

KALKULASI ANALISIS STRUKTUR DESAIN BEBAN GEMPA DAN PERFORMANYA TERHADAP BEBAN LEDAKAN PADA GEDUNG BRI CABANG PONTIANAK

Garry Marpahiko¹⁾, Elvira²⁾ dan Erwin Sutandar³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak

^{2,3)}Dosen Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : garrymarpahiko@student.untan.ac.id

ABSTRAK

Kondisi MCE_R Kota Pontianak tergolong wilayah gempa ringan, sebaiknya sudah mempertimbangkan kondisi seismik. Pembangunan gedung 5 lantai beton bertulang Bank BRI Cabang Pontianak menggunakan spesifikasi material berupa $f_c' = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$, dan $f_{ys} = 2400 \text{ kg/cm}^2$. Keberadaan gedung terletak pada persimpangan antara Jalan Ayani yang padat lalu lintas dan Jalan A.Sood, sehingga perlu adanya analisis performa struktur gedung terhadap beban ledakan, sebagai upaya awal mitigasi. Simulasi beban ledakan yang digunakan berupa skenario bom mobil (BM), direpresentasikan oleh 500kg TNT sejauh 22m. Struktur gedung dianalisis menggunakan program analisis struktur elemen hingga terhadap beban vertikal (beban hidup dan beban mati) mengacu pada SNI 1727 – 2020 dan beban horizontal (beban gempa) pada SNI 1726 – 2019, terkombinasi berdasarkan SNI 2847 – 2019 dengan LRFD. Kemudian diberikan beban ledakan sistem *pythagoras* berdasarkan TM 5 – 1300 – 1990 untuk dilihat performanya hasil analisis *Pr* terkombinasi pembebanan kejadian luar biasa (*Ak*). Konstruksi bangunan menggunakan SRPMM dianalisis terhadap beban gempa dengan sistem respon spektrum pada KDS C. Performa struktur gedung ditinjau terhadap beban ledakan terdeteksi kerusakan pada elemen struktur balok dengan label B59 *unique name* 636 lantai 2 dan elemen struktur kolom dengan label C55 *unique name* 121.

Key Words: *BRI Cabang Pontianak, struktur beton bertulang, struktur tahan gempa, performa beban ledakan pada struktur gedung.*

ABSTRACT

MCE_R of Pontianak City is classified as mild earthquake area, it's better to consider seismic conditions. Bank BRI Pontianak Branch Building is 5-story reinforced concrete with $f_c' = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$, and $f_{ys} = 2400 \text{ kg/cm}^2$. The existence of the building is located at the intersection of the traffic-heavy Jalan Ayani and A.Sood, so it is necessary to analyze the performance of the against explosion loads, as an initial mitigation effort. The simulation used is a car bomb (BM) scenario, represented by 500kg TNT as far as 22m. The analysis using a finite element program for live and dead loads referring to SNI 1727 – 2020 and earthquake loads on SNI 1726 – 2019, combined based on SNI 2847 – 2019 with LRFD. Then the Pythagorean system explosion load was given based on TM 5 – 1300 – 1990 to see the performance of the *Pr* analysis results combined with extraordinary event loading (*Ak*). Building construction using SRPMM with a spectrum response system on KDS C to analysis the earthquake loads. Performance of the building structure in terms of blast loads detected damage to beam with the label B59 *unique name* 636 floor 2 and column with label C55 *unique name* 121.

Key Words: *Bank BRI Pontianak Branch Building, reinforced concrete structure, earthquake resistant structure, blast load performance on building structures*

I. PENDAHULUAN

Sustainable Development Goals (SDGs) merupakan rencana aksi global yang disepakati oleh para pemimpin dunia berisi 17 Tujuan dan 169 Target diharapkan tercapai pada tahun 2030, termasuk negara Indonesia. Tujuan *SDGs* nomor 9 terdapat 5 target mengenai perlunya memfasilitasi pembangunan infrastruktur di negara berkembang yang tahan lama serta berkelanjutan dan juga dalam rangka mewujudkan Visi Indonesia Emas 2045. Disamping itu, perlu adanya perhatian pembangunan infrastruktur yang terintegrasi pada Kawasan Pulau Kalimantan sebagai ibu kota baru negara Indonesia.

Berdasarkan SNI 1726 – 2020, kondisi MCE_R Kota Pontianak tergolong sebagai wilayah gempa ringan, sehingga sudah semestinya perencanaan gedung mempertimbangkan kondisi seismik. Pembangunan gedung 5 lantai beton bertulang Bank BRI Cabang Pontianak direncanakan dibangun pada persimpangan antara Jalan Ayani yang merupakan jalan protokol padat lalu lintas dengan Jalan A.Sood, maka diperlukan analisis performa struktur gedung terhadap beban ledakan sebagai upaya awal mitigasi. Kondisi ini menjadi perhatian agar kedepannya dapat menciptakan keamanan bagi para pekerja *bank* dan juga nasabah.

Maksud dan tujuan penelitian yang ingin dicapai ialah :

- 1) Penguasaan dasar dan tahapan perhitungan struktur bangunan tahan terhadap gempa,
- 2) Mampu melakukan pemodelan struktur terhadap gaya – gaya yang terjadi berdasarkan standar terbaru yang berlaku di Indonesia,
- 3) Melakukan analisis gaya – gaya dalam menggunakan program analisis struktur akibat beban vertikal (berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban hidup) dan beban horizontal (beban gempa),
- 4) Mampu mengolah hasil gaya – gaya dalam dari program analisis struktur pada perhitungan beton bertulang,
- 5) Mampu merencanakan bangunan gedung yang kuat secara struktural setelah didesain terhadap beban gempa,
- 6) Mendefinisikan parameter dan menganalisis bangunan terhadap beban gempa,
- 7) Mendeteksi kerusakan elemen struktur bangunan atau performa struktur gedung untuk mengetahui perilakunya ketika menerima beban ledakan setelah dinyatakan aman terhadap analisis beban gempa terhadap gedung,
- 8) Membantu memberikan referensi perhitungan beban ledakan pada gedung dalam analisisnya guna perkembangan ilmu pengetahuan baik akademisi maupun praktisi agar kedepannya dapat dikembangkan dalam perencanaan struktur gedung di Indonesia guna keamanan pengguna.

Adapun, ruang lingkup penelitian ini ialah :

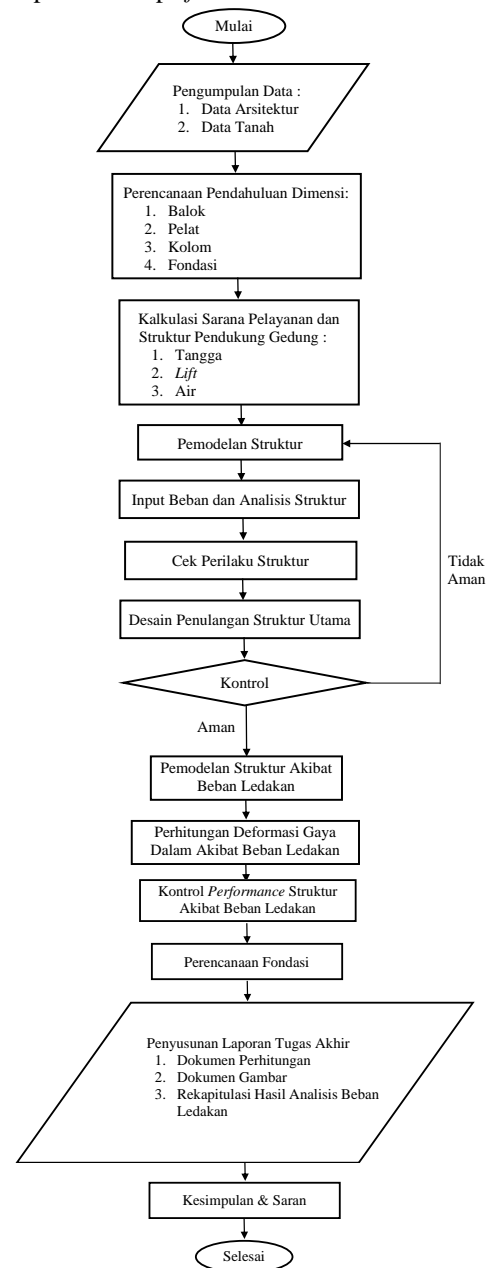
- 1) Struktur yang digunakan merupakan struktur beton bertulang,
- 2) Perencanaan mencakup bagian *upper structure* (pelat, balok, dan kolom) serta *lower structure* (fondasi),
- 3) Perencanaan gedung tidak termasuk struktur atap,
- 4) Struktur direncanakan dengan SRPM yang akan menerima beban vertikal dan horizontal (gempa),
- 5) Beban ledakan direncanakan pada elemen sistem *upper structure* gedung,
- 6) Peraturan yang digunakan dalam perencanaan gempa dan penulangan struktur mengacu pada :
 - a. SNI 2847 – 2019 : Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung,
 - b. SNI 1727 – 2020 : Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain,
 - c. SNI 1726 – 2019 : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung,
 - d. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (ISBN 978-602-5489-01-3),
- 7) Perlakuan performa gedung yang didesain dengan beban gempa terhadap beban ledakan menggunakan perhitungan beban ledakan teori *pythagoras* berdasarkan TM 5 – 1300 – 1990. Kombinasi beban ledakan mengacu pada peraturan SNI 1727 – 2020 tentang Kombinasi Pembebanan Kejadian Luar Biasa.

Data – data fisik Gedung BRI Cabang Pontianak :

- 1) Struktur : Beton Bertulang
- 2) Jumlah lantai : 5 lantai
- 3) Panjang bangunan : 29,8 m
- 4) Lebar bangunan : 12,7 m
- 5) Tinggi lantai
 - a. Lantai 1 : 3,42 m
 - b. Lantai 2 : 4,32 m
 - c. Lantai 3 – 5 : 3,96 m
 - d. Lantai atap : 3,00 m
- 6) Tinggi total lantai : 22,62 m
- 7) Spesifikasi material
 - a. Mutu beton (f_c') : 25 MPa
 - b. Mutu baja (f_y) ulir : 400 MPa
 - c. Mutu baja (f_y) polos : 240 MPa

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Metodologi penelitian ini berisikan rangkaian rencana proses berupa *flowchart* berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Keseluruhan Perencanaan dan Penelitian Gedung BRI Cabang Pontianak (Sumber: Hasil Peneliti, 2021)

Sistem metode analisis perhitungan gempa berdasarkan SNI 1726 – 2019 terdapat 2 (dua) jenis yaitu berupa metode analisis statik dan dinamik.

1) Metode Analisis Statik

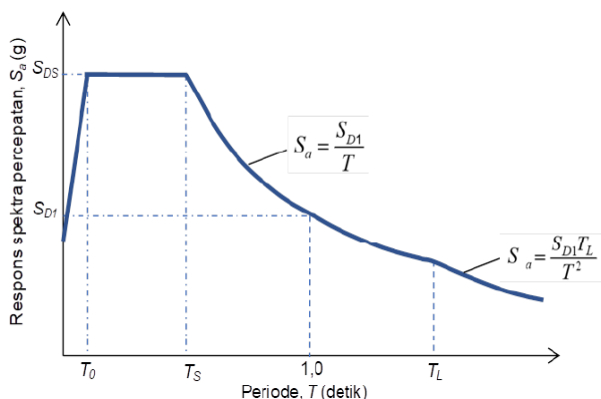
Metode penyederhanaan untuk menggantikan gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan akibat pergerakan tanah dengan gaya statik ekuivalen, dikenal sebagai metode statik ekuivalen.

2) Metode Analisis Dinamik

Analisis dinamik diperlukan untuk evaluasi gaya gempa yang lebih akurat, terbagi menjadi 2 jenis yaitu elastis (metode *time history*) dan inelastik (metode *response spectrum*)

Perhitungan dan analisis gempa ditentukan berdasarkan nilai KDS untuk memilih prosedur analisis beban gempa yang diizinkan dapat dilakukan dengan menentukan ketentuan berikut :

- 1) Kategori risiko struktur bangunan,
- 2) Faktor keutamaan gempa (I_e) struktur bangunan,
- 3) Klasifikasi kelas situs,
 - a. Kecepatan rata – rata gelombang geser (\bar{V}_s),
 - b. Tahanan penetrasi standar lapangan rata – rata (\bar{N}) dan pada lapisan tanah nonkohesif (\bar{N}_{ch}),
 - c. Kuat geser niralir rata – rata (\bar{s}_u),
- 4) Kecepatan rata – rata gelombang geser (\bar{V}_s),
- 5) Parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum MCE_R ,
 - a. Parameter respons spektral percepatan periode pendek / 0,2 detik (S_{MS}),
 - b. Parameter respons spektral percepatan periode 1,0 detik (S_{M1}),
 - c. Parameter respons spektral pecepatan gempa MCE_R terpetakan 0,2 detik (S_S),
 - d. Parameter respons spektral pecepatan gempa MCE_R terpetakan 1,0 detik (S_I),
 - e. Faktor amplifikasi getaran 0,2 detik (F_a),
 - f. Faktor amplifikasi getaran 1,0 detik (F_v),
 - g. Percepatan spektral desain 0,2 detik (S_{DS}),
 - h. Percepatan spektral desain 1,0 detik (S_{D1}),
- 6) Kategori desain seismik (KDS),
- 7) Pemilihan prosedur analisis beban gempa yang diizinkan, pada penelitian ini menggunakan KDS C sehingga dapat dipilih metode spektrum respons desain (inelastik analisis dinamis),
- 8) Metode inelastik analisis dianamik gempa menggunakan grafik spektrum respons desain pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum Respon Desain (Sumber: SNI-1726-2019)

Jenis sistem rangka pemikul momen yang dapat digunakan pada pemilihan sistem struktur penahan gaya gempa, yaitu :

- 1) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), kategori desain seismik B,
- 2) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), kategori desain seismik B dan C,
- 3) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), kategori desain seismik B, C, D, E, dan F.

Kombinasi pembebanan berdasarkan Pasal 5.3 SNI 2847 – 2019 dalam kondisi *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* yaitu :

$$U = 1,4 D \tag{1}$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \tag{2}$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \tag{3}$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \tag{4}$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L \tag{5}$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W \tag{7}$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E \tag{8}$$

Periode fundamental struktur (T) dicari dengan membandingkan nilai periode *output finite element software* (T_c) dijelaskan Pasal 7.8.2., SNI 1726 – 2019.

$$T_c > C_u \cdot T_a, \text{ maka } T = C_u \cdot T_a \tag{9}$$

$$T_a < T_c < C_u \cdot T_a, \text{ maka } T = T_c \tag{10}$$

$$T_c < T_a, \text{ maka } T = T_a \tag{11}$$

Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik ditentukan berdasarkan Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 – 2019.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \tag{12}$$

Gaya geser dasar seismik (V) berdasarkan Pasal 7.8.1., SNI 1726 – 2019 dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W \tag{13}$$

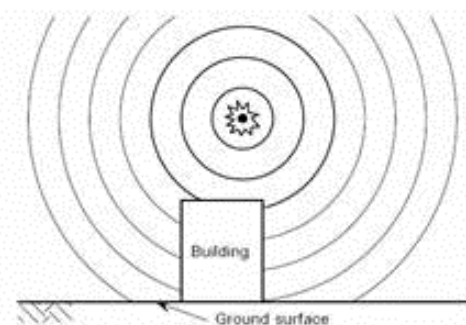
$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \cdot \left(\frac{R}{T_p}\right)} \tag{14}$$

$$C_{s_{maks}} = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{T_p}\right)} \tag{15}$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \tag{16}$$

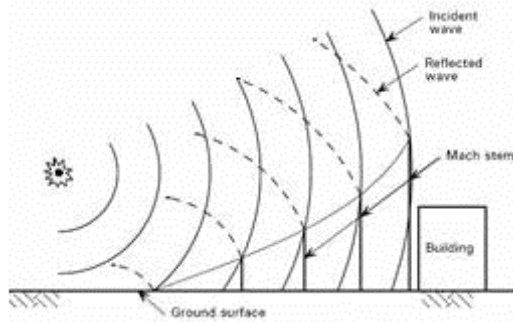
Bahan ledakan berupa *TNT (trinitrotoluene)* merupakan hidrokarbo kuning pucat yang melebur pada suhu 354°K atau sebesar 81°C, digunakan sebagai datum bahan peledak dan sebagai standar *Explosion Bench Mark* (Jayasooriya, 2010). Jenis ledakan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) berdasarkan sumber ledakan:

- 1) *Free Air Burst*, ledakan yang terjadi di udara bebas, menghasilkan gelombang ledak yang menyebar dari pusat peledak.



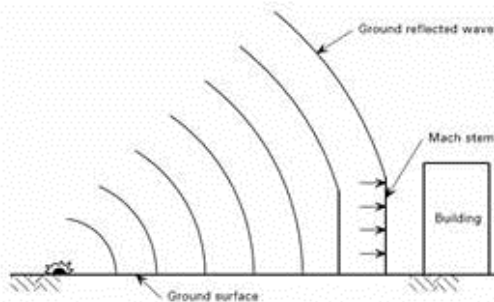
Gambar 3. *Free Air Burst* (Sumber: Jayasooriya, 2010)

2) *Air Burst*, terjadi di udara dan gelombang dipantulkan oleh permukaan tanah.



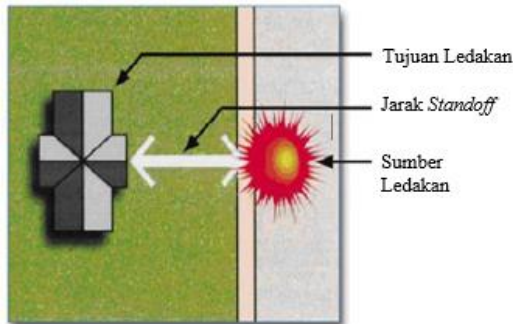
Gambar 4. *Air Burst* (Sumber: Jayasooriya, 2010)

3) *Surface Burst*, terjadi di atas permukaan tanah.



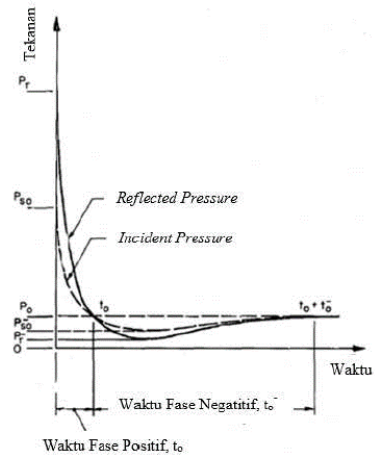
Gambar 5. *Surface Burst* (Sumber: Jayasooriya, 2010)

Parameter ledakan bergantung pada jumlah energi yang dilepaskan oleh ledakan (bobot muatan) serta jarak ke target tertentu dari asal ledakan.



Gambar 6. *Jarak Stand off* (Sumber: FEMA-426-2003)

Gelombang ledakan menjadi parameter pengaruh terhadap kerusakan yang terjadi pada bangunan. Struktur parameter gelombang ledakan diawali oleh *ambient pressure*, P_o . Kemudian, kondisi gelombang merambah pada struktur bangunan, hal ini memunculkan gelombang puncak ledakan, P_{so} . Tekanan akan bertahap turun bersamaan meningkatnya waktu. Pada fase negatif tekanan akan turun melewati batas *ambient pressure*, kemudian tekanan akan kembali pada kondisi P_o . Saat kondisi gelombang ledakan P_{so} menemukan hambatan tidak sejajar /tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang, selanjutnya terjadi pantulan terhadap struktur sehingga mengalami peningkatan nilai tekanan, maka gelombang akan menjadi gelombang puncak atau *reflected pressure* (P_r).

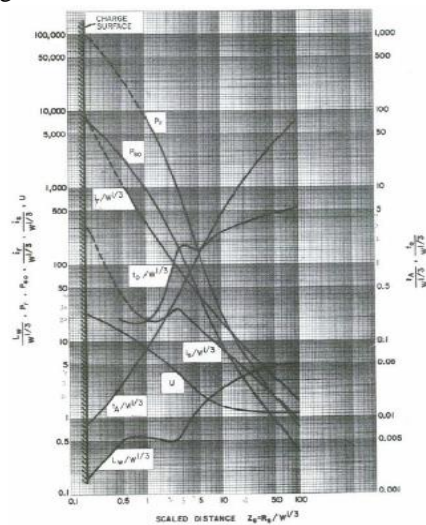


Gambar 7. Tekanan Maksimum – Waktu *Reflected Pressure* (Sumber : Joni, 2016)

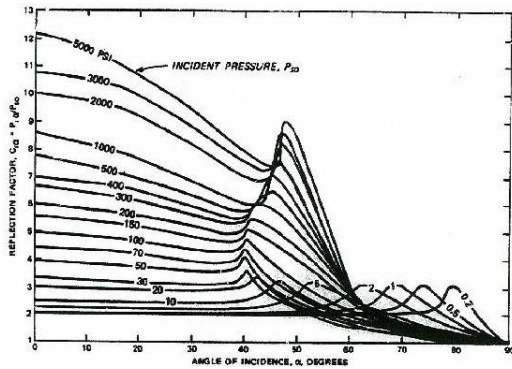
Berikut ini penjelasan parameter karakteristik grafik beban ledakan pada Gambar 7 di atas.

- 1) t_A , waktu yang dibutuhkan gelombang dalam mencapai struktur yang mengalami beban ledakan sesaat setelah terjadi ledakan,
- 2) t_o , durasi fase waktu positif untuk gelombang mengalami penurunan dari kondisi tekanan puncak P_{so} menuju tekanan atmosfer/ *ambient* / normal P_o ,
- 3) t_o' , durasi fase waktu negatif untuk gelombang negatif terjadi dari kondisi P_o menuju kondisi tekanan puncak maksimum fase negatif P_{so} kemudian kembali ke P_o ,
- 4) P_o , tekanan atmosfer atau kondisi udara normal yang mana memiliki nilai 1 atm atau 100 kPa ,
- 5) P_{so} , tekanan puncak gelombang positif maksimum yang terjadi akibat beban ledakan pada struktur,
- 6) P_{so}' , gelombang puncak maksimum negatif akibat beban ledakan pada struktur,
- 7) I_o , impuls yang terjadi akibat gelombang positif,
- 8) I_o' , impuls yang terjadi akibat gelombang negatif.

Parameter penentuan nilai *incident pressure* dan waktu datang dalam menentukan nilai koefisien P_r menggunakan Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. *Incident Pressure* dan Waktu Datang (Sumber : TM 5 – 1300 - 1990)



Gambar 9. Nilai Koefisien Reflected Pressure
(Sumber : TM 5 – 1300 - 1990)

Kombinasi pembebanan kejadian luar biasa berdasarkan pada Pasal 2.5.2.1 SNI 1727 – 2020 dapat digunakan untuk menganalisis beban ledakan seperti penjelasan pada Pasal 2.5 SNI 1727 – 2020 yaitu aksi luar biasa yang memiliki kemungkinan terjadinya cukup jarang namun berbahaya seperti kebakaran, ledakan, dan impak dari kendaraan tanpa menimbulkan keruntuhan yang tidak umum.

$$(0,9 \text{ atau } 1,2)D + Ak + 0,5L + 0,2S \quad (17)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Awal (Preliminary Design)

Analisis perhitungan perencanaan awal dimensi balok menggunakan rumus tinggi minimum balok (*mm*) pada Tabel 9.3.1.1 SNI 2847 – 2019.

Perencanaan awal tebal pelat yang telah dilakukan menggunakan ketentuan rumus ketebalan minimum pelat Tabel 8.3.1.1 SNI 2847 – 2019 untuk pelat satu arah, Tabel 8.3.1.2 SNI 2847–2019 untuk pelat dua arah.

Perencanaan awal kolom menggunakan konsep *Tributary Area*, pada perencanaan dimensi awalnya dihitung menggunakan persamaan Pasal 22.4 SNI 2847 – 2019.

Pada perencanaan awal fondasi dilakukan dengan evaluasi data tanah *Deep Boring / SPT* pada area pembangunan Gedung BRI Cabang Pontianak ($0^{\circ}2'21.59''S$; $109^{\circ}20'8.15''T$) yaitu (BRI.DB.01), dihasilkan data analisis kedalaman tanah keras pada 30 m dengan nilai *N-SPT* > 30, yaitu 45. Kemudian direncanakan balok *sloof* menggunakan kontrol tingkat kekakuan terhadap balok kolom.

$$K_{bs} > K_k \quad (18)$$

Peninjauan untuk perencanaan *pile cap* dilakukan pada *grid* C5 Gedung BRI Cabang Pontianak. Kemudian direncanakan jumlah tiang pancang awal dengan konsep daya dukung tiang pancang grup (*Pg*) lebih besar dari berat total struktur fondasi.

$$P_g \geq W_{tot} \quad (19)$$

Rekapitulasi asumsi perencanaan awal Gedung BRI Cabang Pontianak diklasifikasi menjadi 2 (dua) bagian utama yaitu dimensi *Upper Structure* dan *Lower Structure* sebagaimana berikut.

- 1) Dimensi Perencanaan *Upper Structure*
Tebal pelat lantai dan atap : 100 mm
Balok induk : 400/600 mm
Balok anak : 300/500 mm
Balok atap : 200/300 mm
Kolom : 500/500 mm
Kolom atap : 400/400 mm
- 2) Dimensi Perencanaan *Lower Structure*
Balok *sloof / tie beam* : 400/600 mm
Tebal *pile cap* : 800 mm
Square minipile : 250 x 250 mm²

B. Kalkulasi Sarana Pelayanan dan Struktur Pendukung Gedung

Gedung BRI Cabang Pontianak memiliki 2 (dua) buah tangga yang berbeda lokasi dan ukuran dimensi, dan ketinggian bangunan yang tidak tipikal untuk beberapa lantai seperti lantai 1 (3,42m), lantai 2 (4,32m), dan lantai 3 – 5 (3,96m). Sehingga secara total terdapat 6 (enam) tipe tangga yang mana terdiri 2 jenis tipe dengan berbeda lebar bordes (Tipe A = 1,10m, Tipe B = 1,50m).

- 1) Tipe Tangga A1 (*H* = 3,42m, *Lt* = 1,10m),
- 2) Tipe Tangga A2 (*H* = 4,32m, *Lt* = 1,10m),
- 3) Tipe Tangga A3 (*H* = 3,96m, *Lt* = 1,10m),
- 4) Tipe Tangga B1 (*H* = 3,42m, *Lt* = 1,55m),
- 5) Tipe Tangga B2 (*H* = 4,32m, *Lt* = 1,55m),
- 6) Tipe Tangga B3 (*H* = 3,96m, *Lt* = 1,55m).

Hasil analisis kapasitas *lift* pada Gedung BRI Cabang Pontianak :

Jumlah <i>lift</i> yang diperlukan	= 1 buah
Kecepatan <i>lift</i>	= 1 m/s
Kapasitas angkut <i>lift</i>	= 13 orang
Kapasitas muatan <i>lift</i>	= 1000 kg

Hasil peninjauan keperluan tandon air pada Gedung BRI Cabang Pontianak dapat menggunakan jenis *water tom* sebagai berikut :

<i>Merk</i> tandon air	= Penguin
Jenis tandon air	= TB 200
Jumlah tandon air	= 2 buah

C. Analisis Struktur Akibat Beban

Analisis pembebanan merupakan perhitungan beban – beban yang bekerja pada struktur, kemudian beban dikombinasikan dan diperoleh gaya – gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur menggunakan program (*software*) elemen hingga.

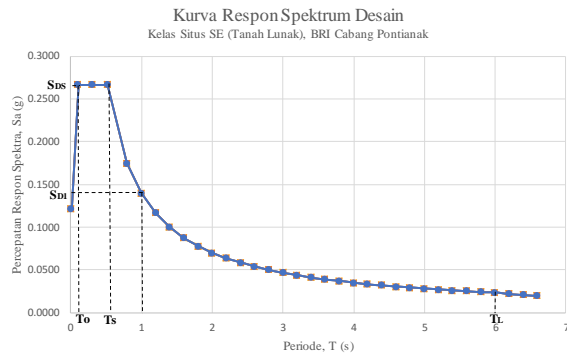
Komponen struktur analisis pembebanan vertikal yang dianalisis, terdiri dari :

- 1) Beban Mati
 - a. Berat Sendiri Struktur (*DL*), berasal dari struktur bangunan yang ditinjau, bersifat tetap, dan dihitung secara otomatis melalui *input* data dimensi yang direncanakan pada program elemen hingga.
 - b. Berat Mati Tambahan (*SDL*), unsur tambahan pada struktur yang diperhitungkan yaitu berupa beban pelat, dinding, tangga, *lift*, dan dak atap.
- 2) Beban Hidup (*LL*), berupa beban manusia atau unsur berpindah/ tidak menetap mengacu SNI 1727 – 2020,
 - a. Lantai Atap = 0,96 kN/m²
 - b. Lantai Kantor = 2,40 kN/m²
 - c. Tangga dan jalan keluar = 4,79 kN/m²

Komponen struktur analisis pembebanan horizontal berupa beban gempa. Analisis dilakukan menggunakan parameter gempa yang disediakan pada Peta Gempa 2017 dan peraturan SNI 1726 – 2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Nongedung.

Gedung BRI Cabang Pontianak dikategorikan sebagai jenis gedung perkantoran memiliki kategori risiko II dengan nilai faktor keutamaan 1 nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata – rata (\bar{N}) sebesar $3,031 < 15$, sehingga diklasifikasikan sebagai jenis tanah lunak (SE).

Berikut hasil analisis kurva respon spektrum area pembangunan Gedung BRI Cabang Pontianak.



Gambar 10. Kurva Respon Spektrum Desain (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Kategori desain seismik (KDS) berdasarkan hasil maksimum analisis terhadap nilai S_{DS} dan S_{DI} termasuk dalam jenis KDS C. Sistem struktur penahan gaya gempa digunakan jenis Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Berikut kombinasi pembebanan dengan metode *LFRD* mengacu SNI 1726 – 2019 dan SNI 2847 – 2019.

Tabel 1. Kombinasi Pembebanan Struktur (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

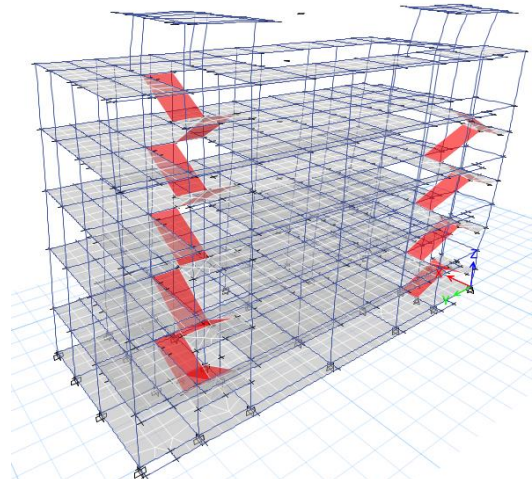
Nomor	DL	SIDL	LL	Lr	R	Ex	Ey
1	1.1	1,4	1,4				
2	2.1	1,2	1,2	1,6	0,5		
	2.2	1,2	1,2	1,6		0,5	
3	3.1	1,2	1,2	1,0	1,6		
	3.2	1,2	1,2	1,0		1,6	
5	5.1	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		0,39	1,3
	5.2	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		0,39	-1,3
	5.3	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		-0,39	1,3
	5.4	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		-0,39	-1,3
	5.5	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		1,3	0,39
	5.6	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		-1,3	0,39
	5.7	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		1,3	-0,39
	5.8	1,2+0,2 S_{DS}	1,2+0,2 S_{DS}	1,0		-1,3	-0,39
7	7.1	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			0,39	1,3
	7.2	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			0,39	-1,3
	7.3	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			-0,39	1,3
	7.4	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			-0,39	-1,3
	7.5	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			1,3	0,39
	7.6	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			-1,3	0,39
	7.7	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			1,3	-0,39
	7.8	0,9-0,2 S_{DS}	0,9-0,2 S_{DS}			-1,3	-0,39

Periode fundamental struktur (T) didapatkan $T_y = T_{cy} = 0,973$ detik, dan $T_x = T_{cx} = 0,946$ detik. Sedangkan penentuan nilai gaya geser dasar atau *base share* (V) hasil perkalian koefisien respon seismik (C_s) dengan berat struktur (W). berikut ini hasil analisis faktor skala yang telah terkoreksi $\geq 0,85$.

Tabel 2. Nilai Faktor Skala Terkoreksi (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Koefisien Faktor Skala	X	Y	Satuan
W	29084.3349	29084.3349	kN
Cs	0.0296	0.0288	
V	860.8471	836.9593	kN
Vi	731.7200	3471.3291	kN
Vi/V	0.85	4.15	

Berikut hasil *deformed shape* modal struktur.



Gambar 11. *Deformed Shape* Modal Gedung BRI Cabang Pontianak (Sumber: Hasil Peneliti, 2021)

D. Pemeriksaan Perilaku Struktur

Struktur Gedung BRI Cabang Pontianak yang telah dianalisis akibat beban dan kombinasi sesuai dengan peraturan SNI 1726 – 2019, selanjutnya diperiksa :

1) Rasio Partisipasi Modal Massa,

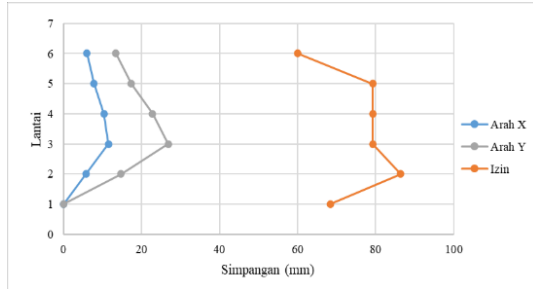
Pasal 7.9.1.1 SNI 1726 – 2019 bahwa dalam analisis spektrum respon ragam perlu dilakukan pengecekan jumlah ragam. Analisis jumlah ragam dan ragam terkombinasi minimal atau paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing – masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau model. Rekapitulasi modal struktur (Sum UX dan Sum UY) tercapai 90% pada modal 14.

Tabel 2. *Modal Participating Mass Ratio* (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal 1	1	0.973	0.5215	0.1466	0.5215	0.1466	0.0866
Modal 2	2	0.946	0.2074	0.4916	0.7288	0.6382	0.0437
Modal 3	3	0.814	0.0163	0.1105	0.7451	0.7487	0.6028
Modal 4	4	0.398	0.0001	0.0192	0.7452	0.7679	0.0006
Modal 5	5	0.375	0.0236	0.0002	0.7687	0.7681	0.0046
Modal 6	6	0.369	0.0007	0.0069	0.7694	0.7751	0.0011
Modal 7	7	0.347	0.0179	0.0002	0.7874	0.7753	0.0204
Modal 8	8	0.31	0.0000435	0.0152	0.7874	0.7905	0.0062
Modal 9	9	0.29	0.0029	0.0488	0.7903	0.8393	0.0125
Modal 10	10	0.288	0.0638	0.0015	0.8541	0.8408	0.0011
Modal 11	11	0.274	0.0002	0.0032	0.8543	0.844	0.0038
Modal 12	12	0.258	0.0001	0.0127	0.8544	0.8567	0.0657
Modal 13	13	0.179	0.0269	0.0152	0.8813	0.8719	0.017
Modal 14	14	0.176	0.0197	0.0296	0.901	0.9014	0.0016

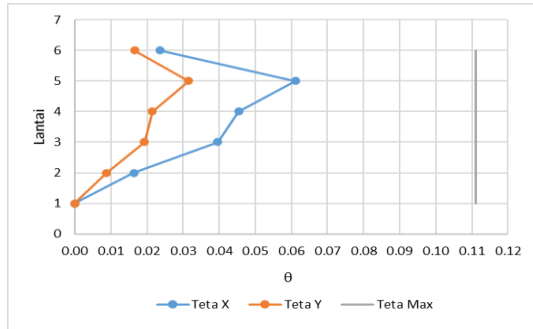
Hasil analisis Tabel 2 di atas, partisipasi massa ragam terkombinasi memenuhi syarat yang ditentukan, arah X sebesar 90,10% dan arah Y sebesar 90,14% pada periode (T) sebesar 0,176 detik.

- 2) Simpangan Antar Lantai Tingkat (*Story Drift*), Simpangan antar lantai tingkat (Δ) pada struktur berdasarkan pada SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.6.2. Kondisi simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) berdasarkan Tabel 20 SNI 1726 – 2019.



Gambar 12. *Story Drift* Arah X, Y dan Izin Akibat Gempa (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

- 3) Pengecekan P-Delta, Pengecekan ini tidak disyaratkan bila nilai hasil perhitungan koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,10$ sesuai Pasal 7.8.7 SNI 1726 – 2019.



Gambar 13. P – Delta Arah X, Y dan Izin Akibat Gempa (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

- 4) Pemeriksaan Ketidakteraturan Horizontal, Berdasarkan pada Tabel 13 SNI 1726 – 2019.

Tabel 3. Rekapitulasi Ketidakteraturan Horizontal (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Tipe	Ketidakteraturan Horizontal	Hasil Cek	Pasal Referensi SNI 1726 - 2019
1a	Torsi	TA	7.3.3.4 Tabel 16
1b	Torsi Berlebihan	TA	
2	Sudut Dalam	A	
3	Diskontinuitas Diafragma	TA	
4	Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	TA	
5	Sistem Nonparalel	TA	

Keterangan : A, terdapat jenis ketidakteraturan horizontal terkait
TA, tidak terdapat jenis ketidakteraturan horizontal terkait

- 5) Pemeriksaan Ketidakteraturan Vertikal Berdasarkan pada Tabel 14 SNI 1726 – 2019.

Tabel 4. Rekapitulasi Ketidakteraturan Vertikal (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Tipe	Ketidakteraturan Vertikal	Hasil Cek	Pasal Referensi SNI 1726 - 2019
1a	Kekakuan Tingkat Lunak	TA	Tabel 16
1b	Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan	TA	
2	Berat Massa	TA	
3	Geometri Vertikal	A	
4	Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral	TA	
5a	Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	TA	
5b	Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	TA	

Keterangan : A, terdapat jenis ketidakteraturan vertikal terkait
TA, tidak terdapat jenis ketidakteraturan vertikal terkait

E. Desain Penulangan Struktur

Cakupan pada desain penulangan struktur bagian ini ialah struktur bagian atas (*upper structure*) terdiri dari pelat beton bertulang (*shell*), balok beton bertulang (*beam*), serta kolom beton bertulang (*column*).

- 1) Perencanaan Penulangan Pelat

Struktur pelat dimodelkan sebagai elemen *shell* yang diatur *automesh* maksimum 1m x 1m hanya menerima gaya vertikal akibat beban mati dan beban hidup sesuai fungsi lantai pada struktur bangunan.

a. Penulangan Pelat Lantai dan Lantai Atap

Tabel 4. Rekapitulasi Desain Tulangan Pelat Lantai dan Lantai Atap (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Story	Lokasi	tp mm	Tinggi efektif (mm)	Mu (kN/m)	Mu (MPa)	Ppyria	Pbalok	A _{pyria} (mm ²)	A _{mbalok} (mm ²)	Smaks (mm)	Spskai (mm)	Tulangan	Cek
6	Atas	100	75	10.529	2.080	0.00548	0.00548	411	78.57	191.088	150	D10 - 150	OK
	Bawah	100	75	10.916	2.156	0.00570	0.00570	427	78.57	182.923	150	D10 - 150	OK
5	Atas	100	75	10.650	2.104	0.00555	0.00555	416	78.57	188.792	150	D10 - 150	OK
	Bawah	100	75	10.759	2.125	0.00561	0.00561	421	78.57	186.768	150	D10 - 150	OK
4	Atas	100	75	10.553	2.085	0.00550	0.00550	412	78.57	190.628	150	D10 - 150	OK
	Bawah	100	75	10.625	2.099	0.00554	0.00554	415	78.57	189.262	150	D10 - 150	OK
3	Atas	100	75	10.573	2.088	0.00551	0.00551	413	78.57	190.247	150	D10 - 150	OK
	Bawah	100	75	10.598	2.093	0.00552	0.00552	414	78.57	189.772	150	D10 - 150	OK
2	Atas	100	75	10.564	2.087	0.00550	0.00550	413	78.57	190.418	150	D10 - 150	OK
	Bawah	100	75	11.554	2.282	0.00605	0.00605	454	78.57	173.155	150	D10 - 150	OK
1	Atas	100	75	10.397	2.054	0.00541	0.00541	406	78.57	193.653	150	D10 - 150	OK
	Bawah	100	75	11.539	2.279	0.00604	0.00604	453	78.57	173.394	150	D10 - 150	OK

b. Penulangan Pelat Tangga

Tabel 5. Rekapitulasi Desain Tulangan Pelat Tangga dan Bordes (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Data Tangga	Tipe Tangga					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Tebal pelat bordes (mm)	180	180	180	180	180	180
Tebal pelat tangga (mm)	180	180	180	180	180	180
Tulangan tumpuan (mm)	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150
Tulangan lapangan (mm)	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 150
Tulangan susut (mm)	Ø6 - 150	Ø6 - 150	Ø6 - 150	Ø6 - 150	Ø6 - 150	Ø6 - 150

c. Penulangan Dak Atap

Tulangan lentur tumpuan dan lapangan menggunakan ukuran D10 – 100 mm.

- 2) Perencanaan Penulangan Balok

Tabel 6. Rekapitulasi Tulangan Balok (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Kode Balok	Dimensi Balok (b/h)	Lokasi	Tulangan Lentur			Tulangan Geser	Tulangan Torsi
			Atas	Baris	Bawah		
BI	400/600	Tumpuan	5D16	1	4D16	1	Ø10-100
		Lapangan	4D16	1	5D16	1	Ø10-150
BA	300/500	Tumpuan	5D16	1	3D16	1	Ø10-100
		Lapangan	3D16	1	5D16	1	Ø10-150
B-Atap	200/300	Tumpuan	3D13	1	3D13	1	Ø10-100
		Lapangan	3D13	1	3D13	1	Ø10-150
TB	400/600	Tumpuan	4D16	1	4D16	1	Ø10-100
		Lapangan	4D16	1	4D16	1	Ø10-150

- 3) Perencanaan Penulangan Kolom

Tabel 7. Rekapitulasi Desain Penulangan Kolom (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Jenis Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Arah Longitudinal	Rasio Tulangan	Tulangan Arah Transversal (Sengkang)
Kolom Lantai	500 x 500 mm ²	16D19	1.814	Ø10-100
Kolom Atap	400 x 400 mm ²	12D16	1.507	Ø10-100

- 4) Penyaluran Kait Standar

Tabel 8. Rekapitulasi Penyaluran Kait Standar (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

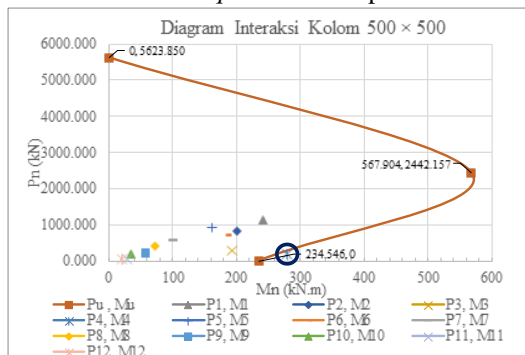
Jenis Kolom	Diameter Tulangan Longitudinal Kolom (mm)	Penyaluran		Kait (mm)	Sambungan	
		Tarik (mm)	Tekan (mm)		Tarik (mm)	Tekan (mm)
Kolom Lantai	19	1200	400	150	1600	600
Kolom Atap	16	800	350	120	1200	500

Hasil analisis ditemukan kerusakan pada balok dengan label B56 unique name 839 pada lantai 2.

Tabel 11. Analisis Balok Sejajar Simulasi Ledakan (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

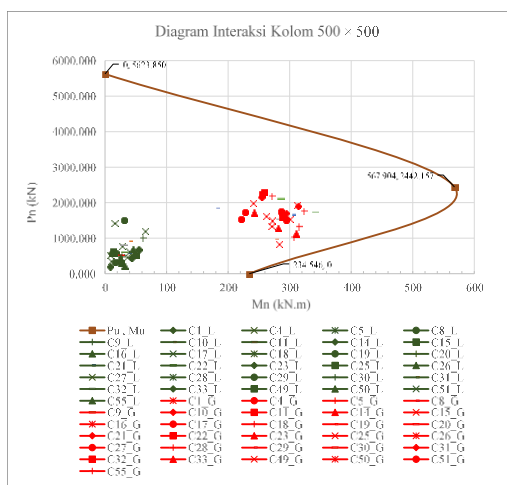
Story	Balok	Label; Unique Name	Mn (kNm)	Vn (kN)	Mu max (kNm)	Vu max (kN)	Capacity Ratio (R)		Hasil Tinjauan
							Mu/Mn	Vu/Vn	
Lt. 1	Tumpuan	B56; 839	168.191	190.560	33.215	22.781	0.197	0.120	Aman
	Lapangan	B56; 839	136.037	154.467	38.456	28.654	0.283	0.186	Aman
	Tumpuan	B220; 850	168.191	190.560	46.134	29.432	0.274	0.154	Aman
	Lapangan	B220; 850	168.191	190.560	48.123	31.213	0.286	0.164	Aman
	Tumpuan	B56; 618	168.191	190.560	61.435	81.713	0.295	0.429	Aman
	Lapangan	B56; 618	168.191	188.467	63.978	83.887	0.380	0.445	Aman
	Tumpuan	B59; 636	208.338	190.560	63.978	85.937	0.307	0.451	Aman
	Lapangan	B59; 636	208.338	190.560	71.032	190.694	0.341	1.001	Rusak
	Tumpuan	B61; 639	168.191	188.467	72.458	190.741	0.431	1.012	Rusak
	Lapangan	B61; 639	208.338	190.560	74.765	190.959	0.359	1.002	Rusak
Lt. 2	Tumpuan	B61; 639	208.338	190.560	84.007	180.558	0.403	0.948	Aman
	Lapangan	B61; 639	168.191	188.467	84.005	186.102	0.499	0.987	Aman
	Tumpuan	B131; 877	208.338	190.560	83.034	185.227	0.399	0.972	Aman
	Lapangan	B131; 877	208.338	190.560	84.682	169.328	0.406	0.889	Aman
	Tumpuan	B124; 806	168.191	188.467	84.311	168.964	0.501	0.897	Aman
	Lapangan	B124; 806	208.338	190.560	83.396	159.082	0.400	0.835	Aman
	Tumpuan	B56; 622	208.338	190.560	85.056	154.272	0.408	0.810	Aman
	Lapangan	B56; 622	168.191	188.467	85.045	153.231	0.506	0.813	Aman
	Tumpuan	B56; 622	208.338	190.560	85.004	152.151	0.408	0.798	Aman
	Lapangan	B56; 622	208.338	190.560	84.995	130.045	0.408	0.682	Aman
Lt. 3	Tumpuan	B56; 623	168.191	188.467	84.621	126.681	0.503	0.672	Aman
	Lapangan	B56; 623	208.338	190.560	81.408	125.655	0.391	0.659	Aman
	Tumpuan	B56; 622	208.338	190.560	72.965	82.915	0.350	0.435	Aman
	Lapangan	B56; 622	168.191	188.467	71.607	81.976	0.426	0.435	Aman
	Tumpuan	B56; 622	208.338	190.560	71.403	81.692	0.343	0.429	Aman
	Lapangan	B56; 622	208.338	190.560	31.170	43.663	0.150	0.229	Aman
	Tumpuan	B56; 621	168.191	188.467	30.975	42.603	0.184	0.226	Aman
	Lapangan	B56; 621	208.338	190.560	30.867	41.439	0.148	0.217	Aman
	Tumpuan	B56; 620	208.338	190.560	18.361	25.299	0.088	0.133	Aman
	Lapangan	B56; 620	168.191	188.467	15.421	20.282	0.092	0.108	Aman
Lt. Atap	Tumpuan	B56; 620	208.338	190.560	13.975	20.253	0.067	0.106	Aman
	Lapangan	B56; 620	208.338	190.560	13.975	20.253	0.067	0.106	Aman

Kerusakan elemen struktur kolom ditinjau dengan diagram interaksi kolom, yaitu terjadi pada kolom label C55 unique name 121 paska ledakan.



Gambar 18. Diagram Interaksi Kolom Terhadap Ledakan (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Komparasi efek beban gempa dan ledakan dilakukan pada kolom dengan diagram interaksi dan balok menggunakan uji capacity ratio (R).



Keterangan : Beban Gempa (□), Beban Ledakan (■)
Gambar 19. Komparasi Diagram Interaksi Kolom Beban Gempa dan Ledakan (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Tabel 12. Komparasi Analisis Balok Transversal Simulasi Beban Gempa dan Ledakan (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Story	Balok	Label; Unique Name	Capacity Ratio (R)			
			Beban Gempa		Beban Ledakan	
			Mu/Mn	Vu/Vn	Mu/Mn	Vu/Vn
Lt. 1	Tumpuan	B56; 839	0.954	0.688	0.197	0.120
	Lapangan	B56; 839	0.942	0.784	0.283	0.186
	Tumpuan	B220; 850	0.966	0.693	0.274	0.154
	Lapangan	B220; 850	0.936	0.832	0.286	0.164
	Tumpuan	B56; 618	0.965	0.827	0.377	0.221
	Lapangan	B56; 618	0.906	0.831	0.316	0.186
	Tumpuan	B56; 636	0.850	0.694	0.295	0.429
	Lapangan	B56; 636	0.868	0.691	0.380	0.445
	Tumpuan	B59; 636	0.853	0.698	0.307	0.451
	Lapangan	B59; 636	0.822	0.700	0.341	1.001
Lt. 2	Tumpuan	B61; 639	0.762	0.693	0.431	1.012
	Lapangan	B61; 639	0.815	0.695	0.359	1.002
	Tumpuan	B61; 639	0.794	0.687	0.403	0.948
	Lapangan	B61; 639	0.963	0.677	0.499	0.987
	Tumpuan	B131; 877	0.783	0.687	0.399	0.972
	Lapangan	B131; 877	0.687	0.683	0.406	0.889
	Tumpuan	B124; 806	0.826	0.662	0.501	0.897
	Lapangan	B124; 806	0.696	0.680	0.400	0.835
	Tumpuan	B124; 806	0.709	0.655	0.408	0.810
	Lapangan	B124; 806	0.854	0.608	0.506	0.813
Lt. 3	Tumpuan	B56; 622	0.747	0.682	0.408	0.682
	Lapangan	B56; 622	0.837	0.672	0.503	0.672
	Tumpuan	B56; 622	0.748	0.686	0.391	0.659
	Lapangan	B56; 622	0.627	0.623	0.350	0.435
	Tumpuan	B56; 622	0.750	0.568	0.426	0.435
	Lapangan	B56; 622	0.626	0.596	0.343	0.429
	Tumpuan	B56; 621	0.588	0.504	0.150	0.229
	Lapangan	B56; 621	0.714	0.497	0.184	0.226
	Tumpuan	B56; 620	0.582	0.497	0.148	0.217
	Lapangan	B56; 620	0.490	0.467	0.088	0.133
Lt. Atap	Tumpuan	B56; 620	0.596	0.406	0.092	0.108
	Lapangan	B56; 620	0.485	0.434	0.067	0.106

Hasil analisis komparasi beban pada balok menunjukkan capacity ratio akibat beban ledakan lebih signifikan perubahannya dibandingkan oleh gempa.

G. Perencanaan Fondasi

Struktur bawah (lower structure) berupa fondasi berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah.

Tabel 12. Rekapitulasi Pemeriksaan Daya Dukung Kelompok Tiang Pancang (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

No.	Lokasi	Kolom	Desain	Pu kN	Qu kN	ηperlu	ηpakai	Eg	Qag kN	Kontrol Qag > Pu
1	B1	C49		671.0119	723.146	0.928	1	1.001	723.869	OK
2	B'1	C1		275.3216	723.146	0.381	1	1.001	723.869	OK
3	C1	C55		111.819	723.146	0.155	1	1.001	723.869	OK
4	D8	C19		175.4856	723.146	0.243	1	1.001	723.869	OK
5	A1	C50		1068.2957	723.146	1.477	2	0.938	1356.622	OK
6	D2	C14		349.6862	723.146	0.484	2	0.938	1356.622	OK
7	B2	C33		124.9026	723.146	0.173	2	0.938	1356.622	OK
8	B3	C32		1040.9283	723.146	1.439	2	0.938	1356.622	OK
9	A3	C5		83.6936	723.146	0.116	2	0.938	1356.622	OK
10	B4	C30		573.3102	723.146	0.793	2	0.938	1356.622	OK
11	D4	C15		533.7482	723.146	0.738	2	0.938	1356.622	OK
12	D5	C16		616.2752	723.146	0.852	2	0.938	1356.622	OK
13	D6	C17		121.8503	723.146	0.169	2	0.938	1356.622	OK
14	B'6	C11		460.2068	723.146	0.636	2	0.938	1356.622	OK
15	D7	C18		184.3571	723.146	0.255	2	0.938	1356.622	OK
16	C2	C51		815.4659	723.146	1.128	3	0.875	1898.258	OK
17	C6	C26		409.7574	723.146	0.567	3	0.875	1898.258	OK
18	B6	C25		8.9395	723.146	0.012	3	0.875	1898.258	OK
19	B'7	C10		135.3063	723.146	0.187	3	0.875	1898.258	OK
20	C4	C31		937.9975	723.146	1.297	4	0.812	2348.778	OK
21	C5	C29		954.3384	723.146	1.320	4	0.812	2348.778	OK
22	B5	C28		968.7731	723.146	1.340	4	0.812	2348.778	OK
23	A4	C4		624.0572	723.146	0.863	3	0.875	1898.258	OK
24	A7	C8		276.749	723.146	0.383	3	0.875	1898.258	OK
25	A5	C27		859.507	723.146	1.189	4	0.812	2348.778	OK
26	A6	C9		198.3073	723.146	0.274	4	0.812	2348.778	OK

Tabel 13. Rekapitulasi Perencanaan Tulangan Fondasi (Sumber : Hasil Peneliti, 2021)

Fondasi	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Pu (kN)	671.0119	1068.2957	815.4659	968.7731	624.0572	859.507
Panjang (mm)	750	1500	1500	1500	2250	3000
Lebar (mm)	750	750	1400	1500	750	750
Tinggi (mm)	800	800	800	800	800	800
d (mm)	696.5	696.5	696.5	696.5	696.5	696.5
Mu (N.m)	6.990	11.128	58.976	154.944.375	6.501	8.953
Ru (Mpa)	0.000021	0.000017	0.000090	0.236591863	0.00000617	0.00000686
ηperlu	0.00000053	0.00000042	0.00000023	0.000059	0.00000017	0.00000017
ηpakai	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
Asperlu (mm²)	1828.313	3656.625	3656.625	3656.625	5484.938	7313.250
D (mm)	19	19	19	19	19	25
As (mm²)	283.385	283.385	283.385	283.385	283.385	283.385
S	104.624	104.624	104.624	104.624	108.499	110.436
Direncanakan Tulangan	D19 - 100 mm	D19 - 100 mm	D19 - 100 mm	D19 - 100 mm	D19 - 100 mm	D19 - 100 mm

Perencanaan balok sloof dengan tulangan lentur tumpuan dan lapangan digunakan dimensi 4D16. Pada tulangan sengkang sebesar D10 – 100 untuk tumpuan dan D10 – 150 lapangan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap Gedung BRI Cabang Pontianak dapat diambil kesimpulan sebagaimana berikut :

- 1) Perhitungan struktur tahan gempa menggunakan panduan SNI 1726 – 2019 dan skripsi tema terkait.
- 2) Pemodelan struktur gedung beton bertulang yang dianalisis terhadap beban gempa mengacu pada standar terbaru : SNI 2847 – 2019, SNI 1727 – 2020 dan SNI 1726 – 2019, serta Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 (ISBN 978-602-5489-01-3).
- 3) Komponen struktur analisis pembebanan vertikal terdiri dari perhitungan Berat Sendiri Struktur (*DL*) oleh program komputer elemen hingga, Berat Mati Tambahan (*SDL*), dan Beban Hidup (*LL*). Adapun, komponen struktur analisis pembebanan horizontal berupa Beban Gempa (*E*) dapat diklasifikasikan :
 - a. Jenis gedung perkantoran = Kategori Risiko II
 - b. Faktor keutamaan gempa (*I_e*) = 1,0
 - c. Klasifikasi situs tanah = Tanah Lunak / *SE*
 - d. Analisis beban gempa respon spektrum
$$S_{DS} = 0,267$$
$$S_{DI} = 0,140$$
 - e. Kategori desain seismik = KDS C
 - f. Sistem struktur penahan gaya gempa = SRPMM
 - g. Faktor skala = 1962 mm/s^2
 - h. Kombinasi pembebanan struktur mengacu pada *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*
 - i. Periode fundamental = $T_x (0,973)$, $T_y (0,946)$ detik
 - j. Geser seismik = $V_x (860,847)$, $V_y (836,959) \text{ kN}$
- 4) Pengolahan gaya dalam dapat digunakan meninjau kapasitas penampang dan pengecekan perilaku struktur : (1) RPMM, (2) *Story Drift*, (3) P-Delta, (4) Ketidakberaturan Horizontal, dan (5) Vertikal.
- 5) Pengecekan bangunan gedung yang kuat secara struktural setelah didesain terhadap beban gempa dengan perbandingan gaya dalam ultimit terhadap kapasitas nominal penampang, pada elemen kolom dapat menggunakan diagram interaksi.
- 6) Parameter beban ledakan dengan simulasi spesifikasi ledakan bom mobil (BM), $W = 500 \text{ kg TNT}$ sejauh (*d*) sebesar 22 m sejajar *grid* B bangunan gedung dengan metode *Phytagoras* aturan *TM 5 – 1300 – 1990* dengan hasil berupa perhitungan gelombang ledakan (*P_{so}*) dan puncak refleksi gelombang (*Pr*).
- 7) Pendeteksian kerusakan struktur berupa performa terhadap beban ledakan ditinjau, terjadi kerusakan pada balok *label B59 unique name 636* lantai 2, dan kolom *label C55 unique name 121*.
- 8) Kombinasi beban ledakan telah diatur dalam standarisasi Pasal 2.5.2.1 SNI 1727 – 2020 tentang beban aksi luar biasa (*Ak*) didefinisikan sebagai *Pr*.

Penulis merekomendasikan berupa saran bagi peneliti selanjutnya dalam penyelesaian tema serupa :

- 1) Pengumpulan bahan penelitian berupa jurnal sebaiknya dilakukan dalam satu format data dan diklasifikasikan bersarkan alur penelitian.
- 2) Pedoman standarisasi sebaiknya menggunakan versi terbaru berlaku di Indonesia.
- 3) Pemahaman konsep ilmu struktur sebaiknya dikuasai sebelum menganalisis program elemen hingga.
- 4) Penyediaan data sekunder berupa gambar arsitektur dan data tanah perlu disediakan sebagai penunjang perencanaan beban gempa.

- 5) Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi jenis beban ledakan maupun jarak sumber ledakan.
- 6) Parameter beban ledakan dapat menggunakan *CONWEP*.
- 7) Analisis dinamik beban ledakan selanjutnya bisa menggunakan *ANSYS*, *LS DYNA*, *ABAQUS*.
- 8) Penulis berharap penelitian selanjutnya dapat memberikan contoh literatur yang mengarahkan pada pertimbangan penggunaan beban ledakan pada perencanaan struktur sebagai alternatif desain maupun mitigasi.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Sturktur Lain (SNI 1727 – 2013)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847 – 2019)*. Jakarta.
- Badan Standarisai Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726 – 2019)*. Jakarta.
- Elvira. (2011). Simulasi Numerik Penomena *Progressive Collapse* pada Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Ledakan Bom. Seminar dan Pameran HAKI 2011, Hotel Borobudur Jakarta, 26 – 27 Juli 2011.
- FEMA – 426. (2003). *Reference Manual to Mitigate Potentional Terrorist Attacks Against Buildings*
- Jayasooriya, J.H.A.R. (2010). *Vulnerability and Damage Analysis of Reinforced Concrete Framed Buildings Subjected to Near Field Blast Events*. Australia: Queensland University of Technology.
- Joni, Mustika. (2016). *Analisis Beban Ledakan dan Pengaruhnya Terhadap Struktur Portal Baja*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- TM – 5 – 1300, A. (1990). *Structures To Resist The Effects of Accidental Explosions*.