

Analisis dan Redesain Struktur Gedung Perpustakaan Daerah 3 Lantai Mengacu ACI 318M-14

Structural Analysis and Redesign of A Three-Story Regional Library Building Acordance ACI 318M-14

Heri Ahmadi¹, Giri Mulya Bimo Putra^{2*}, Sri Hartati Dewi³, Mahadi Kurniawan⁴,
Sy. Sarah Alwiah⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru, Indonesia

* Penulis korespondensi : bimoputra667@gmail.com

Tel.: +62-823-91218422

Diterima: Apr 9, 2026; Direvisi: Mei 10, 2026; Disetujui: Mei 12, 2026.

DOI: 10.25299/saintis.2026.vol26(01).27771

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Perpustakaan Daerah 3 lantai serta melakukan redesain pada elemen struktur yang belum memenuhi persyaratan kekuatan dan batas layanan. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada struktur utama beton bertulang, meliputi balok, kolom, dan pelat, dengan acuan perencanaan ACI 318M-14, pembebanan SNI 1727:2020, serta analisis gempa SNI 1726:2019. Metode yang digunakan adalah analisis struktur tiga dimensi berbasis data sekunder dari dokumen Detail Engineering Design (DED) menggunakan perangkat lunak Tekla Structural Designer. Tahapan analisis meliputi penentuan beban mati, beban hidup, beban gempa metode respons spektrum, pemeriksaan partisipasi massa, simpangan antar lantai, efek orde kedua (P- Δ), dan kontrol kapasitas elemen. Hasil analisis struktur eksisting menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa elemen yang tidak memenuhi kriteria desain, sehingga diperlukan penyesuaian dimensi penampang dan penambahan tulangan pada elemen tertentu. Setelah dilakukan redesain, seluruh elemen struktur dinyatakan memenuhi persyaratan kekuatan ultimit dan batas simpangan antar lantai yang diizinkan. Dengan demikian, struktur gedung perpustakaan dinyatakan stabil, aman terhadap beban gempa, dan layak digunakan.

Kata Kunci: analisis struktur, redesain, gempa, simpangan antar lantai, p-delta, software tekla structural designer, ACI 318M-14

Abstract

This study aims to evaluate the structural performance of a three-story Regional Library Building and to redesign structural elements that do not meet strength and serviceability requirements. The scope of the study is limited to the reinforced concrete structural system, including beams, columns, and slabs, based on ACI 318M-14, loading standard SNI 1727:2020, and seismic analysis SNI 1726:2019. The method employed is a three-dimensional structural analysis using secondary data obtained from the Detail Engineering Design (DED) documents and modeled with Tekla Structural Designer software. The analysis stages include determination of dead loads, live loads, seismic loads using the response spectrum method, mass participation evaluation, inter-story drift control, second-order (P- Δ) effects, and structural element capacity checks. The results of the existing structure analysis indicate that several elements do not satisfy design criteria, thus requiring adjustment of cross-sectional dimensions and reinforcement detailing. After the redesign process, all structural elements meet the ultimate strength and allowable inter-story drift requirements. Therefore, the library building structure is considered stable, earthquake-resistant, and suitable for use.

Keywords: structural analysis, redesign, seismic, story drift, p-delta, software tekla structural designer, ACI 318M-14

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur gedung bertingkat publik, seperti perpustakaan daerah, memegang peranan krusial dalam menunjang kegiatan masyarakat, sehingga keandalan dan keamanan strukturnya harus diutamakan [1]. Material beton bertulang sering menjadi pilihan utama dalam konstruksi gedung di Indonesia karena memiliki keunggulan berupa kuat tekan yang tinggi serta fleksibilitas dalam pembentukan geometris elemen struktur [2]. Namun, letak geografis Indonesia yang berada di cincin api pasifik menjadi

kannya wilayah yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini menuntut setiap bangunan publik untuk dirancang dengan tingkat ketahanan seismik yang sangat memadai guna meminimalisir risiko keruntuhan dan mencegah jatuhnya korban jiwa [3].

Seiring dengan bertambahnya pemahaman mengenai perilaku seismik bangunan, standar peraturan perencanaan struktur terus diperbarui. Evaluasi dan redesain struktur eksisting seringkali menjadi langkah wajib ketika dokumen perencanaan

awal sebuah gedung terindikasi belum sepenuhnya memenuhi pembaruan standar keamanan struktural. Dalam konteks nasional, acuan yang kini digunakan adalah SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa dan SNI 1727:2020 tentang pembebanan minimum [4][5]. Ketidakmampuan elemen struktur eksisting, baik balok maupun kolom, dalam menahan distribusi beban lateral gempa seringkali dijumpai pada proses evaluasi, sehingga redesain mendetail menjadi solusi mitigasi yang tidak bisa dihindari [6][7].

Untuk perancangan struktur gedung di wilayah dengan kategori risiko gempa menengah hingga tinggi, penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sangat direkomendasikan. Sistem perancangan ini menuntut detail penulangan pengekan yang ketat serta penerapan konsep desain kapasitas (*capacity design*) dengan prinsip kolom kuat-balok lemah atau *Strong Column-Weak Beam* (SCWB) [8][9]. Mengingat beberapa perangkat lunak rekayasa komersial seringkali memiliki keterbatasan operasional dalam mengakomodasi keseluruhan regulasi SNI secara otomatis, para perencana kerap mengadopsi standar internasional ekuivalen seperti pedoman ACI 318M-14 [10]. Penggunaan ACI 318M-14 terbukti sangat relevan karena diadopsi secara substansial oleh SNI 2847:2019 mengenai persyaratan beton struktural di Indonesia [11].

Berbagai studi terdahulu membuktikan bahwa banyak struktur gedung eksisting memerlukan intervensi penyesuaian dimensi dan rasio tulangan baja (redesain) guna mengatasi kegagalan pada batas layan, seperti terlampauinya batas simpangan antar lantai (*story drift*) dan ketidakstabilan terhadap efek orde kedua atau $P - \Delta$ [12][13]. Evaluasi komprehensif pada setiap elemen struktur kritis sangat diperlukan sebelum suatu gedung fasilitas publik diserahkan dan dioperasikan secara penuh [14][15].

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan studi evaluasi dan redesain struktur yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Perpustakaan Umum Daerah. Bangunan yang menjadi objek studi adalah gedung perpustakaan berlantai tiga dengan tinggi total 12 meter dan luas bangunan mencapai 2.040 m², yang seluruhnya bertumpu pada sistem struktur utama beton bertulang.

Metode pengumpulan data bertumpu pada pemanfaatan data sekunder. Data teknis utama

diperoleh dari pihak kontraktor berupa gambar *Detail Engineering Design* (DED) struktur eksisting.

Perlu ditekankan bahwa penelitian ini membatasi ruang lingkupnya dengan hanya menggunakan dokumen *Detail Engineering Design* (DED) tersebut sebagai satu-satunya acuan pemodelan struktur eksisting. Evaluasi pada studi ini tidak mencakup verifikasi kondisi aktual di lapangan, pengujian mutu material (*non-destructive maupun destructive test*), ataupun tinjauan terhadap gambar terbangun (*as-built drawing*). Oleh karena itu, seluruh hasil analisis dan redesain didasarkan pada asumsi teknis bahwa pelaksanaan konstruksi di lapangan diasumsikan sepenuhnya presisi dan sesuai dengan spesifikasi yang tertera pada dokumen DED.

Sebagai instrumen regulasi dan standar perancangan, penelitian ini mengacu pada persyaratan perancangan beton struktural dari *American Concrete Institute* (ACI 318M-14), tata cara pembebanan minimum untuk gedung menurut SNI 1727:2020, serta tata cara perencanaan ketahanan gempa menggunakan analisis spektrum respons berdasarkan SNI 1726:2019.

Spesifikasi Material Struktur

Pada penelitian ini spesifikasi material struktur yang digunakan pada struktur gedung adalah sebagai berikut :

1. Mutu beton untuk kolom, balok dan pelat lantai adalah $f'_c = 21$ Mpa
2. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah $f_y = 420$ MPa

Pembebanan Gedung

Dalam proses analisis struktur gedung, diperlukan data pembebanan yang akan dipikul oleh elemen-elemen struktur sebagai dasar perencanaan. Beban yang diperhitungkan dalam penelitian ini meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Penentuan besaran beban mati dan beban hidup mengacu pada ketentuan yang berlaku sesuai dengan standar. Rincian beban mati disajikan pada Tabel 1 dan 2, sedangkan beban hidup ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Daftar Beban Mati Area

Material	Berat (kN/m ²)	Sumber
Keramik + Spesi	0,77	SNI 1727:2020
Plafond + Rangka	0,552	SNI 1727:2020
ME	0,19	SNI 1727:2020

Tabel 2. Daftar Beban Mati Garis

Material	Berat (kN/m^2)	Sumber
Bata Merah	2,5	PPIUG-1987
Plesteran	0,48	PPIUG-1987
Rangka Partisi	0,38	SNI 1727:2020
Gypsum	0,1	SNI 1727:2020
Bata Roster	1,1	Website

Tabel 3. Daftar Beban Hidup

Fungsi Ruang	Berat (kN/m^2)	Sumber
Ruang Baca	2,87	SNI 1727:2020
Musholla	4,79	SNI 1727:2020
Toilet	2,87	SNI 1727:2020
Ruang Penyimpanan	7,18	SNI 1727:2020
Ruang Audiovisual	4,79	SNI 1727:2020
Ruang Kantor	2,4	SNI 1727:2020
Selasar	3,83	SNI 1727:2020
Dak Atas	4,79	SNI 1727:2020

Beban gempa yang digunakan dalam penelitian ini dianalisis menggunakan metode respons spektrum. Data respons spektrum diperoleh *website* RSA Cipta Karya berdasarkan lokasi studi di Kota Pelalawan. Setelah data beban gempa diperoleh, selanjutnya dilakukan penyusunan kombinasi pembebanan sesuai dengan ketentuan dalam peraturan.

Data Struktur

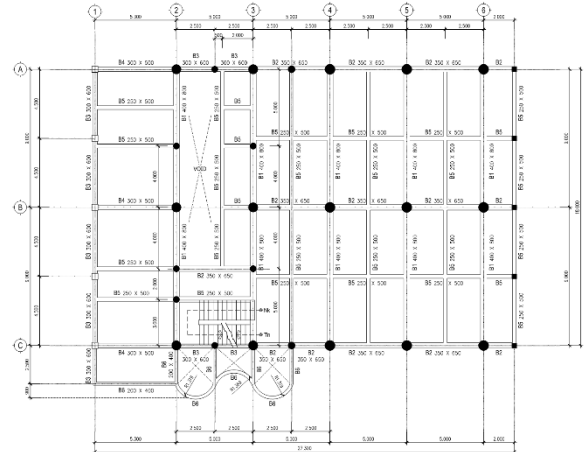
Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, diperlukan berbagai data terkait elemen struktur, seperti dimensi balok, pelat lantai, dan kolom. Data-data tersebut menjadi dasar dalam proses analisis dan perancangan struktur.

- Adapun rincian dimensi elemen struktur pada bangunan gedung ini disajikan pada Tabel 4

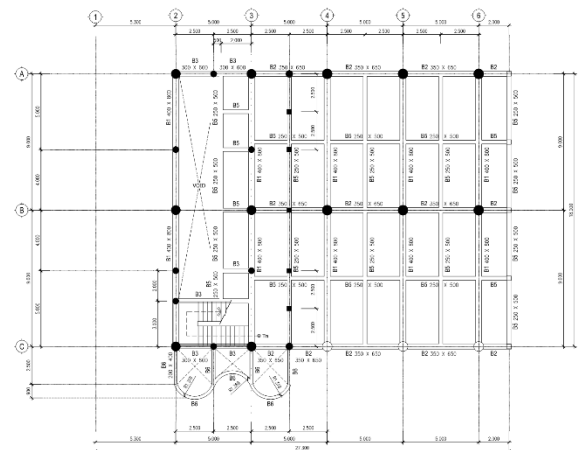
Tabel 4. Dimensi Elemen Struktur Gedung

Jenis Struktur	Dimensi (mm)
Balok, (B1)	400 × 800
Balok, (B2)	350 × 650
Balok, (B3)	300 × 600
Balok, (B4)	300 × 500
Balok, (B5)	250 × 500
Balok, (B6)	200 × 400
Balok, (B7)	250 × 400
Balok, (B8)	200 × 200
Balok, (B9)	350 × 700
Balok, (B10)	350 × 600
Kolom, (K1)	Ø 650
Kolom, (K2)	Ø 600
Kolom, (K3)	Ø 450
Kolom, (K4)	Ø 400
Kolom, (K5)	500 × 500
Kolom, (KP1)	300 × 300
Kolom, (KP2)	200 × 200
Pelat Lantai	130
Pelat Tangga	150

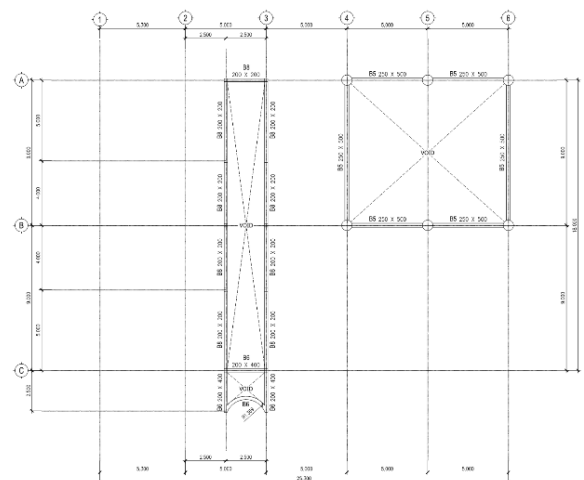
- Denah struktur gedung yang menggambarkan tata letak elemen-elemen struktur serta pemodelan tiga dimensi yang merepresentasikan bentuk keseluruhan struktur gedung secara visual dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



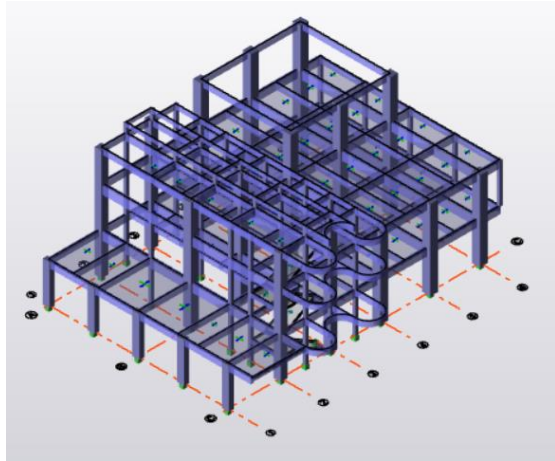
Gambar 1. Denah Bangunan Lt.2



Gambar 2. Denah Bangunan Lt.3



Gambar 3. Denah Bangunan Lt. Atas



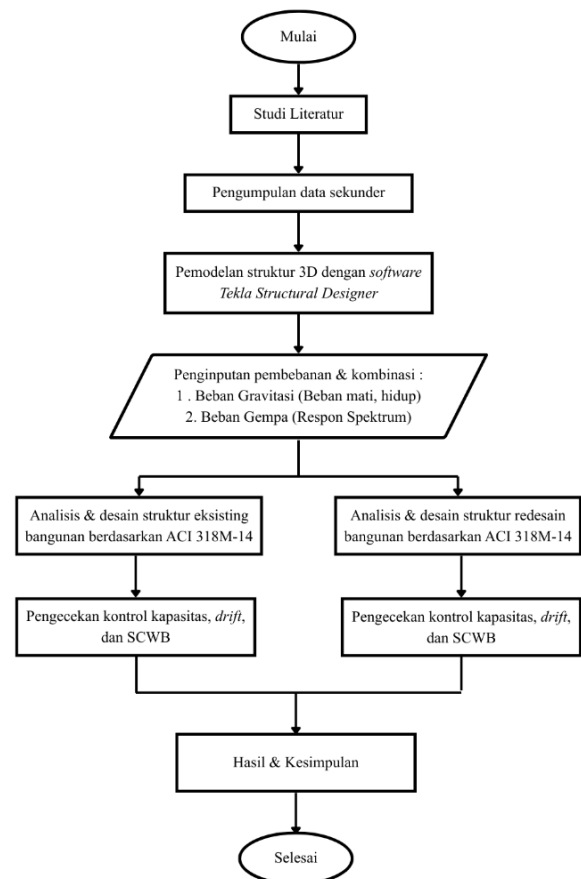
Gambar 4. Pemodelan 3 Dimensi Struktur Bangunan Gedung

Tahapan Penelitian

Tahapan analisis dalam penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi dan mengkalkulasi seluruh pembebanan yang bekerja pada struktur, meliputi beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban atap) serta beban gempa dinamik. Tahap selanjutnya adalah pemodelan struktur tiga dimensi (3D) beserta analisis gaya dalamnya secara numerik yang dieksekusi menggunakan perangkat lunak *Tekla Structural Designer* 2025.

Proses evaluasi kinerja struktur difokuskan pada elemen utama penyusun rangka, yaitu balok, kolom, dan pelat lantai. Parameter pemeriksaan didasarkan pada ketentuan batas keamanan ACI 318M-14 dan SNI 1726:2019 kegempaan, yang meliputi kontrol kapasitas penampang (kekuatan lentur dan geser), evaluasi rasio simpangan antar lantai (story drift), pemeriksaan stabilitas terhadap efek orde kedua (P-Delta), serta verifikasi filosofi desain kapasitas rasio kolom kuat-balok lemah atau *Strong Column-Weak Beam* (SCWB). Apabila hasil evaluasi pada model eksisting menunjukkan adanya elemen yang tidak memenuhi syarat batas tegangan maupun layan (*fail*), maka tahap penelitian dilanjutkan dengan langkah redesain. Proses redesain tersebut mencakup iterasi penyesuaian dimensi penampang maupun modifikasi konfigurasi rasio tulangan, hingga seluruh elemen struktural dinyatakan lulus uji kinerja (*pass*) dan dipastikan aman terhadap seluruh skenario kombinasi pembebanan.

Berikut ini adalah bagan alir tahapan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan dan Pembebanan Struktur

Tahap awal evaluasi dimulai dengan pemodelan 3D struktur Gedung Perpustakaan Daerah menggunakan perangkat lunak *Tekla Structural Designer* berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) eksisting. Struktur ini dimodelkan menggunakan material beton dengan mutu kuat tekan (f'_c) 21 MPa dan kuat leleh baja tulangan (f_y) 420 MPa. Pembebanan gravitasi, yang meliputi beban mati tambahan dan beban hidup, ditetapkan berdasarkan spesifikasi material dan fungsi ruang (perpustakaan) dengan mengacu pada SNI 1727:2020. Untuk beban lateral gempa, analisis dilakukan menggunakan metode dinamik *Response Spectrum Analysis* (RSA) berdasarkan SNI 1726:2019. Struktur ini berlokasi di Provinsi Riau, dengan kondisi kelas situs tanah lunak (SE), Kategori Desain Seismik D, dan didesain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Evaluasi Kinerja Struktur Eksisting

Hasil *running analysis* dinamik menunjukkan bahwa respons struktur secara global (makro) tergolong baik. Partisipasi massa ragam (*mass participation ratio*) telah mencapai syarat minimum

≥ 90% pada arah ortogonal utama. Selain itu, kinerja batas layan struktur terpenuhi, simpangan antar lantai (*story drift*) dan stabilitas terhadap efek orde kedua (P-Delta) masih berada di bawah batas izin aman yang diwajibkan regulasi. Pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 akan ditampilkan hasil *output* partisipasi massa rasio, jumlah ragam, simpangan antar lantai, dan pengecekan efek P-Delta pada struktur eksisting.

Tabel 5. Partisipasi Massa Rasio Eksisting

Mode Number	Period	Mass Participation on Dir 1	Mass Participation on Dir 2
	[Sec]	[%]	[%]
1	0,7	8,16	71,03
2	0,7	79,70	7,69

Tabel 6. Jumlah Ragam Eksisting

Number of Modes Found	Participation on Translation Dir 1	Participation on Translation Dir 1
	[%]	[%]
20	99,10	98,98

Tabel 7. Rasio Drift dan P-Delta Eksisting

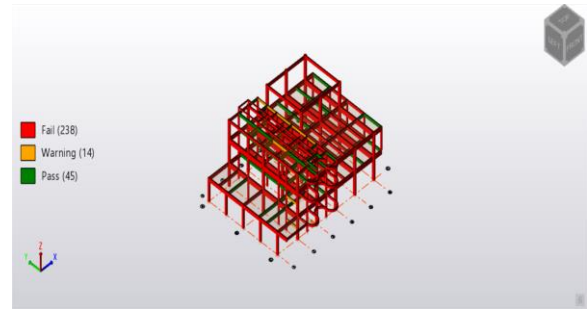
Level	Drift Ratio Dir 1	$\theta_{Dir 1}$ Ratio	Drift Ratio Dir 1	$\theta_{Dir 1}$ Ratio
Lt.3	0,505	0,212	0,547	0,249

Tabel 8. Kesimpulan Hasil Analisis dan Desain Balok Struktur Eksisting

Tipe (Bentang)	Dimensi (mm)	Keterangan	ACI 318M-14
B1 (9)	400/800	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars - Maximum side face bar spacing	- - Sec. 24.3.2
B2 (5)	350/650	- Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- - Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2
B2(2)	350/650	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars - As.req / As.prov > 1, Link Bars	- -
B3 (5)	300/600	- As.req / As.prov > 1, Side Face Steel - Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- - Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2
B3 (4,5)	300/600	- As.req / As.prov > 1, Side Face Steel - Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- - Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2
B3 (2,5)	300/600	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars	-
B3 (2)	300/600	- PASS	-
B4 (5,4)	300/500	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars - Maximum allowed link spacing	- - Sec. 18.6.4.4
B5 (9)	250/500	- Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- - Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2

Level	Drift Ratio Dir 1	$\theta_{Dir 1}$ Ratio	Drift Ratio Dir 1	$\theta_{Dir 1}$ Ratio
Lt.2	0,525	0,398	0,505	0,320

Meskipun stabilitas global terpenuhi secara deformasi, evaluasi kapasitas (mikro) pada elemen struktural eksisting menunjukkan banyak elemen tidak lulus uji (*fail*).



Gambar 6. Hasil Desain Software

Sebagian besar elemen balok mengalami kegagalan pada analisis RSA akibat tidak terpenuhinya kapasitas lentur, batas geser, dan pelanggaran spasi sengkang di zona sendi plastis. Pada Tabel 8 di tampilkan secara lengkap status pada setiap elemen balok :

Tipe (Bentang)	Dimensi (mm)	Keterangan		ACI 318M-14
B5 (5,3)	250/500	- PASS	-	-
B5 (5)	250/500	- Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- Scr.max = 96 mm < Scr.prov = 100 mm - Nlegs.min = 3 > Nlegs.prov = 2	- Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2
B5 (4,5)	250/500	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars	-	-
B5 (4)	250/500	- PASS	-	-
B5 (2)	250/500	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars	-	-
B6 (5,3)	200/400	- PASS	-	-
B6 (4)	200/400	- PASS	-	-
B6 (2,5)	200/400	- As.total / As.prov > 1, Longitudinal Bars	-	-
B6 (CIR)	200/400	- Maximum allowed torsion link spacing	- St.max = 106 mm < St.prov = 120 mm	- Sec. 9.7.6.3.3
B7 (9)	250/400	- Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- Scr.max = 82 mm < Scr.prov = 100 mm - Nlegs.min = 3 > Nlegs.prov = 2	- Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2
B7 (5)	250/400	- Maximum allowed link spacing - Minimum number of legs required to restrain longitudinal bars	- Scr.max = 82 mm < Scr.prov = 100 mm - Nlegs.min = 3 > Nlegs.prov = 2	- Sec. 18.6.4.4 - Sec. 18.6.4.2
B7 (2,5)	250/400	- PASS	-	-
B8	200/200	- Maximum allowed link spacing - Maximum allowed steel area in region	- Smax = 59,6 mm - As.prov (399) > As.min (369)	- Sec. 9.7.6.2.2
B9 (2,5)	350/700	- PASS	-	-
B10 (2,5)	350/600	- PASS	-	-

Pada elemen kolom, kegagalan dominan diakibatkan oleh kurangnya luas tulangan longitudinal, ketidaksesuaian spasi sengkang pengekang seismik, serta tidak terpenuhinya prinsip

desain kapasitas rasio *Strong Column-Weak Beam* (SCWB) $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$ yang diwajibkan oleh standar ACI 318M-14. Pada Tabel 9 di tampilan secara lengkap status pada setiap elemen kolom:

Tabel 9. Kesimpulan Hasil Analisis dan Desain Kolom Struktur Eksisting

Tipe	Dimensi (mm)	Keterangan		ACI 318M-14
K1	Dia650	- Minimum allowed longitudinal reinforcement area - Minimum allowed link diameter - Maximum allowed link support region - Maximum allowed link span region - SCWB	- Asl = 3216 < Asl.min (1%) = 3318 - dl.min = 9,5 mm < dl.prov = 8 mm - Scr.max.sup = 96 mm < Ssup = 100 mm - Scr.max.span = 96 mm < Sspan = 130 mm - $\Sigma M_{nc} < 1,2 \Sigma M_{nb}$	- Sec. 10.6.1.1 - Sec. 25.7.2.2 - Sec. 18.7.5.3 & 18.8.3.1 - Sec. 18.7.5.5 - Sec. 18.7.3
K2	Dia600	- Minimum allowed longitudinal reinforcement area - Minimum allowed link diameter - Joint strength utilization ratio > 1 - SCWB - Maximum allowed link support region - Maximum allowed link span region	- Asl = 2814 < Asl.min (1%) = 2827 - dl.min = 9,5 mm < dl.prov = 8 mm - $\Sigma M_{nc} < 1,2 \Sigma M_{nb}$ - Scr.max.sup = 96 mm < Ssup = 100 mm - Scr.max.span = 96 mm < Sspan = 130 mm	- Sec. 10.6.1.1 - Sec. 25.7.2.2 - Sec. 18.7.3 - Sec. 18.7.5.3 & 18.8.3.1 - Sec. 18.7.5.5
K3	Dia450	- Minimum allowed Link diameter	- dl.min = 9,5 mm < dl.prov = 8 mm	- Sec. 25.7.2.2
K4	Dia400	- Minimum allowed Link diameter	- dl.min = 9,5 mm < dl.prov = 8 mm	- Sec. 25.7.2.2
K5	400/400	- Minimum allowed Link diameter - SCWB - Maximum allowed link support region - Maximum allowed link span region	- dl.min = 9,5 mm < dl.prov = 8 mm - $\Sigma M_{nc} < 1,2 \Sigma M_{nb}$ - Scr.max.sup = 96 mm < Ssup = 100 mm - Scr.max.span = 96 mm < Sspan = 130 mm	- Sec. 25.7.2.2 - Sec. 18.7.3 - Sec. 18.7.5.3 & 18.8.3.1 - Sec. 18.7.5.5
KP1	300/300	- Moment resistance ratio > 1 - Maximum link spacing along column	- Smax = 122,8 mm < S = 150 mm	-

<i>Tipe</i>	<i>Dimensi (mm)</i>	<i>Keterangan</i>		<i>ACI 318M-14</i>
		- <i>Minimum allowed link diameter</i>	- $dl.min = 9,5 \text{ mm} < dl.prov = 8 \text{ mm}$	- Sec. 10.7.6.5.2 - Sec. 25.7.2.2
KP2	200/200	- <i>Minimum allowed clear bar spacing</i> - <i>Minimum allowed link diameter</i>	- $Scl.min = 40 \text{ mm} < Scl.smallest = 32,5 \text{ mm}$ - $dl.min = 9,5 \text{ mm} < dl.prov = 8 \text{ mm}$	- Sec. 25.2.3 - Sec. 25.7.2.2

Di sisi lain, hampir seluruh elemen pelat dinilai aman (*pass*) dan mampu menahan momen

layan. Pada Tabel 10 di tampilkan secara lengkap status pada setiap elemen kolom :

Tabel 10. Kesimpulan Hasil Analisis dan Desain Pelat Struktur Eksisting

<i>Ukuran Panel</i>	<i>Tebal (mm)</i>	<i>Keterangan</i>		<i>ACI 318M-14</i>
5,3 m x 3 m	130 mm	- <i>Minimum depth of slab</i>	- $hmin = 135,4 \text{ mm} < h = 130 \text{ mm}$	- Sec. 8.3.1.2 & Table 8.23.1.2
5,3 m x 4 m	130 mm	- <i>Minimum depth of slab</i>	- $hmin = 141,2 \text{ mm} < h = 130 \text{ mm}$	- Sec. 8.3.1.2 & Table 8.23.1.2

Sebagai langkah kontrol dan validasi terhadap hasil analisis desain awal yang menunjukkan banyak elemen eksisting mengalami kegagalan (*fail*), telah dilakukan tahapan verifikasi ulang terhadap seluruh parameter input pemodelan. Verifikasi ini mencakup pengecekan silang (*cross-check*) terhadap mutu material beton dan baja tulangan, besaran beban gravitasi dan gempa, serta konfigurasi perletakan agar secara presisi merepresentasikan dokumen DED. Hasil kontrol memastikan bahwa kegagalan penampang murni disebabkan oleh detailing DED awal yang belum mengakomodasi persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan ACI 318M-14, khususnya terkait spasi sengkang pengekan seismik dan pemenuhan filosofi *Strong Column-Weak Beam* (SCWB).

Redesain Struktur dan Penyusain Elemen

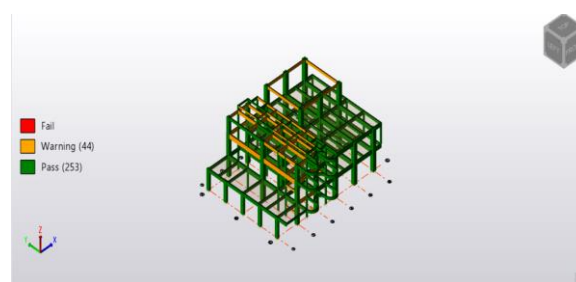
Meninjau banyaknya elemen balok dan kolom yang gagal memikul beban kombinasi gempa dinamik akibat tuntutan detailing SRPMK, dilakukan redesain tanpa mengubah konfigurasi arsitektural maupun grid struktur awal. Proses redesain berfokus pada penyesuaian dimensi penampang, serta peningkatan rasio dan pengaturan ulang spasi tulangan transversal (sengkang) di daerah tumpuan maupun lapangan untuk balok dan kolom.

Dasar penentuan dimensi penampang dan penambahan tulangan yang baru pada proses redesain ini dilakukan melalui metode iterasi bertahap (*trial and error*). Penyesuaian diawali dengan menetapkan dimensi batas minimum dan rasio tulangan terkecil yang diizinkan oleh standar ACI 318M-14 untuk elemen SRPMK, yang kemudian ditingkatkan hingga elemen tersebut mencapai

status aman (*pass*) terhadap kontrol kapasitas ultimit dan batas layan.

Terkait peluang optimasi, penggunaan dimensi penampang dan rasio tulangan yang lebih kecil dari hasil redesain yang diajukan secara teoritis masih memungkinkan untuk dilakukan. Namun, reduksi tersebut sangat dibatasi oleh beberapa faktor penentu, antara lain: batas minimum persentase tulangan (batas minimal tulangan longitudinal kolom sebesar 1%), pemenuhan syarat simpangan antar lantai (*story drift*), serta kewajiban menjaga rasio momen kapasitas kolom terhadap balok agar tetap memenuhi kriteria SCWB. Dalam studi ini, dimensi yang ditetapkan merupakan dimensi optimal terkecil pertama dari hasil iterasi yang diizinkan oleh *software* untuk memenuhi seluruh kontrol SRPMK tanpa harus mengubah konfigurasi arsitektural bangunan.

Hasil *running analysis* pasca-redesain menunjukkan bahwa seluruh elemen struktur utama (kolom, balok, dan pelat) telah beralih status menjadi aman (*pass*). Seluruh kriteria kekuatan aksial, lentur, geser, serta detailing pengekan seismik telah memenuhi batas toleransi yang ditetapkan oleh ACI 318M-14. Pada gambar 7 di tampilkan visual 3 dimensi hasil redesain.



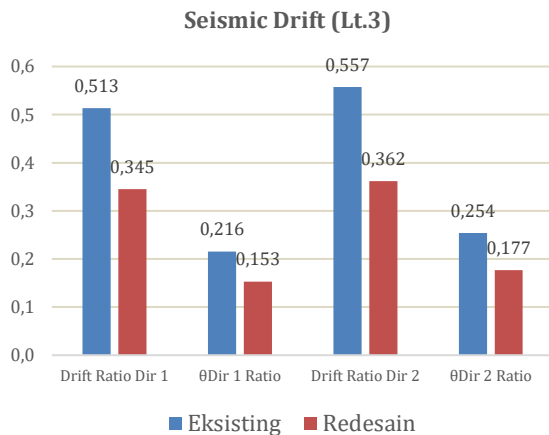
Gambar 7. Hasil Redesain *Software*

Perbandingan Kinerja (Eksisting dengan Redesain)

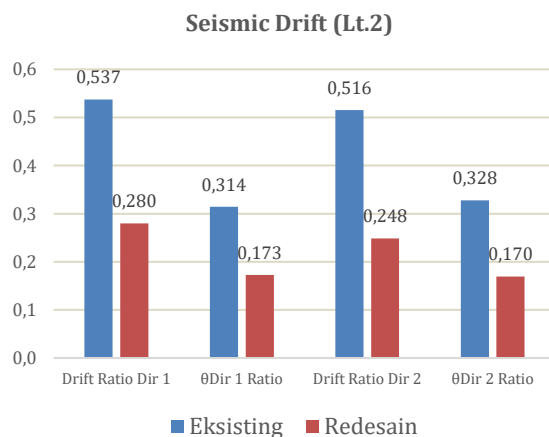
Perbandingan desain antara model eksisting dan hasil redesain membuktikan adanya signifikansi perbaikan pada kinerja struktur tahan gempa:

1. Seismic Drift dan P-Delta

Pada gambar 8 dan gambar 9 di tampilkan hasil perbandingan *seismic drift* dan P-delta.



Gambar 8. Grafik Seismic Drift Lt.3

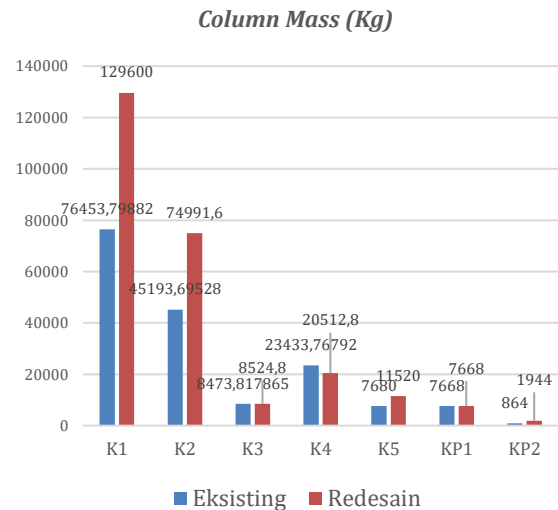


Gambar 9. Grafik Seismic Drift Lt.2

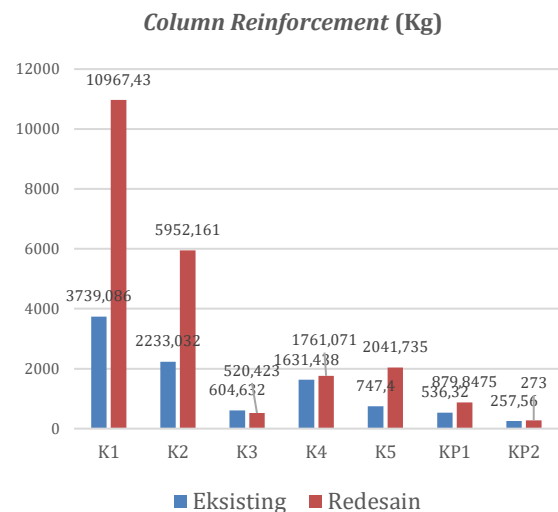
Pada Gambar 9 terjadi penurunan nilai rasio simpangan antar lantai (*drift ratio*) pada struktur hasil redesain di semua arah. Sebagai contoh, *drift ratio* pada lantai 3 arah sumbu X menurun dari 0,513 menjadi 0,345, dan arah Y menurun dari 0,557 menjadi 0,362. Penurunan ini menunjukkan bahwa struktur redesain memiliki tingkat kekakuan lateral yang jauh lebih baik dalam mengontrol deformasi akibat gaya gempa.

2. Perubahan Massa dan Tulangan

Pada gambar 10, 11, 12, 13, 14 dan 15 di tampilkan hasil perbandingan mass dan tulangan dari elemen struktur kolom, balok, dan pelat lantai.

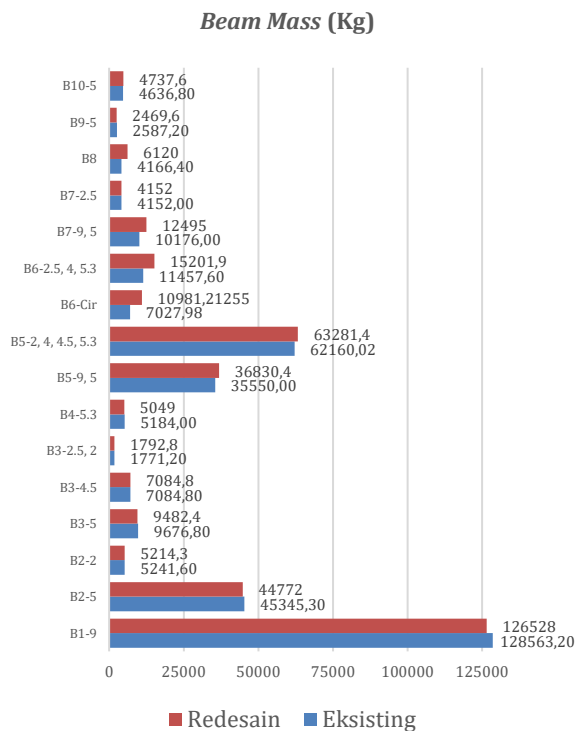


Gambar 10. Grafik Column Mass

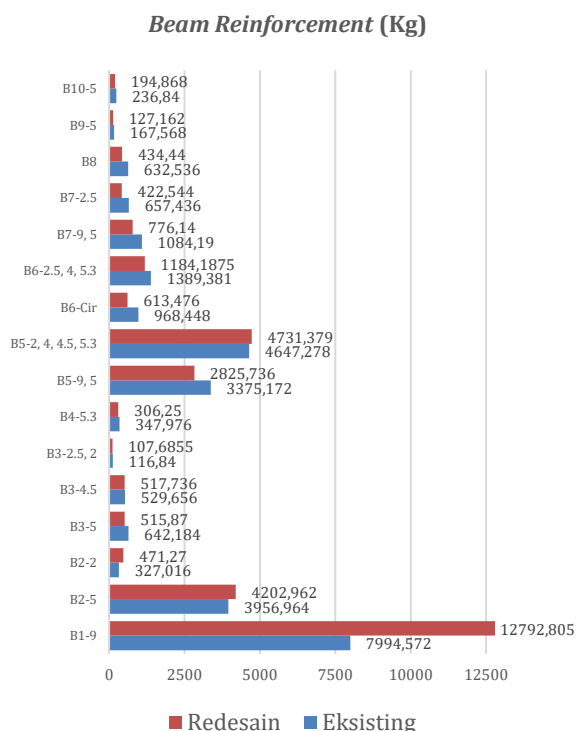


Gambar 11. Grafik Column Reinforcement

Untuk memenuhi kriteria SCWB dan detailing pengekanan gempa tinggi, terjadi peningkatan massa dan lonjakan kebutuhan tulangan baja yang signifikan. Peningkatan massa paling signifikan terjadi pada kolom K1, yaitu dari 76.453,79 kg menjadi 129.600 kg, serta K2 dari 45.193,69 kg menjadi 74.991,6 kg, sedangkan penurunan massa hanya terjadi pada kolom K4 dari 23.433,76 kg menjadi 20.512,8 kg. Pola serupa juga terlihat pada grafik *Column Reinforcement*, di mana nilai penulangan redesain secara umum mengalami peningkatan tajam, terutama pada kolom K1 yang naik dari 3.739,08 kg menjadi 10.967,43 kg dan K2 dari 2.233,03 kg menjadi 5.952,16 kg, sementara pada kolom K3 terjadi sedikit penurunan kebutuhan tulangan dari 604,63 kg menjadi 520,42 kg.



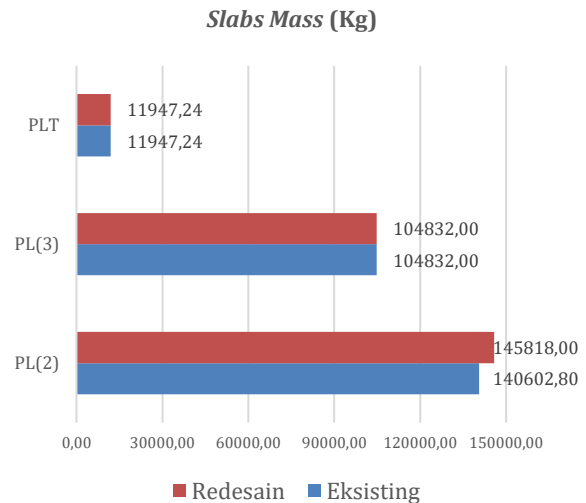
Gambar 12. Grafik *Beam Mass*



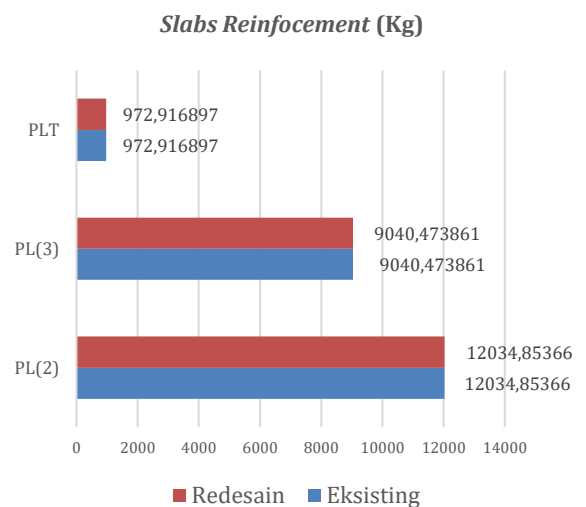
Gambar 13. Grafik *Beam Reinforcement*

Pada komponen balok, rasio kebutuhan tulangan meningkat secara bervariasi namun relatif stabil, dengan balok utama penyangga beban terbesar seperti B1-9 mengalami sedikit penurunan massa dari 128.563,20 menjadi 126.528, meskipun pada beberapa tipe balok lain, seperti B6-2.5 dan B8, terjadi penyesuaian berupa penambahan massa.

Sementara itu, grafik *Beam Reinforcement* menunjukkan adanya lonjakan kebutuhan tulangan baja yang sangat signifikan pada balok utama B1-9, yaitu dari 7.994,57 menjadi 12.792,80, namun di sisi lain redesain juga menghasilkan penghematan penggunaan baja pada sebagian besar balok menengah ke bawah, seperti B5-9, B6-Cir, B7-9, hingga B9-5.



Gambar 14. Grafik *Slabs Mass*



Gambar 15. Grafik *Slabs Reinforcement*

Massa dan kebutuhan tulangan pada pelat lantai relatif stabil dan tidak memerlukan modifikasi berarti. Perubahan sedikit pada elemen pelat lantai setelah redesain tergolong sangat minimal, di mana tipe PL (Lt.2) mengalami sedikit peningkatan massa dari 140.602,80 kg menjadi 145.818,00 kg, sedangkan tipe PL (Lt.3) dan PLT tidak mengalami perubahan massa sama sekali, masing-masing tetap pada nilai 104.832,00 kg dan 11.947,24 kg. Selain itu, hasil pada grafik *Slabs Reinforcement* menunjukkan

bahwa redesain tidak memengaruhi kebutuhan tulangan baja pada elemen pelat lantai, karena seluruh tipe pelat, yaitu PL (Lt.2), PL (Lt.3), dan PLT, mempertahankan nilai penulangan yang sama seperti kondisi eksisting, masing-masing sebesar 12.034,85 kg; 9.040,47 kg; dan 972,91 kg.

Secara keseluruhan, intervensi redesain pada elemen struktur utama (balok dan kolom) terbukti efektif dalam menyerap energi gempa dan menjamin mekanisme keruntuhan daktail, sehingga bangunan terhindar dari kegagalan struktur yang bersifat getas dan keruntuhan tingkat lunak (*soft-story*).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik dan evaluasi redesain struktur Gedung Perpustakaan Daerah 3 Lantai yang mengacu pada standar ACI 318M-14 dan SNI kegempaan, dapat disimpulkan bahwa desain eksisting pada awalnya tidak memenuhi kualifikasi batas keamanan akibat ketidakcukupan kapasitas lentur dan geser, pelanggaran spasi sengkang, serta kegagalan pemenuhan kriteria *Strong Column-Weak Beam* (SCWB). Untuk mengatasi kelemahan tersebut, dilakukan intervensi redesain yang mencakup pembesaran dimensi penampang beton dan penyesuaian ketebalan pelat, yang secara langsung berimplikasi pada peningkatan massa struktur total secara signifikan. Peningkatan massa ini berjalan lurus dengan lonjakan kebutuhan rasio penulangan (*reinforcement*), baik pada tulangan longitudinal maupun transversal, khususnya pada area pilar kolom utama dan balok bentang panjang demi memenuhi tuntutan detailing pengkekangan seismik tingkat tinggi dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Meskipun membawa konsekuensi logis berupa penambahan beban mati dan kebutuhan baja tulangan, tahapan redesain ini terbukti sangat krusial dan efektif; seluruh elemen struktur pasca-redesain berhasil lulus uji kinerja kekuatan ultimit maupun batas layan (*serviceability*), ditandai dengan rasio simpangan antar lantai (*story drift*) dan stabilitas efek orde kedua ($P - \Delta$) yang berhasil ditekan jauh di bawah ambang batas izin maksimum. Secara keseluruhan, pemodelan redesain ini sukses menghasilkan sistem struktur bangunan yang tidak hanya kaku secara deformasi, melainkan juga memiliki tingkat daktilitas dan kapasitas energi serapan gempa yang sangat memadai untuk memikul kombinasi pembebanan ekstrem selama masa layannya

REFERENSI

- [1] L. Erianto, N. Nasution, A. P. Sani, S. Budi, and M. M. Kamal, "Penggunaan Beton Bertulang Sebagai Pembentuk Konstruksi," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 1, pp. 1–6, 2023.
- [2] A. Suryani, S. H. Dewi, and Harmiyati, "Korelasi Kuat Lentur Beton Dengan Kuat Tekan Beton," *J. Saintis*, vol. 18, no. 2, pp. 43–54, 2018.
- [3] D. Anggraini and S. H. Dewi, "Evaluasi Desain Struktur Gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012," *J. Saintis*, vol. 16, no. 2, pp. 99–110, 2016.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726-2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung," 2019, p. 248. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [5] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain," *Jakarta*, no. 8, pp. 1–336, 2020, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [6] A. Mistavhirul, T. Setianingrum, I. Nurhuda, and Sukamta, "Redesain Struktur Gedung Hotel Citihub Magelang," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 67–76, 2018.
- [7] F. N. Asy'arie and S. Wicaksono, "Redesain Struktur Gedung Empat Lantai Berdasarkan SNI 1726:2019," *J. Ilm. Sultan Agung*, vol. 3, pp. 1–7, 2024.
- [8] P. H. Karisoh, S. O. Dapas, and R. Pandaleke, "Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus," *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 6, pp. 361–372, 2018.
- [9] M. Ryanto, "Evaluasi Struktur Kolom Kuat Balok Lemah Struktur Rangka Baja Mengacu SNI 1729:2015," *J. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 131–138, 2020.
- [10] R. J. Honarto, B. D. Handono, and R. Pandaleke, "Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 2, pp. 201–208, 2019.
- [11] A. Kristianto, Y. A. Pranata, and N. Sulandari, "Studi Parametrik Pengaruh Konfigurasi Tulangan Longitudinal dan Transversal Pada Efektivitas Pengkekangan Kolom Persegi Beton Bertulang Menggunakan XTRACT," *J. Permukim.*, vol. 15, no. 2, pp. 73–83, 2020.
- [12] F. Fajrul Falah, T. Sundari, and M. Wahyu Nugroho, "Redesain Struktur Gedung dengan Menggunakan Shear Wall (Studi Kasus RS. Bhayangkara TK III Nganjuk)," *J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 6, pp. 55–64, 2024.
- [13] J. Maverick, G. C. Joelin, K. Kusbiantoro, and C. Lesmana, "Evaluasi Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Bangunan Eksisting di Samarinda," *J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 179–192, 2025.
- [14] R. Ardiansyah, "Evaluasi Kapasitas Elemen Struktur Eksisting Food Court Untuk Perencanaan Cinemaxx Mal Pekanbaru," *J. Saintis*, vol. 20, pp. 77–84, 2020, doi: 10.25299/saintis2020.vol20(02).5514.
- [15] M. R. Panjaitan, "Evaluasi Perhitungan

Struktur Gedung Bertingkat Pada (Sukaramai Medan),” Universitas Medan,
Pembangunan Rumah Susun Tower C 2024.

This page is intentionally blank