

Analisis Gaya Geser Seismik Terintegrasi Building Information Modeling (BIM) 3D

Dani Nugroho Saputro^{1*}, Thia Fitrah Rahayu¹, Arnie Widyaningrum¹, Redityo Januardi¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

Email: danisaputro@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Keberadaan sumber gempa dan sesar aktif yang jalurnya berada dekat dengan permukiman, menjadi ancaman tersendiri dan meningkatkan bahaya dan risiko akibat bencana gempa bumi. Terjadinya gempa bumi tidak mengancam kelangsungan hidup manusia, akan tetapi suatu struktur yang kurang baik itulah yang mengancam korban jiwa, apabila struktur konstruksi tersebut mengalami keruntuhan dan kegagalan getas. Hal yang paling umum kita jumpai dari penyebab kegagalan konstruksi bangunan adalah Desain yang tidak konsisten, Pada perencanaan struktur bangunan sudah di desain dengan mereduksi gempa yaitu menerapkan perilaku *inelastic*, akan tetapi tidak dibarengi dengan penerapan sismic *detailling* pada saat proses konstruksi. Memasuki revolusi industri 4.0, pengaruh perkembangan teknologi semakin banyak dirasakan, salah satunya di bidang konstruksi. Saat ini, industri konstruksi banyak menerapkan *Building Information Modelling (BIM)* untuk mengontrol, mempercepat, mempermudah proses pelaksanaan, dan pemeliharaan. Fokus penelitian ini adalah menganalisis dan mengetahui perilaku struktur bangunan gedung 4 lantai yang terintegrasi pada *BIM 3D Tekla Structures*. Metode analisis dilakukan pada model struktur beton bertulang. Tingkat *interoperabilitas* pemodelan berbasis *BIM* dan sistem analisis struktur, sangat memungkinkan diaplikasikan pada proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, dan memperoleh informasi yang lebih rinci tentang komponen bangunan (*detailling*). Pemodelan berbasis *BIM* diharapkan dapat membantu mengurangi kekurangan dalam memperoleh informasi lebih detail dari sebuah struktur. Proses integrasi dari analisis struktur ke pemodelan *BIM* Tekla Structure dapat dilakukan dengan baik, beberapa *software* pendukung lain yang mendukung *Open BIM* dapat diaplikasikan dan diterapkan proses Integrasi berbasis pada *IFC file type*. Integrasi analisis struktur ke *Tekla Structures* begitu juga sebaliknya, menghasilkan elemen struktur yang memenuhi kapasitas desain secara satu arah.

Kata Kunci : gempa, struktur, integrasi, BIM

ABSTRACT

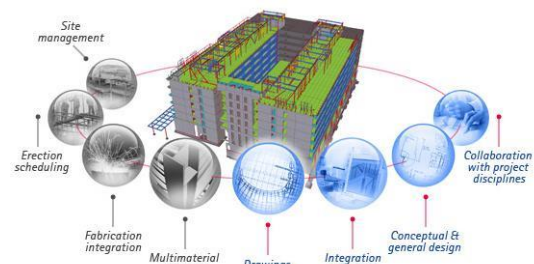
The existence of earthquake sources and active faults whose paths are close to settlements poses a separate threat and increases the danger and risk due to earthquake disasters. The occurrence of an earthquake does not threaten human survival, but a structure that is not good is what threatens the loss of life, if the construction structure collapses and fails brittle. The most common thing we encounter from the causes of building construction failures is inconsistent design. In planning the building structure has been designed to reduce earthquakes, namely applying inelastic behavior, but not accompanied by the application of sismic detailing during the construction process. Entering the industrial revolution 4.0, the influence of technological developments is increasingly being felt, one of which is in the construction sector. Currently, the construction industry applies Building Information Modeling (BIM) to control, speed up, simplify the implementation and maintenance processes. The focus of this research is to analyze and determine the structural behavior of a 4-storey building integrated into the Tekla Structures 3D BIM. The method of analysis is carried out on a model of reinforced concrete Structures. The level of interoperability of BIM-based modeling and structural analysis systems, it is very possible to be applied to the planning and construction implementation process, and to obtain more detailed information about building components. With the BIM-based modeling, it is hoped that it can help reduce deficiencies in obtaining more detailed information from a structure. The integration process from structural analysis to Tekla Structure BIM modeling can be done well, several other supporting software that supports Open BIM can be applied and the Integration process is based on the IFC file type. Integration of structural analysis into Tekla Structures, produces structural elements that meet design capacity in one direction.

Key words: earthquake, structure, integration, BIM

1. PENDAHULUAN

Kondisi tektonik Indonesia terletak di persimpangan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil yang berpotensi menimbulkan beberapa gempa bumi. Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik, sedangkan lempeng-lempeng kecil terdiri dari Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Laut Timor. Zona subduksi aktif berada di bagian barat Indonesia sampai timur diidentifikasi sebagai penyebab gempa bumi di Indonesia (Mulyani et al., 2015). Wilayah Indonesia bagian barat, terjadi proses subduksi dari Lempeng Indo-Australia ke Lempeng Eurasia, di wilayah Sumatera pernah mengalami gempa bumi dengan kekuatan 8 sampai 9, seperti yang terjadi di Aceh pada tahun 2005, Bengkulu tahun 2007. Gempa yang cukup besar di Sumatera didominasi oleh gempa dengan gaya dorong mekanisme yang terjadi sebagai akibat dari proses subduksi dan beberapa sesar geser. Beberapa hasil yang diperoleh dari pemutakhiran peta gempa nasional tahun 2017 adalah peta gempa daerah Sumatra yang pada peta tahun 2010 terdiri atas 19 sumber, sekarang telah dapat diketahui sebanyak 55 sumber gempa. Di lokasi Jawa yang sebelumnya diketahui 10 sumber, sekarang telah diketahui 37 sumber sesar aktif. Di Sulawesi yang sebelumnya memiliki 12 sumber gempa, sekarang telah diketahui 48 sumber. Lokasi Maluku dan Papua yang pada awalnya memiliki 12 sumber gempa, saat ini telah diketahui 79 sumber gempa. Adapun kelompok wilayah tambahan yang sebelumnya tidak muncul adalah wilayah Nusa Tenggara – Laut Banda yang diketahui memiliki 49 sumber gempa. Secara keseluruhan telah terjadi peningkatan sesar aktif di Indonesia sebanyak 295 sumber gempa. Sumber ini terdiri atas 242 sumber gempa tambahan terhadap 53 sumber gempa dalam peta 2010. Jika dibandingkan dengan data sumber gempa nasional tahun 2010 terdapat penambahan ~450 persen posisi sumber gempa nasional (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Penambahan sesar aktif di Indonesia menjadi perhatian kita bersama dalam merencanakan struktur bangunan guna mewujudkan struktur yang andal dan berkelanjutan. Terjadinya gempa bumi tidak mengancam kelangsungan hidup manusia, akan tetapi suatu struktur yang kurang baik itulah yang mengancam korban jiwa, apabila struktur konstruksi tersebut mengalami keruntuhan dan kegagalan getas (*brittle failure*). Ada lima hal penyebab kegagalan konstruksi bangunan

diantaranya adalah Desain yang tidak konsisten khususnya terkait kebutuhan detail struktur, Bahaya gempa yang lebih tinggi, Konstruksi yang tidak konsisten dari kualitas bahan material yang digunakan, Pemeliharaan yang tidak memadai, dan Tuntutan seismik yang terkadang terlalu tinggi karena banyak factor (Fuadie et al., 2017; Gkimpraxis et al., 2020; Stanway et al., 2020). Hal yang paling umum kita jumpai dari kelima penyebab kegagalan konstruksi bangunan adalah Desain yang tidak konsisten, Pada perencanaan struktur bangunan sudah di desain dengan sudah mereduksi gempa yaitu menerapkan perilaku *inelastic*, akan tetapi tidak dibarengi dengan penerapan sismic *detailling* pada saat proses konstruksi. Fokus dari penelitian ini adalah menganalisis proses Integrasi antara pemodelan analisis struktur ke dalam *Building Information Modeling (BIM)*. *BIM* berimplikasi memberi perubahan, mendorong pertukaran model 3D antara disiplin ilmu yang berbeda (Flager et al., 2009), sehingga proses pertukaran informasi menjadi lebih cepat dan berpengaruh terhadap pelaksanaan konstruksi (P et al., 2016), (Chuck Eastman et al., 2008). Konsep *BIM* menggambarkan konstruksi virtual sesuai fisik yang sebenarnya, untuk mengurangi ketidakpastian, meningkatkan keselamatan, menyelesaikan masalah, dan menganalisis dampak potensial (Milyutina, 2018), (Azhar et al., 2012). Salah satu *tools* dari *BIM* yang bisa digunakan adalah *Tekla Structures* (Firoz & Rao, 2012). *Tekla Structures* merupakan salah satu *tools* berbasis *Building Information Modeling (BIM)* yang berfungsi untuk memodelkan dan menyimpan informasi suatu bangunan (Minawati et al., 2019). *Tekla Structures* merupakan salah satu teknologi *Architect, Engineering, Construction (AEC)* yang mampu mensimulasikan seluruh informasi dalam proyek pembangunan ke dalam model 3D (Aec (Uk), 2012). Sperti yang tercantum pada gamabr 1 berikut:



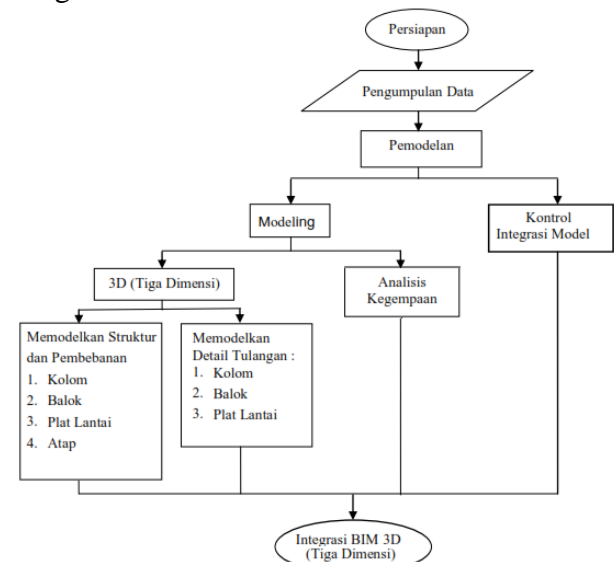
Gambar 1. Kolaborasi infrastruktur terintegrasi Tekla Structures (Newswire, 2015)

Tekla *Structures* memiliki tampilan standar API (*Application Programming Interface*) untuk menghubungkan analisis dan desain (Simatupang et al., 2020). Hal ini akan tepat dengan mengintegrasikan informasi kegunaan pada bangunan dengan berbasis pada *BIM* yaitu dengan menghubungkan analisis struktur atau kegunaan menggunakan ETABS. Program ETABS dapat melakukan perhitungan analisis struktur statik dan dinamik (kegunaan), saat melakukan desain penampang beton bertulang maupun struktur baja (Ladjinovic et al., 2012), ETABS juga menyediakan metode *interface* (antarmuka) yang secara grafis mudah digunakan dalam proses penyelesaian analisis struktur (Bhusar & Akhare, 2014). Pemodelan 3D dilakukan pada komponen struktur gedung seperti kolom, balok, plat lantai dan tulangan dengan Tekla *Structures*. Fungsi pemodelan 3D yaitu melihat semua komponen material dan detail struktur, penjelasan gambar, membuat rebar *detailing*, membuat *assemblies* dari *concrete parts*, membuat *detailing steel and concrete connection*. Integrasi antara analisis struktur ETABS ke *BIM* Tekla *Structures* diharapkan akan menghasilkan informasi struktur yang berbasis pada *BIM* 3D yang akan mempermudah dalam memperoleh informasi *detailing* struktur bangunan secara tepat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam simulasi program analisis struktur ETABS dan *BIM* Tekla *Structures*. Pemodelan bangunan menggunakan fungsi sebagai bangunan Pendidikan yang memiliki struktur 4 lantai. Model struktur diletakan wilayah gempa Bengkulu, dimana lokasi tersebut memiliki kategori resiko gempa tinggi (IV) (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Konstruksi menggunakan beton bertulang dengan dimensi balok induk 350x700 mm, balok anak 250x500 mm, dan kolom 600x600, tebal pelat 120 mm dan 135 mm. Setelah dilakukan analisis struktur menggunakan ETABS, selanjutnya adalah tahap Integrasi komponen

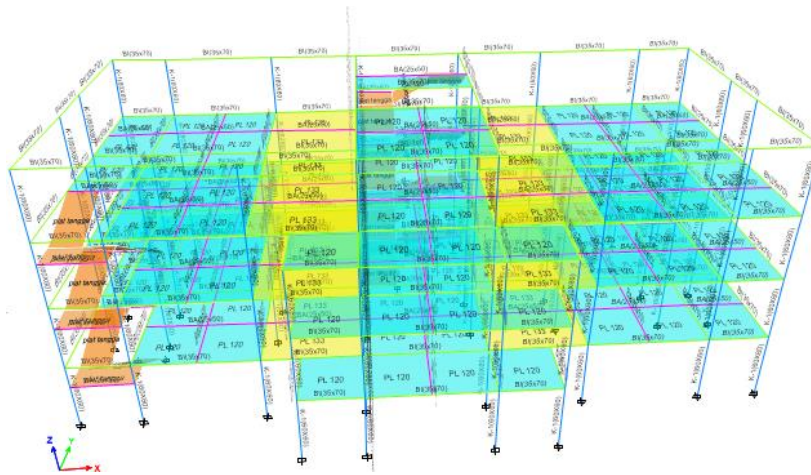
struktur dari ETABS ke Tekla *Structures* melalui format *Industry Foundation Classes* (IFC). Tahap Integrasi ke Tekla *Structures* akan diperoleh komponen material dan detail struktur, penjelasan gambar, membuat rebar *detailing*, membuat *assemblies* dari *concrete parts*, membuat *detailing (steel and concrete) connection*. Secara keseluruhan tahapan penelitian ini dapat disederhanakan menjadi diagram alir berikut :



Gambar 2. Bagan Alir Proses penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan analisis struktur ETABS berdasarkan SNI 1726:2019 dengan input berupa konfigurasi struktur, mutu beton (f_c') = 25 MPa, mutu baja (f_y) = 400 MPa, dan modulus elastis beton (E_c) = 2100000 kg/cm², poisson ratio 0.03 dan modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 MPa. Model struktur tersebut diletakan di lokasi Bengkulu dengan kondisi tanah sedang (SD). Hasil dari analisis struktur kemudian diintegrasikan ke pemodelan 3D *detailing* menggunakan *BIM* Tekla *Structures*. Pemodelan struktur gedung pada ETABS dapat lihat pada gambar 3 berikut.



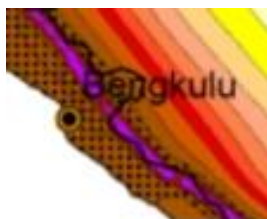
Gambar 3. Pemodelan struktur Gedung pada ETABS

3.1 Parameter desain beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019

Perencanaan desain beban gempa sesuai SNI 1726:2019 terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan demi mendukung proses analisis, yaitu sebagai berikut:

Percepatan respons spektral MCE

Spektral gempa terbagi menjadi dua, yaitu spektral gempa periode pendek (S_s) dan spektra gempa periode 1 detik (S_1). Nilai spektral gempa diperoleh dari pembacaan pada peta gempa di SNI 1726:2019 ataupun RSA PUSKIM 2019.



Keterangan (S_s , MCE_R):

Area dengan spektrum respons percepatan konstan 150% g

Gambar 4. Nilai S_s wilayah Bengkulu berdasarkan peta gempa di SNI 1726:2019



Keterangan (S_1 , MCE_R):

Area dengan spektrum respons percepatan konstan 60% g

Gambar 5. Nilai S_1 wilayah Bengkulu berdasarkan peta gempa di SNI 1726:2019

Berdasarkan SNI 1726:2019 diperoleh untuk daerah Bengkulu, area dengan spektrum respons percepatan konstan didapat nilai $S_s = 150\% g = 1,5 g$ dan $S_1 = 60\% g = 0,6 g$.

Koefisien situs

Seperti spektral gempa, koefisien situs juga terbagi 2, yaitu koefisien situs periode pendek (F_a) dan koefisien situs periode panjang (F_v). Nilai F_a dan F_v diperoleh dari pembacaan tabel pada SNI 1726:2019 berdasarkan nilai S_s ataupun S_1 . Nilai $S_s = 1,5g$, sehingga diperoleh nilai F_a untuk kelas situs tanah SD sebesar 1.0. Sedangkan untuk nilai F_v ditentukan berdasarkan nilai S_1 . Nilai F_v untuk kelas situs tanah SD sebesar 1,7

Percepatan respons spektral MCE terkoreksi

Spektrum percepatan diperoleh dari perkalian spektral gempa dengan koefisien situs setiap masing-masing periode.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \tag{1}$$

$$S_{MI} = F_v \times S_1 \tag{2}$$

Sehingga, diperoleh parameter percepatan respons spektral MCE terkoreksi $S_{MS} = 1,5 \times 1,0 = 1,5 g$ dan $S_{MI} = 0,6 \times 1,7 = 1,02 g$.

Percepatan respons spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), ditentukan dari rumus sebagai berikut :

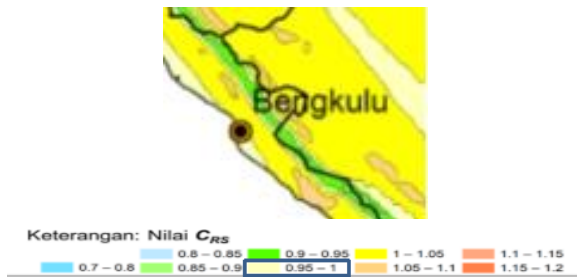
$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \tag{3}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{MI} \tag{4}$$

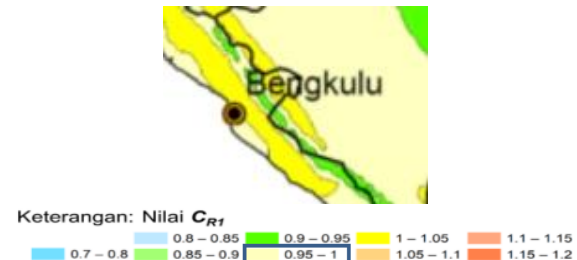
Sehingga, diperoleh parameter percepatan respons spektral desain $S_{DS} = 2/3 \times 1,5 = 1,0 g$ dan $S_{D1} = 2/3 \times 1,02 = 0,68 g$

Koefisien risiko terpetakan

Koefisien risiko terpetakan diperoleh dari pembacaan peta gempa di SNI 1726:2019 atau RSA PUSKIM 2019 baik untuk periode pendek (C_{RS}) maupun periode 1 detik (C_{R1}).



Gambar 6. Nilai C_{RS} wilayah Bengkulu berdasarkan peta gempa di SNI 1726:2019



Gambar 7. Nilai C_{R1} wilayah Bengkulu berdasarkan peta gempa di SNI 1726:2019

Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai C_{RS} dan C_{R1} untuk wilayah Bengkulu berturut-turut sebesar 0,975 dan 0,975.

Periode puncak awal (T_0) dan akhir (T_s)

Nilai periode puncak awal (T_0) dan Periode puncak akhir (T_s) digunakan sebagai salah satu parameter untuk menggambarkan spektrum respons desain. Periode puncak ini diperoleh melalui persamaan sebagai berikut :

$$T_0 = 0.2 \times S_{D1}/S_{DS} \quad (5)$$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} \quad (6)$$

Sehingga diperoleh periode puncak spektrum respons desain $T_0 = 0,2 \times 1,0/0,68 = 0.136$ detik
 $T_s = 1,0/0,68 = 0.680$ detik

Periode panjang (T_L)

Periode panjang (T_L) diatur dalam SNI 1726:2019. Untuk wilayah Bengkulu, diperoleh $T_L = 20$ detik. Sebagaimana sudah diatur pada peta transisi sebagai berikut :

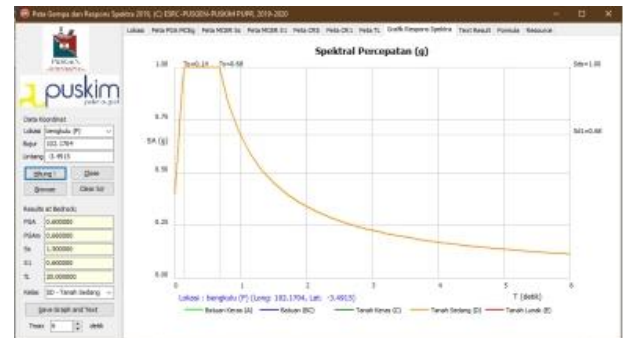


Gambar 20 – Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia

Gambar 8. Peta transisi periode panjang SNI 1726:2019

Respon Spektrum Desain

Grafik spektrum respons desain adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara periode dan spektrum respons percepatan desain. Penggambaran grafik ini ditentukan oleh periode puncak awal, periode puncak akhir serta periode panjang.



Gambar 9. Grafik Respon Spektrum RSA PUSKIM 2019

Kondisi respon spektrum akan menghasilkan nilai koefisien gempa dasar C_d , sehingga akan dihasilkan gaya geser dasar seismic akibat gaya gempa rencana yang bergantung dari percepatan respon spektra lokasi struktur.

3.2 Gaya Geser Dasar Seismik

Pada kasus ini Analisis beban gempa yang digunakan adalah analisis dinamik atau respon spektrum. Walaupun demikian, analisis gempa statik tetap harus dilakukan karena terdapat keterlibatan gaya gempa statik pada penggunaan analisis respon spektrum. Gaya geser dasar seismik adalah reaksi yang terjadi pada dasar suatu bangunan akibat kombinasi beban yang bekerja pada struktur, termasuk beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Tabel 1 menunjukkan hasil dari gaya gempa statik ekuivalen.

Tabel 1. Gaya Geser Dasar Statik Ekuivalen

	Period (detik)	Koefisien n	Berat (kN)	Geser Dasar (kN)
Ex	0.877	0.145	35015.219	5092.754
Ey	0.88	0.144	35015.219	5074.429

Dari Tabel 1 diketahui bahwa gaya gempa ekuivalen gedung sebesar 509,275 Ton untuk arah X dan 507,443 Ton untuk arah Y. Reaksi gaya geser dasar dinamik ditunjukkan pada table 2, dan untuk perbandingan reaksi gaya geser dasar static ekuivalen dan dinamik ditunjukkan table 3 berikut.

Tabel 2. Gaya Geser Dasar Dinamik

Output Case	FX (kN)	FY (kN)
Rsx	4347.027	1228.172
Rsy	1310.813	4970.355

Tabel 3. Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik Ekuivalen dan Dinamik

Tipe	Fx	Fy	100%		Skala	
			Ton	Ton	Ton	Ton
Statik	Eqx	509.275	152.783	509.275	152.783	
	Eqy	152.233	507.443	152.233	507.443	
Dinamik	RSx	434.703	122.817	Tidak	Tidak	1,172 1,244
	RSy	131.081	407.036	Tidak	Tidak	1,161 1,247

Tabel 3 menunjukkan bahwa gaya gempa respon spektrum arah X dan Y besarnya lebih kecil dibandingkan 100% gaya gempa statik. Hal ini terjadi karena pada konsep dinamik memperhitungkan massa, kekakuan, dan redaman, sedangkan konsep statik hanya memperhitungkan massa saja. Selain itu, prinsip statik ekuivalen hanya memperhitungkan mode kesatu, sehingga hanya cocok untuk bangunan yang cenderung kaku atau bangunan rendah. Sehingga perlu penyekalaan agar gaya gempa minimal sama dengan 100% gaya gempa statik. Berikutnya faktor skala ini dikalikan dengan faktor skala awal. Tabel 4 adalah hasil dari penyekalaan akhir.

Tabel 4. Faktor skala akhir

	Arah X	Arah Y
RSX	2155	686
RSY	641	2293

3.3 Fundamental Period

Periode fundamental adalah waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk melakukan bentuk mode tertentu. Besarnya periode fundamental dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah kekakuan struktur, berat struktur, tinggi struktur, orientasi penempatan geometri kolom, keberadaan dinding dalam struktur, dan pengaruh penampang. Di dalam Dalam hal ini, faktor yang mempengaruhi adalah kekakuan struktur dan berat struktur. Semakin besar kekuatan beton pada bangunan, semakin besar kekakuan struktur dan berat struktur akan meningkat secara linier. Peningkatan kekakuan struktur akan berdampak pada pengurangan sifat alami periode bangunan (Malla et al., 2019). Tabel 5 menunjukkan jumlah mode yang dipakai dalam perhitungan mempunyai akumulasi

partisipasi massa minimal 90% dalam arah X maupun arah Y.

Tabel 5. Partisipasi Massa

Mode	Period (detik)	UX	UY
1	0.932	0.04	81.83
2	0.877	81.46	0
3	0.802	2.39	1.48
4	0.293	0.1	10.81
5	0.277	10.69	0.1
6	0.25	0.06	0.06
7	0.179	0.06	3.55
8	0.17	3.2	0.06
9	0.148	0.08	0
10	0.131	0.03	1.81
11	0.129	1.5	0.03
12	0.113	0.00435	0.00209
Σ		100%	100%
if > 90% OK		OK	OK

Superposisi mode menggunakan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*) jika selisih perioda getar antar mode tidak lebih dari 15%. Jika terjadi sebaliknya maka dipakai seperti pada table 6 berikut dengan metoda SRSS (*Square Root of the Sum of Sum Squares*).

Tabel 6. Superposisi Mode

Mode	Period	Δt (%)	UX	UY
1	0.932	5.901	0.0004	0.8183
2	0.877	8.552	0.8146	0
3	0.802	63.466	0.0239	0.0148
4	0.293	5.461	0.001	0.1081
5	0.277	9.747	0.1069	0.001
6	0.25	28.400	0.0006	0.0006
7	0.179	5.028	0.0006	0.0355
8	0.17	12.941	0.032	0.0006
9	0.148	11.486	0.0008	0
10	0.131	1.527	0.0003	0.0181
11	0.129	12.403	0.015	0.0003
12	0.113	14.159	4.35E-05	2.09E-05

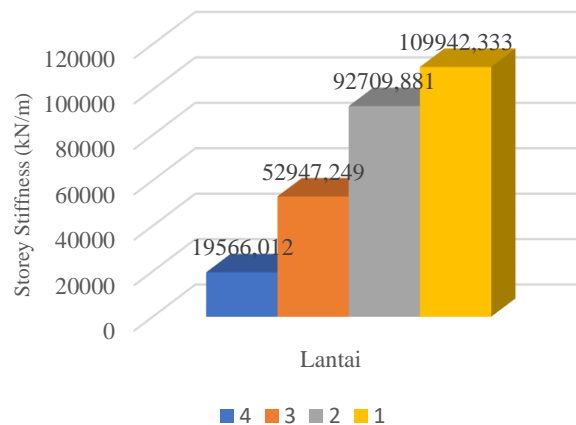
Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa terdapat selisih perioda getar struktur yang melebihi 15% sehingga metoda yang digunakan adalah SRSS.

3.4 Kekakuan Bertingkat (*Storey Stiffness*)

Pada struktur bertingkat, struktur dikatakan baik jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (Pradhana et al., 2019). Adapun nilai kekakuan diperoleh dari rasio antara gaya geser dan simpangan lantai. Dengan tipikal denah lantai dari lantai dasar ke lantai atas, semakin besar pengaruh pengkekangan yang diberikan oleh kolom ke lantai, maka kekakuan lantai akan meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil analisis

yang menunjukkan bahwa lantai yang terletak di dasar memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan lantai atas. Semakin tinggi elevasi lantai yang diamati maka nilai kekakuan

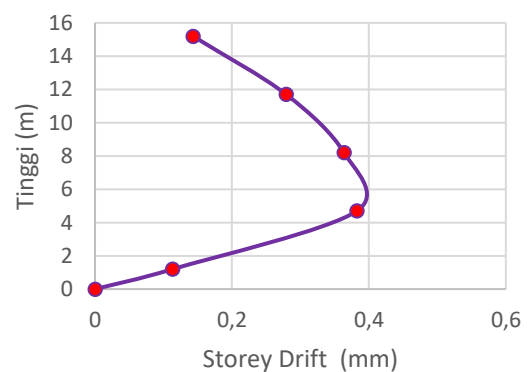
semakin menurun seiring dengan berkurangnya efek pengekangan yang diberikan oleh kolom. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 10 berikut.



Gambar 10. Kekakuan tingkat (*Storey Stiffness*)

3.4 Storey Drift

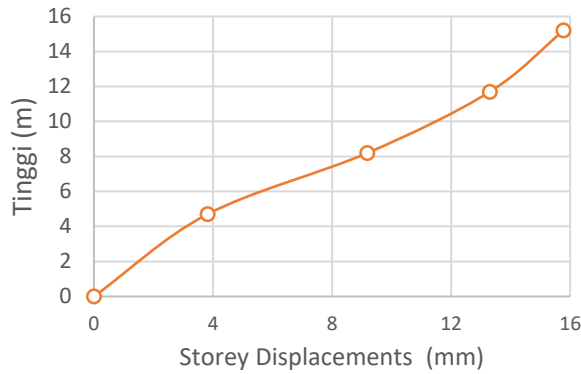
Storey Drift adalah nilai pergeseran relatif yang terjadi pada setiap lantai terhadap lantai di bawahnya. Berdasarkan Gambar 5, semakin tinggi elevasi lantai terhadap tanah maka nilai story drift semakin meningkat. Peningkatan selisih nilai simpangan antar lantai terjadi antara elevasi +1,2 sampai dengan +4,7, dan berangsur-angsur menurun seperti yang terjadi pada elevasi +4,7 menuju +8,2 menuju +11,7 dan +15,2 meter. Bangunan bertingkat dapat diidealkan sebagai balok kantilever tunggal yang ditopang tetap di tanah. Adanya beban gempa yang bekerja pada arah lateral bangunan berperan sebagai gaya geser pada balok yang menyebabkan struktur mengalami goyangan. Beban gravitasi pada bangunan, seperti beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup bekerja seolah-olah merupakan gaya aksial pada balok kantilever. Kedua beban tersebut, baik beban gempa maupun beban gravitasi, menyebabkan struktur mengalami perpindahan lateral yang besar pada tingkat tengah dan nilai minimum pada tingkat bawah dan atas (Wang, 2017). Nilai perpindahan minimum yang terjadi di tingkat atas secara logis disebabkan oleh tidak adanya beban hidup yang bekerja, sedangkan nilai perpindahan yang besar di daerah tingkat menengah disebabkan oleh akumulasi beban gravitasi seiring dengan gempa. Secara rinci nilai dan pola simpangan lantai ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Storey Drift*

3.5 Storey Displacement

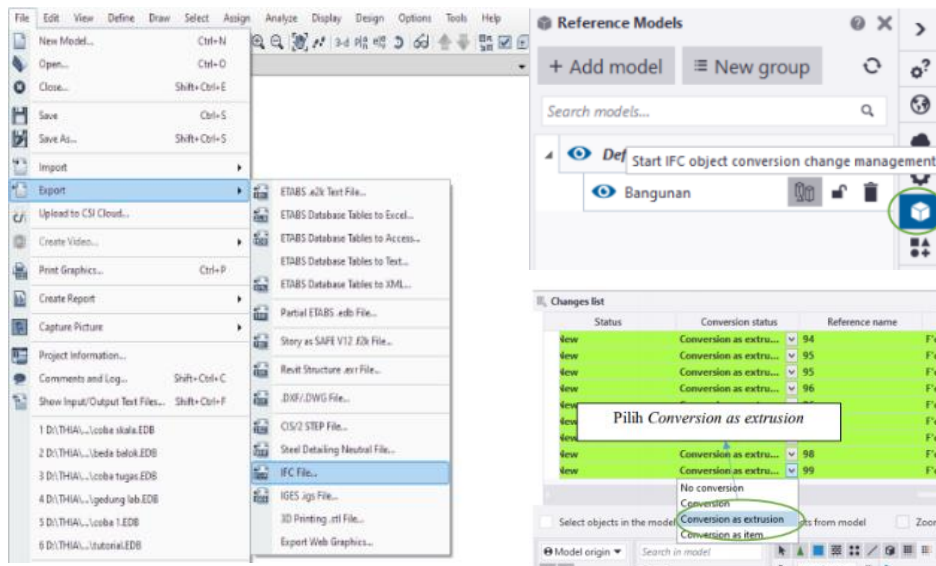
Perpindahan tingkat pada bangunan dipengaruhi oleh kekakuan lentur balok terhadap kolom, dan kondisi tumpuan pada model struktur (Wang, 2017). Penggunaan pondasi atau tumpuan yang stabil tetap pada struktur menggambarkan perilaku struktur bangunan. Jenis tumpuan atau pondasi akan menentukan perilaku struktural. Dukungan tetap akan mencegah nilai perpindahan yang besar pada lantai bawah. Struktur akan menampilkan bentuk mode dalam tipe lentur di struktur tengah dan bawah, dan tipe geser di tengah ke atas untuk membuat struktur yang lebih stabil. Nilai perpindahan tingkat dan grafiknya ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Storey Displacement

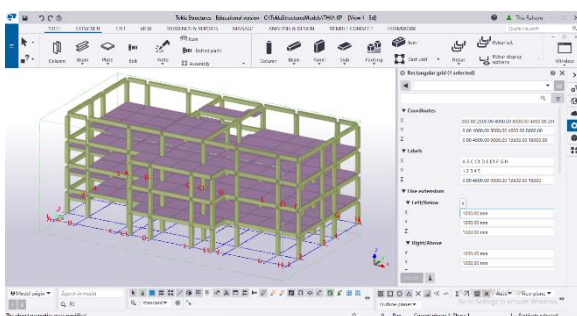
3.6 Integrasi Analisis struktur ke BIM Tekla Structures

Setelah melakukan analisis struktur menggunakan ETABS, selanjutnya adalah tahap Integrasi komponen struktur dari ETABS ke Tekla Structures melalui format *Industry Foundation Classes* (IFC). Langkah pertama yaitu *extract* data *EtabsTsdPlugin*, kemudian export dalam format file IFC untuk nanti di import ke *Tekla Structure*. Dapat dilihat pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. Proses integrasi ETABS ke Tekla Structures

Untuk memastikan apakah proses integrasi sudah benar dan tidak ada kesalahan pada proses dapat dilakukan dengan memilih *Conversion as extrusion*. Proses import dari ETABS ke Tekla Structure setelah di klik *hide* tidak hilang, berarti proses penginputan dimensi gedung dari ETABS ke Tekla Structure sudah benar. Hasil integrasi dapat dilihat pada program Tekla Structures seperti pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Hasil Integrasi ETABS ke Tekla Structures

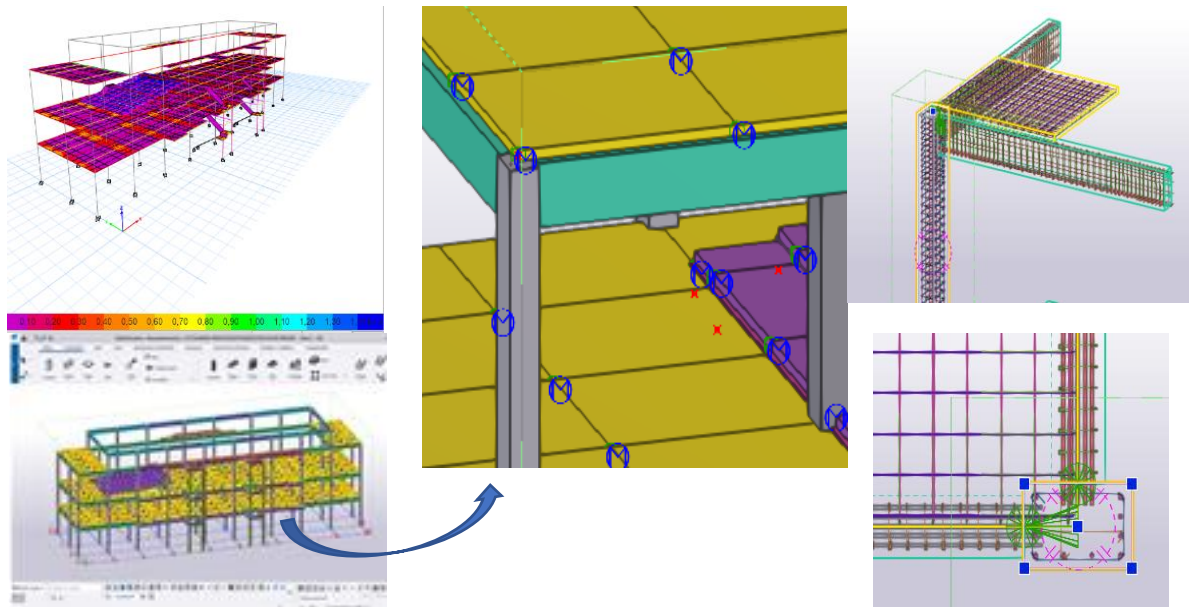
Sebelum melakukan *detailling* struktur pada Tekla langkah pertama adalah melengkapi data pada material katalog dengan data sesuai perencanaan sebelumnya buat 25 Mpa, untuk massa jenis beton yaitu 2400 kg/m³, modulus elastisitas 2100000 kg/m², poisson ratio 0.03. untuk materil baja perlu menambahkan Rebar SD400 Korea di Tekla Warehouse. Penggunaan SD400 Rebar Grade memiliki detail ukuran tulangan yang sama di Indonesia.

3.7 Detailing Struktur pada Tekla

Proses *detailling* struktur dilakukan pada Tekla Struktur dengan memberikan penamaan pada masing-masing komponen struktur diantaranya ada Kolom, Balok, Plat lantai. Langkahnya adalah dengan memilih *object* komponen struktur yang akan didetailkan kemudian *input detailing* tulangan mulai dari pembuatan *stirrup*, input tulangan utama dan yang paling penting disini adalah mendetailkan

pada komponen sambungan (balok-kolom-plat lantai). Hasil dari *detailing* struktur ini nanti diharapkan akan menambah tingkat kesempurnaan desain pada proses pelaksanaan. *Output* gambar kerja pada *Tekla Structure* dibuat pada menu *GA Drawing*, dimana *General*

Arrangement Drawing adalah metode penggambaran dasar menurut grid yang telah dibuat saat pemodelan. Beberapa hasil *detailing* skomponen struktur dapat dilihat pada gambar 15.

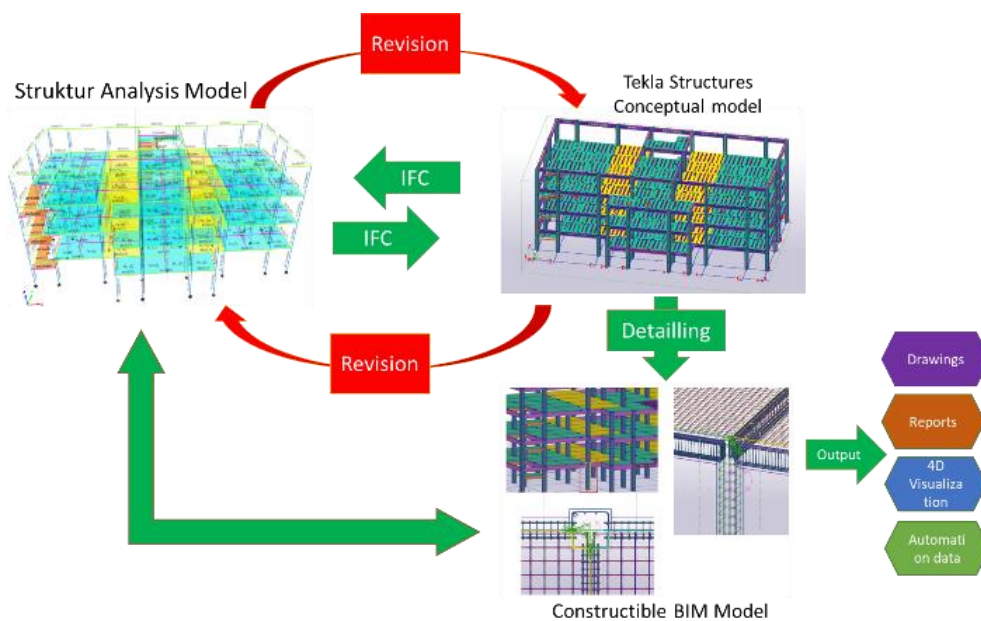


Gambar 15. *Detailing* Struktur pada Tekla

4. KESIMPULAN

Pada perencanaan desain terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk mendukung proses analisis yang sesuai standar, mengingat di Indonesia secara keseluruhan telah terjadi peningkatan sebesar ~450 persen posisi sumber gempa nasional yaitu sebanyak 295 sumber gempa. Tingkat *interoperabilitas* pemodelan berbasis *BIM* dan sistem analisis

struktur, sangat mungkin dapat diaplikasikan pada proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, Tujuan dari rekayasa gempa berbasis kinerja sering kali tidak diimbangi dengan informasi rinci tentang komponen bangunan (*detailing*), dengan adanya pemodelan berbasis *BIM* diharapkan dapat membantu mengurangi kekurangan dalam memperoleh informasi lebih detail dari sebuah struktur.



Gambar 16. Alur Model Integrasi

Seperti ditunjukkan pada gambar 16, proses integrasi dari analisis struktur ke pemodelan *BIM Tekla Structure* dapat dilakukan dengan baik, beberapa *software* pendukung lain yang mendukung *Open BIM* dapat diaplikasikan dan diterapkan proses Integrasi berbasis pada *IFC file type*. Integrasi analisis struktur ke *Tekla Structures* begitu juga sebaliknya, menghasilkan elemen struktur yang memenuhi kapasitas desain secara satu arah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aec (Uk). (2012). AEC (UK) *BIM Protocol. BIM-Legal*.
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15–28. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726-2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*.
- Bhusar, A. A., & Akhare, A. R. (2014). Application of *BIM* in Structural Engineering. *SSRG International Journal of Civil Engineering*.
- Chuck Eastman, Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. In *Notes and Queries* (Vols. s7-II, Issue 32). <https://doi.org/10.1093/nq/s7-II.32.110-e>
- Firoz, S., & Rao, S. K. (2012). Modelling Concept of Sustainable Steel Building by Tekla Software. *International Journal of Engineering Research and Development*.
- Flager, F., Welle, B., Bansal, P., Soremekun, G., & Haymaker, J. (2009). Multidisciplinary process integration and design optimization of a classroom building. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*.
- Fuadie, D. F., Rahmawati, Y., & Utomo, C. (2017). Factors of Design Errors in Construction Project (A Review). *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 3(6). <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017.i6.3263>
- Gkimpraxis, A., Tubaldi, E., & Douglas, J. (2020). Evaluating alternative approaches for the seismic design of *Structures*. In *Bulletin of Earthquake Engineering* (Vol. 18, Issue 9). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00858-4>
- Ladjinovic, D., Raseta, A., Radujkovic, A., & Folic, R. (2012). Comparison of Structural Models for Seismic Analysis of Multi-Storey Frame Buildings. *15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon Portugal*.
- Malla, S., Karanjit, S., Dangol, P., & Gautam, D. (2019). Seismic performance of high-rise condominium building during the 2015 Gorkha earthquake sequence. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings9020036>
- Milyutina, M. A. (2018). Introduction of Building Information Modeling (BIM) Technologies in Construction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1015(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/4/042038>
- Minawati, R., Chandra, H. P., & Nugraha, P. (2019). *Manfaat Penggunaan Software Tekla Building Information Modeling (BIM) Pada Proyek Design-Build*. 1–8.
- Mulyani, R., Ahmadi, R., Pilakoutas, K., Hajirasouliha, I., & Taufik. (2015). A multi-hazard risk assessment of buildings in Padang city. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.093>
- Newswire, P. R. (2015). Trimble Improves Construction Project Workflow with Tekla Structures 21 BIM Software. In *TRIMBLE-Introduce*.
- P, C. A. B., Adhi, R. P., Hidayat, A., & Nugroho, H. (2016). *Daya Manusia Antara Metode Building Information Modelling (BIM) Dan Konvensional (Studi Kasus : Perencanaan Gedung 20 Lantai)*. 5, 220–229.
- Pradhana, R. A., Pratama, M. M. A., Santoso, E., & Karjanto, A. (2019). Structural performance of multi-storey building using flat slab and conventional slab to seismic loads (Case study: Faculty building of Sport Science in Universitas Negeri Malang, Indonesia). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/669/1/012053>
- Simatupang, P. H., Sir, T. M. W., & Wadu, V. A. (2020). *Integrasi Program Tekla*

- Structures Dan SAP2000 Dalam Perencanaan Gedung Beton Struktural. IX(1), 67–80.*
- Stanway, J., Sullivan, T., & Dhakal, R. (2020). *Design, Construction and Seismic Performance of Non- Structural Elements in New Zealand. September.*
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. In Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.*
- Wang, H. (2017). Research on design of high rise building based on seismic design theory. *Chemical Engineering Transactions. https://doi.org/10.3303/CET1759086*