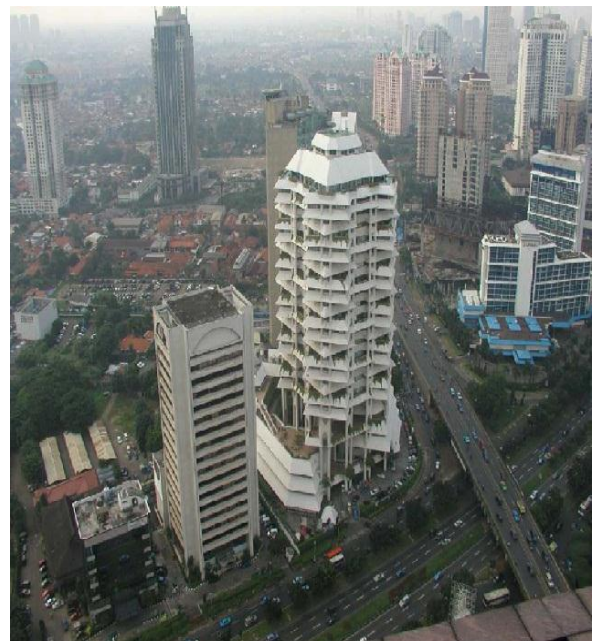
REKOMENDASI

1. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa perancang struktur dapat memanfaatkan penataan elemen struktural untuk mengendalikan perilaku dinamik struktur terhadap gempa. Dengan penataan elemen struktural yang tepat, keterpaduan dengan rancangan arsitektur bisa sangat optimal.
2. Bagi para arsitek, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa arsitek mempunyai keleluasaan untuk berkreasi pada saat merancang bangunan tinggi sampai dengan ketinggian sekitar 27 lantai, selama kerjasama arsitek dengan perancang struktur dilakukan secara kontinyu, dengan baik dan terpadu sejak penyusunan rancangan skematik.

3. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan penelitian:
 - a. Kekuatan elemen-elemen struktural dari model-model eksperimen.
 - b. Tingkat efisiensi penggunaan material akibat perubahan tata letak elemen struktural.



Gambar 1. Asumsi Penyederhanaan Bentuk Tower



Sumber: Company Profile PT Intiland

Gambar 2. GITJ dalam lingkungan

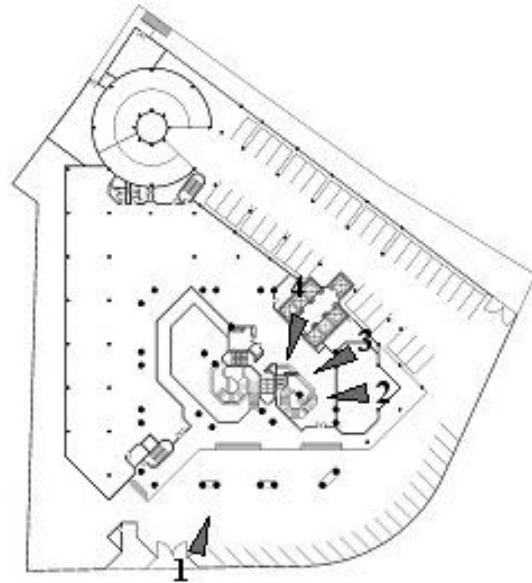


Gambar 3. CBS dalam lingkungan.

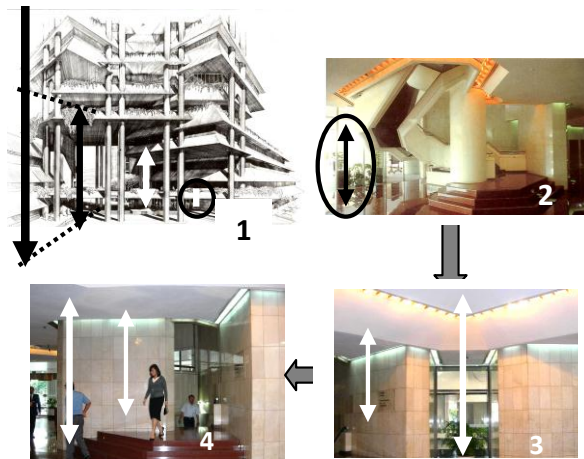


Sumber: De Alba⁴

Gambar 4. BCH dalam lingkungan

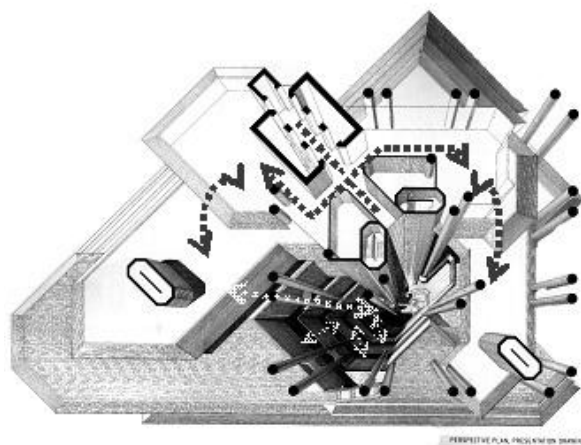


Gambar 5. Denah Lantai Dasar GITJ



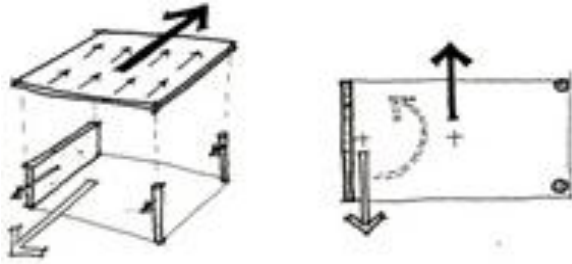
Sumber: Majalah Mimar 30, Desember 1988

Gambar 6. Skala Ruang, Hirarki dari Hall Eksterior ke Hall Interior.



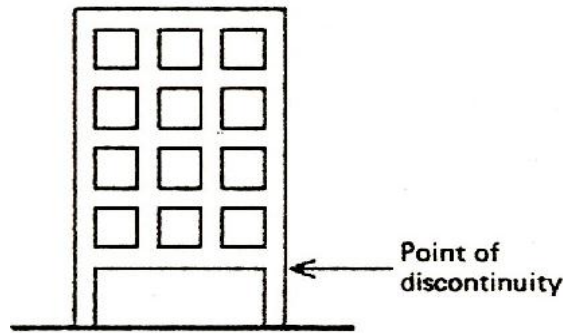
Sumber: De Alba⁴

Gambar 7. Spatial Interpenetration pada Lantai-lantai Di bawah Lantai-lantai Tipikal



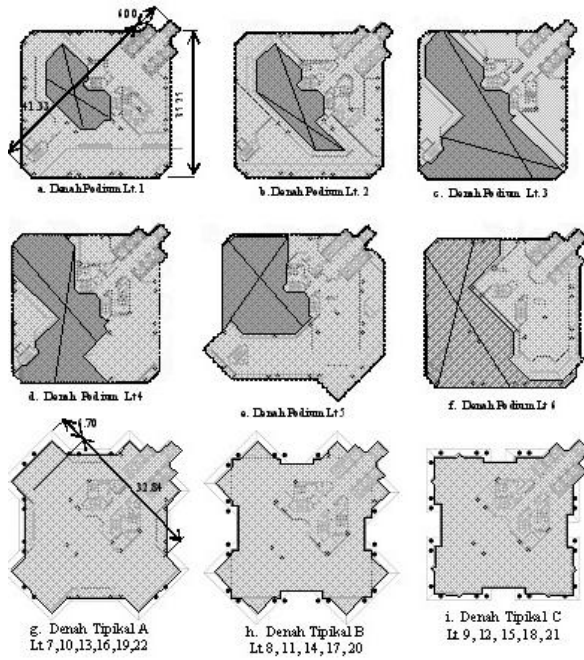
Sumber: Arnold, C (1982)

Gambar 8. Prinsip Terjadinya Torsi

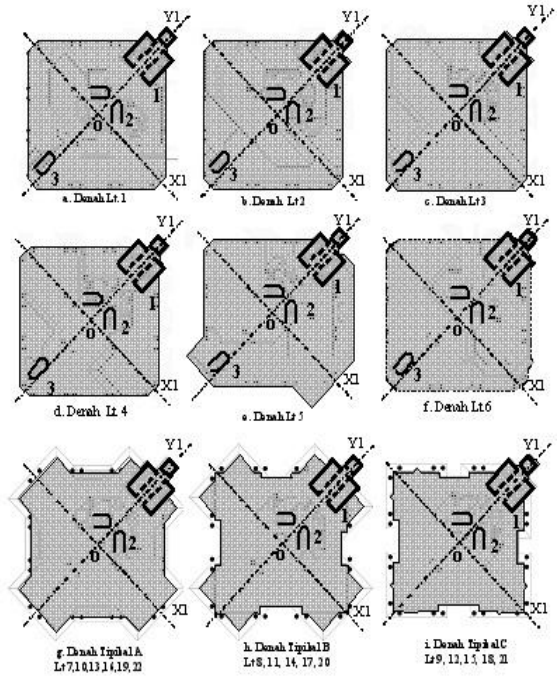


Sumber: Arnold, C (1982)

Gambar 9. Titik diskontinuitas, torsi

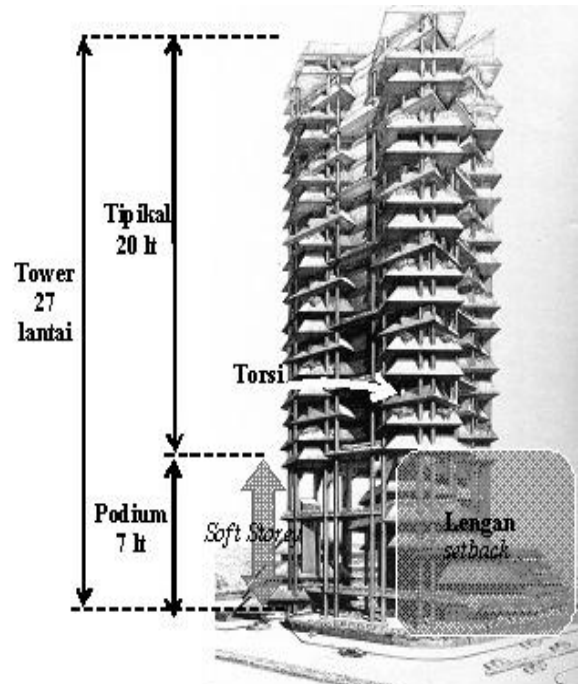


Gambar 10. Bentuk Denah Lantai-lantai Podium dan Tipikal

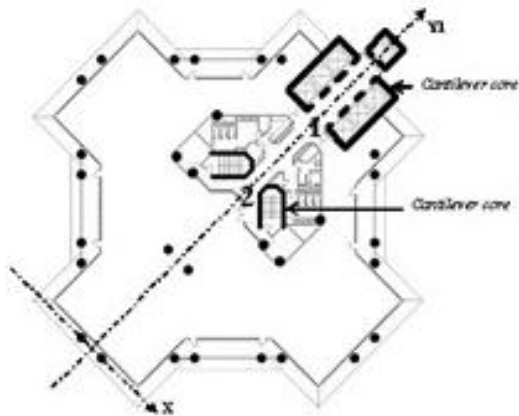


Catatan: Koordinat 0 = (+ 3194, + 2491) cm terhadap sumbu utama (X,Y).

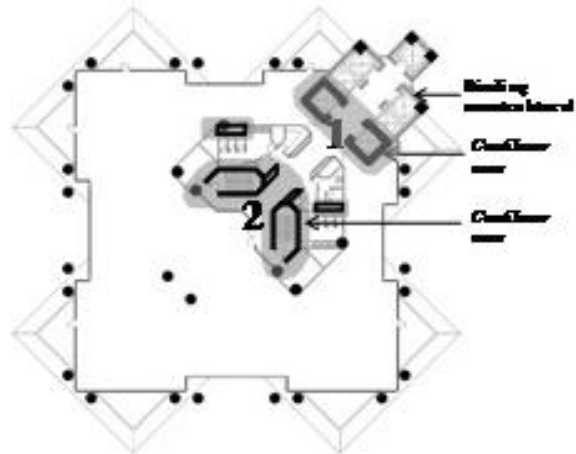
Gambar 11. Posisi Cantilever Core



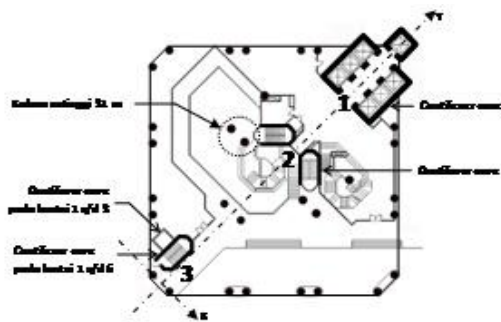
Gambar 12. Perspektif Eksterior GITJ Perilaku Torsi dan Setback



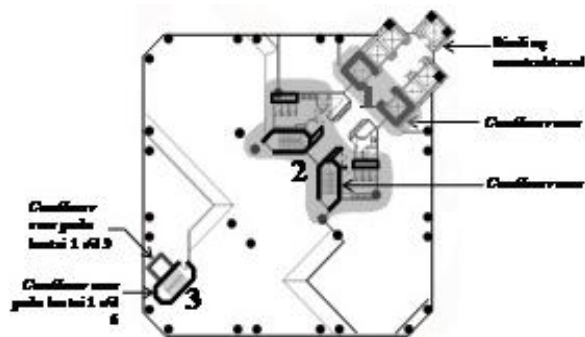
Gambar 13. Model Eksisting-Tipikal



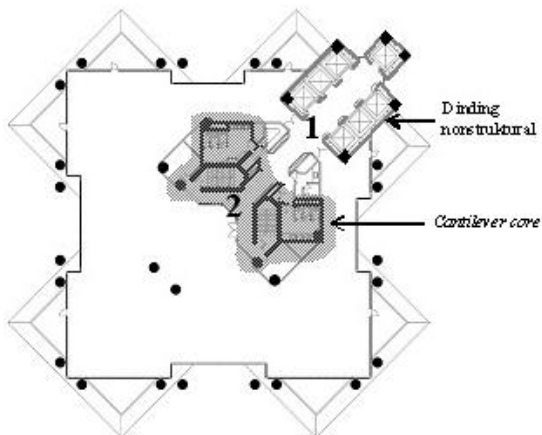
Gambar 17. Model Eksperimen 2 – Tipikal



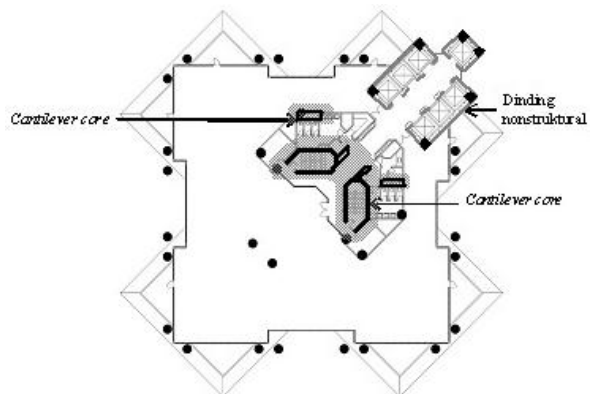
Gambar 14. Model Eksisting – Podium Lantai 1



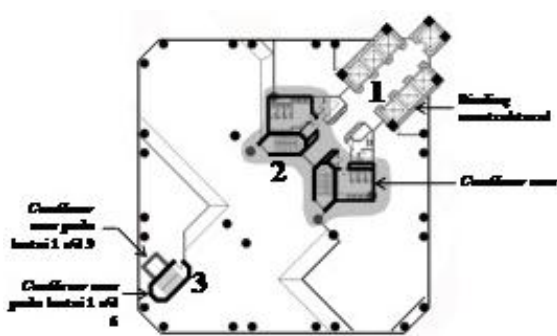
Gambar 18. Model Eksperimen 2 -Podium



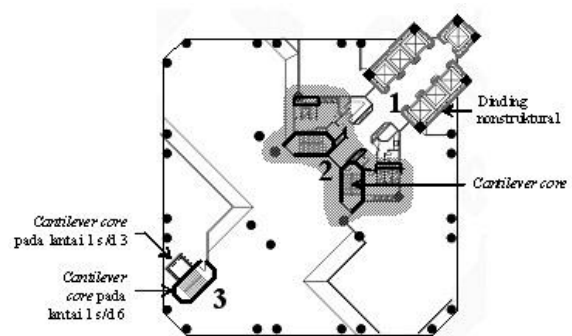
Gambar 15. Model Eksperimen 1-Tipikal



Gambar 19. Model Eksperimen 3- Tipikal



Gambar 16. Model Eksperimen 1- Podium



Gambar 20. Model Eksperimen 3- Podium

DAFTAR PUSTAKA

Arnold, C. (1982). *Building configuration and seismic design*. John Wiley & Sons.

Badan Standard Nasional–BSN. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI 03–1726–2002.

Charleson, A. (2008). *Seismic Design for Architecture*. Elsevier Ltd. Computers & Structures Inc. Berkely. *ETABS v. 9.05*.

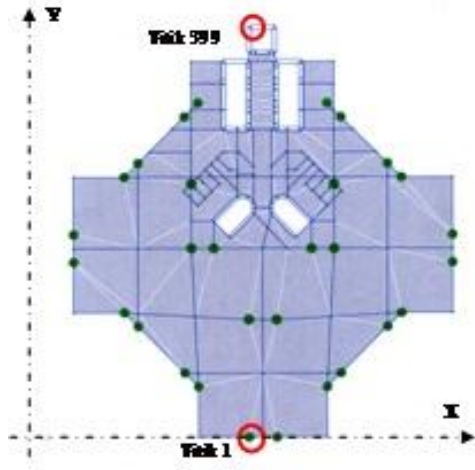
De Alba, R. (2003). *Paul Rudolph the Late Work*. Princeton Architectural Press.

Laurens, M. J. (2004). *Arsitektur dan Perilaku Manusia*. Penerbit PT. Grasindo, Jakarta.

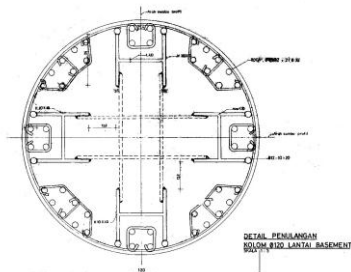
Meiss, P.V. (1994). *Elements of Architecture from form to place*. E & FN Spon

Wangsadinata, W. (1986). *Peranan Arsitektur dan Struktur dalam Perencanaan Bangunan-Bangunan Tinggi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Trisakti.

Warfield, J.P. (ed) (1983). *Paul Rudolph 1983-1984 Recipient of the Plym Distinguished Professorship*. School of Architecture University of Illinois at Urbana-Champaign.

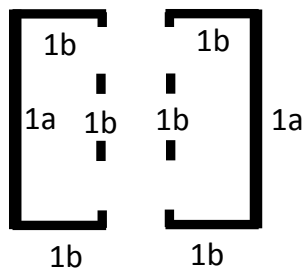


Gambar 21. Peta Titik Perpindahan Lateral yang Ditinjau, Titik 1 dan 399, Lantai 22



Sumber: As-build Drawing, Wiratman & Associate (1983)

Gambar 22. Penampang Kolom Komposit Podium.



Tebal dinding core:
 1a = 65 cm
 1b = 60 cm

Gambar 23. Denah Core Cantilever 1 Model Eksisting