

Analisis Kekuatan Struktur Beton Pracetak pada Tribun Utama Stadion Fagogoru Hasil Desain Ulang Terhadap Gaya Gempa

Juan D'arch E.J. Bukarakombang¹, Rilya Rumbayan², Helen G. Mantiri³, Sesca Nicolaas⁴

Konstruksi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado ^{1,2,3,4}

E-mail: juanbukarakombang@gmail.com

Abstrak

Beton pracetak dipercaya memiliki keunggulan dalam beberapa aspek, seperti kualitas mutu baik, pengerjaan efisien, ekonomis serta ramah lingkungan. Namun aspek ketahanan komponen tersebut perlu diketahui. Meningkatnya potensi gempa bumi di Indonesia mendorong perlunya evaluasi ketahanan struktur terhadap gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur beton pracetak terhadap pengaruh gaya gempa. Metode kuantitatif menjadi metode penelitian yang dipilih, dengan analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS v21. Implementasi beton pracetak diadakan pada tribun utama Stadion Fagogoru, Halmahera Tengah, Maluku Utara, dimana struktur didesain ulang menggunakan komponen pracetak. Analisis struktur mengacu pada standar-standar SNI yang berlaku. Hasil menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat pada arah X sebesar 11,25 mm dan arah Y sebesar 7,59 mm masih berada jauh di bawah batas izin 62,3 mm, sehingga disimpulkan bahwa struktur mampu menahan gaya gempa di wilayah berpotensi gempa tingkat menengah sesuai ketentuan yang berlaku. Penelitian ini mempertegas bahwa penggunaan beton pracetak tidak hanya efisien dan ramah lingkungan, tetapi juga dapat diaplikasikan pada bangunan di wilayah rawan gempa dengan tetap menjamin keamanan dan kekuatan struktur.

Kata kunci — Tribun, Maluku Utara, Beton Pracetak, Gempa Bumi, ETABS.

1. PENDAHULUAN

Beton pracetak atau *Precast Concrete* adalah elemen atau komponen dari beton bertulang atau polos yang dicetak di pabrik yang lalu dirakit jadi bangunan (SNI 7833:2012). Beberapa keunggulan dari beton pracetak yang menarik perhatian para perencana sehingga mereka memilih untuk menggunakan komponen *precast* ketimbang konvensional, seperti kualitas mutu baik, pengerjaan yang cepat, ekonomis serta ramah lingkungan (Mokoginta et al. 2024), sehingga ditarik kesimpulan bahwa teknologi beton memiliki andil yang cukup besar dalam keberlangsungan suatu proyek konstruksi (Landeng et al. 2023). Namun, salah satu aspek yang perlu diperhatikan yaitu: mampukah struktur beton pracetak tersebut menahan pengaruh gaya gempa di daerah rawan gempa pada masa yang akan mendatang?

Menurut Direktorat Vulkanotologi dan Mitigasi Bencana Geologi (DVMBG) dan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), wilayah di Indonesia yang dinyatakan sering terjadinya gempa diantaranya Aceh, Sumatra Utara dan Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Banten, Jawa Tengah dan Timur, Yogyakarta, Bali, NTB dan NTT, provinsi Sulawesi, **Maluku Utara** dan Selatan, serta di daerah Papua. Gempa bumi itu sendiri menjadi ancaman yang rawan sekali di Indonesia, sehingga dapat berdampak pada infrastruktur-infrastruktur negara. Di dunia berita Indonesia pun sudah tidak asing dengan ancaman tersebut, terlebihnya di berbagai daerah (Bukarakombang et al. 2024).

Beberapa gempa signifikan 7 tahun terakhir yang bersifat merusak dan mengakibatkan korban jiwa serta kerusakan berbagai infrastruktur khusus di daerah Maluku bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kejadian Gempa Signifikan Di Wilayah Maluku Pada Kurun Waktu 7 Tahun Terakhir (Katalog PuSGen 2016)

Lokasi	Tanggal	Kekuatan (M_w)	Korban Jiwa
Maluku	26 September 2019	6,5	41
Halmahera Selatan, Maluku Utara	14 Juli 2019	7,2	10

Proyek Stadion Gelanggang Olahraga Fagogoru di Desa Nurweda, Kecamatan Weda, Kabupaten Halmahera Tengah, Maluku Utara, merupakan proyek *multiyears* yang dimulai pada tahun 2019. Pembangunan stadion dilakukan sebagai upaya pemerintah daerah untuk menyediakan infrastruktur olahraga di wilayah tersebut, dimana pemerintah setempat Halmahera Tengah berupaya agar pembangunan stadion ini dapat meningkatkan prestasi olahraga dan menjadi pusat kegiatan pemuda. Proyek yang direncanakan terdiri atas tribun utama, tribun timur, tribun utara, dan tribun selatan, dengan tribun utama telah selesai dibangunnya. (Gambar 1).



Gambar 1. Stadion GOR Fagogoru, Weda, Halmahera Tengah
(Sumber: <https://halteng.tipikor.id>)

Pada penelitian ini akan menguji aspek ketahanan struktur beton pracetak dalam mencegah pengaruh gempa. Untuk implementasi beton pracetak, akan dilakukan desain ulang hanya pada gedung **tribun utama Stadion Fagogoru** menggunakan beton pracetak. Fungsi tribun utama itu sendiri digunakan untuk menampung banyaknya penonton, dengan dibuatnya juga panggung kehormatan untuk tamu-tamu khusus. Untuk tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kekuatan struktur tribun utama yang didesain ulang dengan beton pracetak terhadap potensi gempa, serta memberikan gambaran desain eksklusif terkait penggunaan beton pracetak yang kokoh dan kuat terhadap gempa.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, karena melibatkan perhitungan struktur, dan studi literatur. Tahapan penelitian meliputi:

1. Pengumpulan data, seperti data perencanaan proyek, gambar kerja proyek, serta literatur terkait.
2. Preliminary Design dimensi elemen-elemen struktur pracetak
3. Pembebanan struktur.
4. Permodelan dan analisa struktur menggunakan perangkat lunak ETABS.

2.1. Data Proyek

Adapun data proyek tribun utama tertera sebagai berikut:

Data Umum Proyek

Nama Proyek	: Gedung Stadion Gelanggang Olahraga (GOR) Fagogoru
Lokasi Proyek	: Nurweda, Weda, Halmahera Tengah, Maluku Utara
Koordinat	: Lintang : 0,3193719146260024 Bujur : 127,87065038058009
Fungsi Bangunan	: Stadion
Tinggi Bangunan	: ± 17 M
Jumlah Lantai	: 2 Lantai
Struktur Bangunan	: Beton Bertulang

Data Material Proyek

Kuat Tekan Beton (f_c')	: 20,8 MPa
Kuat Tarik Baja (f_y)	: Utama : 300 MPa Sengkan : 240 MPa

2.2. Data Pembebanan

Kedua beban mati dan hidup mengacu pada SNI 1727:2020.

Perencanaan dan analisa struktur terhadap beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019.

Kombinasi beban yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

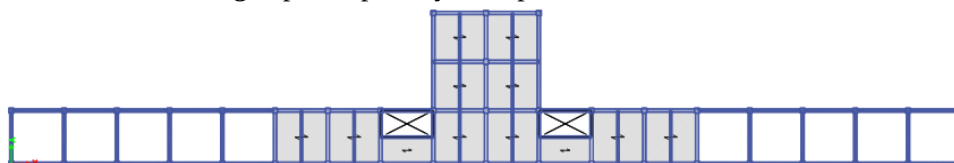
Hasil penelitian direalisasikan dalam bentuk desain bangunan tribun utama yang sama seperti bentuk eksisting sebelumnya, namun bedanya menggunakan komponen beton pracetak dengan spesifikasi mutu bahan yang direncanakan khusus untuk komponen beton pracetak. Data-data penampang komponen struktur pracetak beserta spesifikasi material pada tribun utama dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Data- data Komponen Pracetak pada Tribun Utama

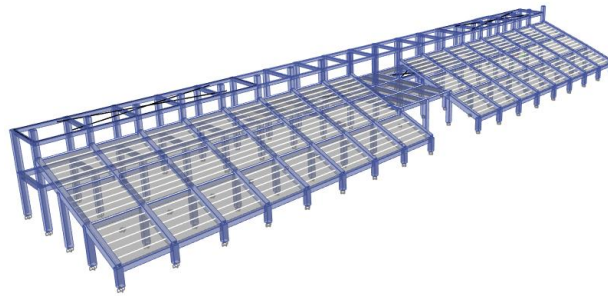
Kode Komponen	Jenis Komponen	Dimensi (mm)	Kuat Bahan	
			Beton (MPa)	Baja Tulangan (MPa)
BI	Balok Induk	400/550	30 MPa	Utama: 420 MPa Begel: 300 MPa
BA	Balok Anak	300/450		
RB	Ring Balok	300/400		
HSL	Pelat <i>Half Slab</i>	150		
K1	Kolom Utama	600/600		
BM	Balok Miring	550/800		
PD	Pelat Dudukan	150/100		

3.1. Permodelan Struktur

Hasil penelitian diwujudkan dalam bentuk desain bangunan tribun utama menggunakan *software* ETABS V21, dengan penampilannya ada pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 2. Permodelan 2D Tribun Barat Stadion GOR Fagogoru di ETABS



Gambar 3. Perspektif Tribun Barat Stadion GOR Fagogoru di ETABS

3.2. Pembebanan Struktur

3.2.1. Perhitungan Beban Gravitasi

Perhitungan beban yang bekerja ini termasuk beban mati dan hidup yang terjadi pada tribun utama. Beban-beban tersebut mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, yang kemudian akan diinput ke ETABS, yang dirangkum dalam Tabel 3:

Tabel 3. Rekapitulasi Pembebanan

Area Pembebanan	Total Pembebanan	
	Beban Mati Tambahan (SIDL)	Beban Hidup (LL)
Ruang Persiapan Pria/Wanita	0,73 kN/m ²	3,82 kN/m ²
Ruang Lobi	0,51 kN/m ²	4,79 kN/m ²
Panggung Kehormatan	0,51 kN/m ²	4,91 kN/m ²
Tribun Penonton	0,72 kN/m ²	2,99 kN/m ²
Beban Dinding		
Dinding 1	4,4 kN/m	
Dinding 2	5,4 kN/m	

3.2.2. Load Combination/Kombinasi Beban

Kombinasi beban yang dipakai dalam perhitungan ini dirangkum seperti di Tabel 4:

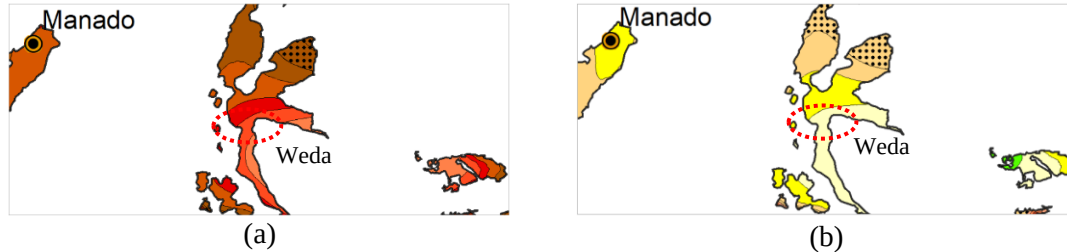
Tabel 4. Kombinasi Pembebanan

1.4 DL	+	1.4 SIDL				
1.2 DL	+	1.2 SIDL	+	1.6 LL	+	0.5 Lr
1.2 DL	+	1.2 SIDL	+	1.6 Lr	+	1.0 LL
1.2 DL	+	1.2 SIDL	+	1.0 LL	+	0.5 Lr
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	+	1.30 Ex + 0.39 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	+	1.30 Ex - 0.39 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	-	1.30 Ex + 0.39 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	-	1.30 Ex - 0.39 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	+	0.39 Ex + 1.30 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	+	0.39 Ex - 1.30 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	-	0.39 Ex + 1.30 Ey
1.34 DL	+	1.34 SIDL	+	1.0 LL	-	0.39 Ex - 1.30 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	+	1.3 Ex	+	0.39 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	+	1.3 Ex	-	0.39 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	-	1.3 Ex	+	0.39 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	-	1.3 Ex	-	0.39 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	+	0.39 Ex	+	1.3 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	+	0.39 Ex	-	1.3 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	-	0.39 Ex	+	1.3 Ey
0.76 DL	+	0.76 SIDL	-	0.39 Ex	-	1.3 Ey

3.3. Penentuan Parameter Gempa

3.3.1. Penentuan Wilayah Gempa

Pertama perlu ditentukan wilayah gempa daerah Weda pada Gambar 3, lewat website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.



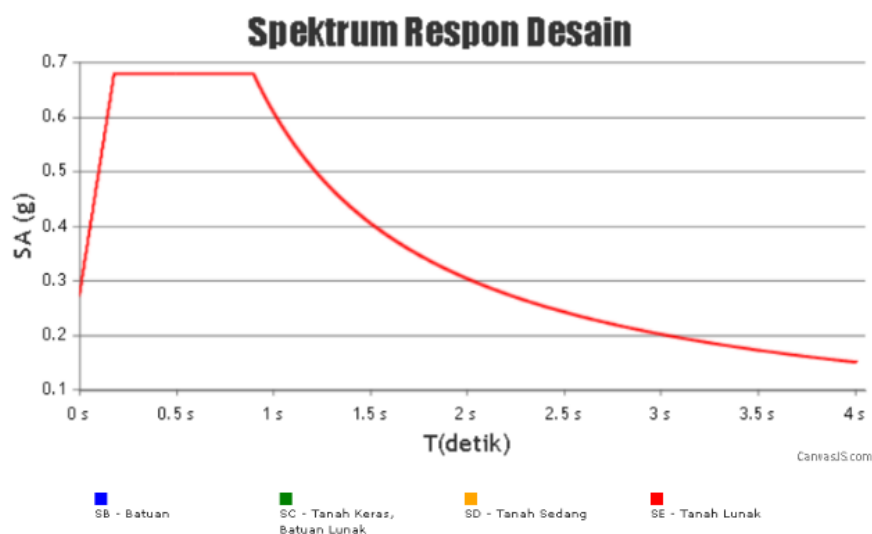
Gambar 4. (a) Peta MCE_R (S_s) dan; (b) MCE_R (S_I) Daerah Weda

(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Dari kedua peta diatas, untuk daerah Weda didapat $S_s = 0,8 - 0,9$ g dan $S_I = 0,3 - 0,4$ g, yang menandakan bahwa wilayah tersebut memiliki potensi gempa menengah hingga tinggi, sehingga bangunan di wilayah ini harus dirancang untuk menahan gempa, sesuai standar SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

3.3.2. Respons Spektrum

Data-data percepatan respons spektrum daerah Weda diambil dari situs rsa.ciptakarya.pu.go.id, dengan grafik seperti di Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Respons Spektrum Daerah Weda

(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id)

3.3.3. Penentuan Parameter Gempa

Semua parameter yang telah ditentukan untuk beban gempa pada Tabel 5 mengacu pada SNI 1726:2019. Struktur ini dirancang menggunakan prinsip rangka struktur penahan beban lateral Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pertimbangan utama dipilihnya sistem rangka SRPMK supaya struktur tersebut berkenaan dengan sistem struktur seismik guna mencegah terjadinya keruntuhan struktur pada daerah berkategori risiko gempa III.

Tabel 5. Penentuan Parameter Gempa Untuk Stadion Fagogoru (SNI 1726:2019)

Variabel	Nilai	Pasal
Parameter Gempa		
Fungsi Bangunan	Bangunan Stadion	
Kategori Resiko Gempa	III	4.1.2. Tabel 3
I_e	1.25	4.1.2. Tabel 4
Kota	Weda	
Kelas Situs	SE (tanah lunak)	5.3. Tabel 5
S_s	0,823 g	6.1.2 (Respons Spektrum)
S_1	0,36 g	6.1.2 (Respons Spektrum)
T_L	16 detik	6.4 (Respons Spektrum)
PGA	0,3828	6.1.3 (Respons Spektrum)
T_0	0,18 detik	6.4 (Respons Spektrum)
F_a	1.2416	Tabel 6
F_v	2.56	Tabel 7
S_{MS}	1.0218368	6.2
S_{M1}	0.9216	6.2
S_{DS}	0.6812 g	6.3
S_{D1}	0.6144 g	6.3
KDS	D	6.5 Tabel 8 dan 9
Faktor Modifikasi Respons		
Sistem Pemikul Gaya Seismik	SRPMK	7.2.2. Tabel 12
R	8	7.2.2. Tabel 12
Ω_0	3	7.2.2. Tabel 12
C_d	5.5	7.2.2. Tabel 12

Secara keseluruhan, struktur tribun didesain sebagai struktur komposit karena menggunakan sambungan basah, sehingga dapat bekerja seperti beton bertulang biasa. Cuma yang membedakannya yaitu adanya penggunaan sambungan dan pengangkur antar elemen struktur sebagai implikasi dari konsep desain struktur pracetak (Landeng, et al. 2023). Namun, hal utama yang menjadi fokus utama penelitian ini yaitu kemampuan struktur tersebut dalam menahan pengaruh gaya gempa di daerah rawan gempa pada masa yang akan mendatang.

3.4. Kontrol Desain Struktur Terhadap Pengaruh Gempa

Setelah dilakukan pemodelan struktur lewat *software* ETABS, struktur tersebut harus dianalisa kekuatannya terhadap batasan-batasan tertentu sesuai acuan SNI 1726:2019 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut.

3.4.1. Penentuan Periode Alami Struktur

Periode alami struktur (T) merupakan waktu yang diperlukan suatu bangunan untuk menyelesaikan satu siklus getaran alami ketika diterpa gempa. Penentuan nilai (T) yang mengacu pada SNI 1726:2019 dapat dilihat di Tabel 6.

Tabel 6. Parameter Gempa untuk Stadion Fagogoru (SNI 1726:2019)

Periode Alami Struktur (T)	Pasal	
C_t	0,0466	7.8.2.1. Tabel 18
h_n	17	
χ	0.9	7.8.2.1. Tabel 18
C_u	1.4	7.8.2. Tabel 17
$T_{a\ min} = C_t \cdot h^{\chi}$	0.59675	7.8.2.1.
$T_{a\ max} = C_u \cdot T_a$	0.251	7.8.2.
Periode Hasil Analisis	Arah X	Arah Y
T Output ETABS	0.251	0.209
Status	OK	OK

3.4.2. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik digunakan sebagai gaya gempa rencana untuk mengetahui kemampuan struktur gedung pracetak menahan gaya gempa yang akan mendatang. Tabel 7 merupakan penentuan gaya geser dasar seismik/gempa rencana yang didapat.

Tabel 7. Gaya Geser Dasar Seismik Stadion Fagogoru (SNI 1726:2019)

Data	Arah X	Arah Y
Berat Seismik Struktur (W)	25954.19	25954.19
$C_s = S_{DS}/(R/I_e)$	0.1065	
$C_s(1)a = S_{DI}/(T(R/I_e))$	0.1609	
$C_s(2) = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0.01$	0.0375	
C_s (Pakai)	0.1065	
Geser Dasar Seismik	Arah X	Arah Y
$V = C_s$ (Pakai) $\times W$	2763.5	2763.5
Geser Dinamik Seismik Awal	Arah X	Arah Y
$V_{Dinamik}$ Output ETABS	1902.762	2099.921
Geser Dinamik Seismik Baru	Arah X	Arah Y
$V_{Dinamik}$ Output ETABS	2910.69	3212.283

Gaya geser dasar dinamik seismik yang didapat dari analisis ETABS kemudian didistribusikan ke seluruh tingkat gedung, sehingga hasil distribusinya dirangkum dalam Tabel 8.

Tabel 8. Distribusi Gaya Geser Tingkat

Tingkat (m)	h_i (m)	W_i (kN)	$W_i \times h_i^k$	C_{vx}	F_x	F_y
Ring Balok	10.7	1312.036	1312.04	0.265	771.577	851.525
Lantai 1	5.4	3637.471	3637.47	0.735	2139.11	2360.758
	$\Sigma W_i \times h_i^k$	4949.506	4949.51	ΣF	2910.69	3212.283

3.4.3. Pemeriksaan Simpangan Lantai

Kemudian diperiksa simpangan yang dialami oleh lantai struktur tribun utama. Pemeriksaan ini guna untuk mensimulasikan pergerakan lantai yang diakibatkan oleh beban gempa rencana, sehingga bisa diketahui kemampuan struktur beton pracetak terhadap pengaruh gempa. Dari simpangan lantai itu sendiri bisa kelihatan seberapa kokohnya struktur tribun utama yang didesain ulang menggunakan beton pracetak, dimana simpangan yang terjadi tidak melampaui batas simpangan izin, sehingga bisa disimpulkan bahwa struktur tersebut cukup kuat terhadap gaya gempa rencana. Pemeriksaan simpangan lantai bisa dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9, dari penentuan koefisien sampai pemeriksaannya.

Tabel 9. Rekapitulasi Pemeriksaan Simpangan Antar Tingkat

Koefisien Simpangan Antar Tingkat	Dipilih	
Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_a)	0.015 h_{sx}	
Faktor Redundansi (ρ)	1.3	
Story Drift Inelastik Izin (Δ_{max})	0.011538	
Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)	5.5	
Faktor Keutamaan Gempa	1.25	
Lantai	2	
Tinggi Tingkat (mm)	5400	
Parameter Simpangan Antar Tingkat (I)	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)
Displacement	2.556	1.726
Elastic Drift	2.556	1.726
Parameter Simpangan Antar Tingkat (II)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)
Inelastic Drift	11.2464	7.5944
Drift Limit	62.3088 (OK)	

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kekuatan struktur terhadap pengaruh gempa, didapat struktur tersebut mampu menahan pengaruh gempa, dengan batas simpangan antar tingkat (Δ) berdasarkan arah ortogonal:

Arah X (ΔX): 11.2464 mm

Arah Y (ΔY): 7.5944 mm

Keduanya berada dibawah batas simpangan izin (Δ_a) sebesar 62.3088 mm, yang berarti kedua persimpangan tingkat tersebut dinyatakan memenuhi syarat sesuai standar SNI 1726:2019. Selain itu, bangunan tersebut dapat memberikan gambaran desain eksklusif tentang penggunaan beton pracetak yang, bukan hanya berkualitas tinggi, efisien, dan ramah lingkungan, namun kokoh dan kuat terhadap gempa, tergantung cara perencanaan struktur tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sekaligus tim penelitian penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (P3M), Politeknik Negeri Manado yang telah memberi pendanaan melalui skema Penelitian Kreativitas Mahasiswa Tahun 2025, serta semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung. SNI 7833:2012. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2019) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. SNI 1726:2019. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 2847:2019. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. SNI 1727:2020. Jakarta.
- Bukarakombar, J. D. E. J., Powa, K. G., Manitik, A. A., Ondang. A. V., Rumbayan, R., (2024). Desain Sekolah Bagi yang Terdampak Gempa Menggunakan Beton Pracetak dengan Metode RISHA. *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-4*, Vol. 3(1), 75-84, Politeknik Negeri Manado.
- Landeng, K. D., Mewo, J. M., Exan, G. C., Paramata, G., Rumbayan, R., Peginusa, S., (2023). Implementasi Beton Precast pada Desain Bangunan Hotel sebagai Laboratorium Housekeeping Politeknik Negeri Manado. *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-3*, Vol. 2, 1-11, Politeknik Negeri Manado.
- Mahendra, Zein. Et al (2023). Modifikasi Perencanaan Struktur Apartemen Alessandro Vittorio dengan Metode Beton Pracetak. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 12, No. 2, (2023)
- Mokoginta, M. S., Suratinoyo, D. S. M. J., Rumbayan, R., (2024). Desain Tribun di Area GOR Politeknik Negeri Manado dengan Teknologi Beton Precast. *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-4*, Vol. 3(1), 202-212. Politeknik Negeri Manado.
- Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada masyarakat (P3M). 2023. Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat. Edisi V. Politeknik Negeri Manado.
- Rumbayan, R., & Tenda, J. E. (2019). Struktur Beton Gedung Lanjutan. Polimdo Press
