



Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Sekolah Empat Lantai Di Kota Manado

Lourdes M. G. Wantania^{#a}, Ronny E. Pandaleke^{#b}, Banu D. Handono^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aaikowantania@gmail.com, ^bronny_pandaleke@yahoo.com, ^cbanu2h@unsrat.ac.id

Abstrak

Kota Manado di Sulawesi Utara termasuk pada kawasan rawan gempa dengan kategori desain seismik D. Oleh karena itu, perencanaan struktur gedung bertingkat, terutama untuk gedung sekolah yang juga berfungsi sebagai tempat perlindungan darurat apabila terjadi bencana, harus didesain dengan daktilitas tinggi untuk memastikan ketahanan struktur terhadap beban gempa yang signifikan. Agar dapat menahan beban gempa, struktur gedung sekolah direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus berdasarkan SNI 1726:2019. Struktur juga didesain untuk memikul beban mati dan beban hidup berdasarkan SNI 1727:2020. Tinggi struktur 13.5 m, dengan dimensi struktur arah x 56 m dan arah y 18.5 m. Dalam perencanaan ini, struktur dimodelkan kemudian dianalisis menggunakan program. Pada lantai kerja, detail tulangan pelat yang didapatkan tidak seragam untuk setiap tingkat, dikarenakan perhitungan tulangan pelat bergantung pada pembebanan setiap lantai yang berbeda-beda. Tulangan balok dihitung berdasarkan masing-masing kondisi balok yang berbeda, sehingga detail tulangan yang dihasilkan bervariasi dengan rasio kapasitas maksimal balok 1.02%. Dimensi kolom direncanakan seragam, namun pada kolom lantai bawah digunakan lebih banyak tulangan untuk menahan gaya aksial yang besar pada tingkat dasar dengan rasio kapasitas maksimal kolom 2.58%. Elemen-elemen struktur dan penulangan yang telah direncanakan mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada penampang, sehingga disimpulkan bahwa struktur gedung yang telah didesain sudah memenuhi persyaratan keamanan kekuatan rencana. Struktur telah memenuhi tiga prinsip/syarat SRPMK, yaitu *Strong Column-Weak Beam* dengan rasio maksimum 1.29%, tahan terhadap geser yang ditandai dengan terpenuhinya kapasitas geser perlu, serta sudah memenuhi syarat-syarat pendetailan untuk mendapatkan struktur yang bersifat daktil.

Kata kunci: Perencanaan Struktur Beton Bertulang, Sekolah, SRPMK

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Angka pertumbuhan penduduk yang tinggi menimbulkan berbagai permasalahan. Contohnya yaitu kebutuhan fasilitas pendidikan yang meningkat serta berkurangnya ketersediaan lahan untuk pembangunan. Untuk menangani masalah tersebut, dilakukanlah pembangunan gedung pendidikan secara vertikal (gedung sekolah bertingkat). Dalam merencanakan gedung bertingkat, beban gempa adalah faktor penting yang harus diperhitungkan. Hal ini dikarenakan Indonesia dikelilingi oleh *Ring of fire* atau Cincin Api Pasifik, serta terletak di antara pertemuan tiga lempeng besar.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah, yaitu: “Berapa ukuran dimensi penampang dan jumlah tulangan elemen struktur yang diperlukan supaya struktur beton bertulang mampu menahan beban-beban yang bekerja dengan memenuhi syarat keamanan dan kenyamanan sesuai standar yang berlaku di Indonesia?”

1.3 Batasan Perencanaan

1. Struktur bangunan yang ditinjau adalah bangunan empat lantai dengan konstruksi beton bertulang.
2. Aspek yang ditinjau yaitu perencanaan elemen struktur atas meliputi balok, kolom, pelat, dan hubungan balok kolom.
3. Perletakan dianggap terjepit.
4. Beban-beban yang akan ditinjau adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
5. Analisis struktur dilakukan dengan bantuan program.
6. Rangka atap dan elemen tangga tidak didesain, hanya diperhitungkan beban.
7. Perencanaan penulangan pelat, balok, dan kolom dilakukan dengan bantuan program berdasarkan hasil analisis struktur.
8. Pondasi diasumsikan mampu menahan bangunan di atasnya dan tidak terjadi *settlement* atau penurunan.
9. Perencanaan bangunan hanya mencakup analisis dan desain elemen struktur atas. Tidak mencakup struktur bawah, manajemen konstruksi, metode pelaksanaan, dan arsitektural.

1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan dari perencanaan ini adalah merencanakan elemen struktur beton bertulang yang tahan gempa sesuai dengan pedoman perencanaan.

1.5 Manfaat Perencanaan

1. Memberikan informasi dan referensi untuk mendesain dan merencanakan struktur bangunan beton bertulang yang aman dan tahan gempa.
2. Meningkatkan pengetahuan dan kemampuan penggunaan *software* perencanaan struktur.

2. Metode Perencanaan

Sebelum perencanaan dimulai, dilakukan pengumpulan data. Data awal yang didapatkan adalah sebagai berikut:

2.1. Data Struktur

Fungsi bangunan	: Gedung Sekolah
Jumlah lantai	: 4 Lantai
Tinggi struktur	: 13.5 m
Tinggi lantai	: Lantai dasar ke lantai 1 (3.00 m)
	Lantai 1 ke lantai 2 (3.50 m)
	Lantai 2 ke lantai 3 (3.50 m)
	Lantai 3 ke lantai 4 (3.50 m)
Panjang bentang	: Arah memanjang (56.00 m)
	Arah melintang (18.50 m)

2.2. Data Material

Beton

Mutu beton (f_c')	= 40 MPa
Berat jenis	= 24 kN/m ³
Modulus elastisitas	= 29725.41 MPa
Angka poisson (ν)	= 0.2

Baja

Mutu tulangan	= 420 MPa (BjTS 420A)
Modulus elastisitas	= 200000 MPa
Mutu baja	= BJ-37
Tegangan putus minimum (f_u)	= 370 MPa
Tegangan leleh minimum (f_y)	= 240 MPa

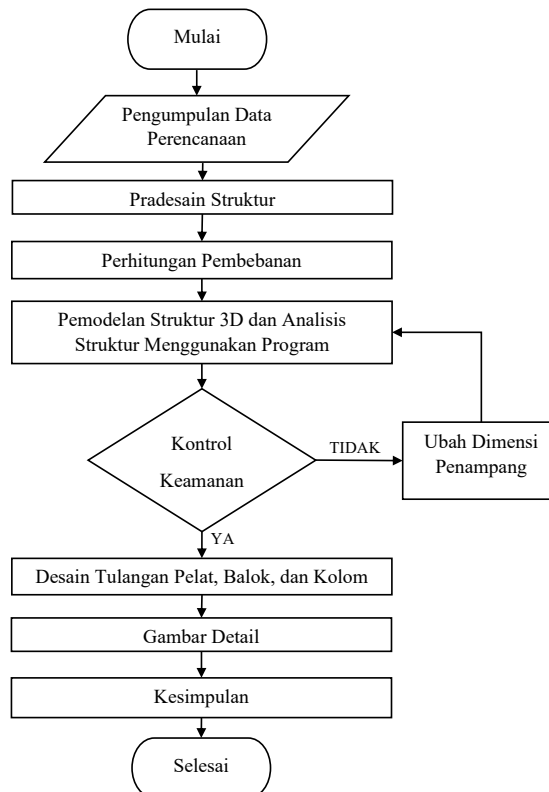
Berat jenis = 7850 kg/m³
 Modulus elastisitas geser (G) = 77200 MPa
 Angka poisson (μ) = 0.3

2.3. Data Beban

Struktur direncanakan untuk memikul beban mati, beban hidup dan beban gempa. Beban-beban yang telah ditentukan akan dihitung dengan kombinasi pembebanan sebagaimana yang diatur dalam SNI.

2.4. Bagan Alir Perencanaan

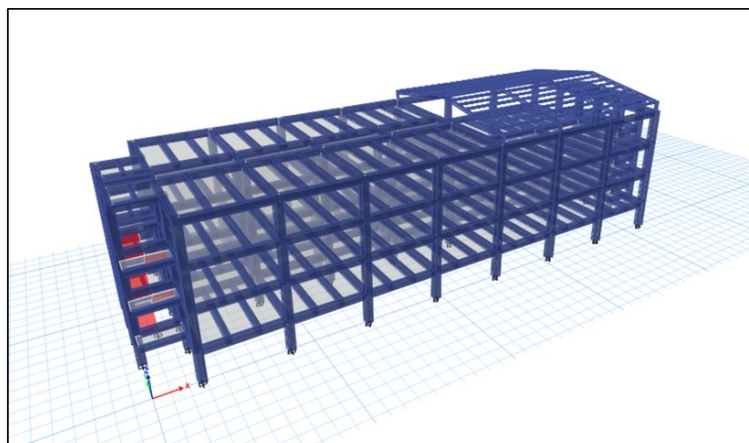
Tahap perencanaan mengikuti alur pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Perencanaan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan Struktur 3D



Gambar 2. Geometri Struktur 3D

3.2 Pembebanan

A. Beban Mati

- Berat sendiri elemen struktur (*Dead Load*) yang ditentukan oleh program (*program determine*) sesuai dengan perencanaan elemen yang digunakan
- Berat beton bertulang = 24 kN/m³
- Berat jenis baja = 7850 kg/m³
- Berat dinding (bata ringan) = 0.74 kN/m²
- Beban tambahan (*Superimposed Dead Load*) = 1.2 kN/m²
- Beban mati tambahan rangka atap baja
 - Kuda-kuda tepi = 0.91 kN/m (dihitung)
 - Kuda-kuda tengah = 1.82 kN/m (dihitung)

B. Beban Hidup

- Atap datar = 0.76 kN/m²
- Toilet = 2.87 kN/m²
- Lobi = 4.79 kN/m²
- Koridor Lt.1 = 4.76 kN/m²
- Koridor Lt.2 = 3.80 kN/m²
- Koridor Lt.3 = 3.80 kN/m²
- Aula = 4.79 kN/m²
- Ruang UKS = 1.66 kN/m²
- Ruang Pimpinan = 2.07 kN/m²
- Ruang Tata Usaha = 2.07 kN/m²
- Ruang Kelas = 1.66 kN/m²
- Ruang Guru = 2.07 kN/m²
- Ruang Konseling = 1.66 kN/m²
- Ruang Perpustakaan = 7.18 kN/m²
- Tangki air = 4.95 kN/m²
- Tangga = 4.79 kN/m²
- Rangka Atap Baja
 - Kuda-kuda tepi = 0.25 kN/m (dihitung)
 - Kuda-kuda tengah = 0.49 kN/m (dihitung)

C. Beban Gempa

Data beban gempa diambil berdasarkan lokasi rencana yakni kota Manado, dengan metode analisis gempa dinamik respon spektrum, yang mengacu pada SNI 1726:2019. Parameter-parameter yang akan digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- S_s = 1.0564 g
- S_1 = 0.4709 g
- Kategori risiko = IV
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1.5
- Kelas situs = tanah lunak (SE)
- Parameter respon spektrum:
 - S_{DS} = 0.743 g
 - S_{D1} = 0.709 g
- Kategori desain seismik = D
- Sistem struktur = SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

D. Kombinasi Pembebanan

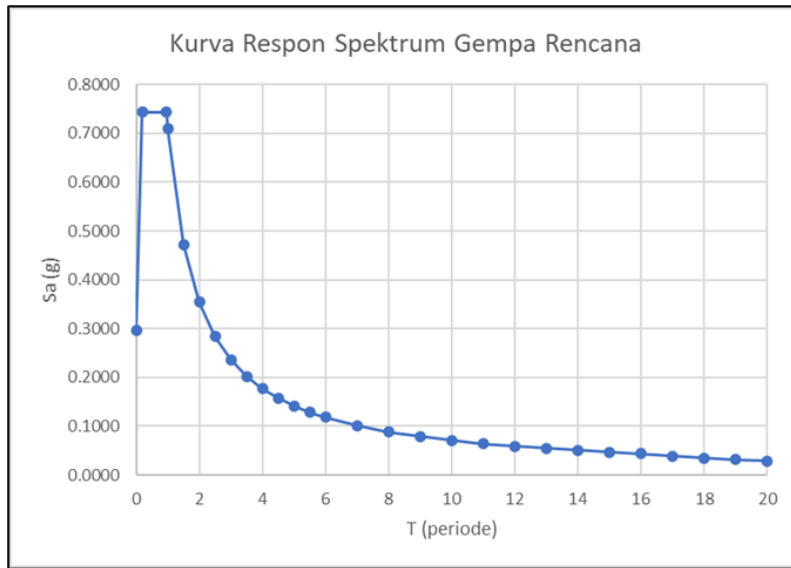
Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada *SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2*.

3.3 Pradesain Elemen Struktur

Dimensi awal yang akan digunakan dalam pemodelan struktur sebagai berikut.

- Balok Induk Arah X (BIX) = 40 × 60 cm
- Balok Induk Arah Y (BIY) = 40 × 70 cm
- Balok Anak 1 (BA1) = 35 × 60 cm
- Balok Anak 2 (BA2) = 25 × 35 cm

- Kolom Lt. base (K1) = 60 × 60 cm
- Kolom Lt.1-3 (K2) = 60 × 60 cm
- Tebal Pelat = 12 cm



Gambar 3. Kurva Respon Spektrum Desain

3.4 Kontrol Persyaratan Desain Seismik

- Kontrol Periode Fundamental Struktur
- Kontrol Partisipasi Massa Ragam
- Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)
- Kontrol Simpangan Antar Tingkat
- Kontrol *Displacement*
- Kontrol Pengaruh P-delta
- Kontrol Ketidakberaturan Struktur

Berikut hasil pemeriksaan ketidakberaturan struktur

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur

Sumbu	Kode	Jenis	Kontrol	Konsekuensi Ketidakberaturan
Horizontal	H.1a	Ketidakteraturan Torsi	Ada	a) Pasal 11.3.4 SNI 1726:2019, eksentrisitas tak terduga yang terdiri dari perpindahan yang diasumsikan dari pusat massa masing-masing dari lokasi sebenarnya dengan jarak sama dengan 5% dimensi diafragma dari struktur yang sejajar dengan arah pergeseran massa harus dipertimbangkan. b) Pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019, Momen Torsi Tak Terduga (M _t) masing-masing tingkat harus diperhitungkan dengan faktor pembesaran torsi. c) Pasal 7.7.3 SNI 1726:2019, melakukan analisis dinamik 3D

Sumbu	Kode	Jenis	Kontrol	Konsekuensi Ketidakberaturan
				<p>dengan memperhitungkan kekakuan diafragma. Untuk elemen beton harus menggunakan properti penampang retak serta memperhitungkan pengaruh P-Δ.</p> <p>d) Pasal 7.12.1 SNI 1726 - 2019, menghitung simpangan antar lantai dengan persyaratan sesuai pasal yang berlaku pada Kategori Desain Seismik D.</p> <p>e) Tabel 16 SNI 1726:2019, menggunakan model analisis atau prosedur yang lebih ketat sesuai persyaratan pemilihan analisis struktur berdasarkan aturan pada tabel yang berlaku. Prosedur Analisis telah dilakukan berdasarkan Kategori Desain Seismik Gempa "D" yangizinkan berdasarkan pedoman perencanaan, yaitu menggunakan Analisis Spektrum Respons Ragam.</p> <p>f) Pasal 7.3.3.4 SNI 1726:2019, dilakukan peningkatan gaya. Namun karena gaya telah dihitung menggunakan efek gaya seismik maka gaya sudah tidak perlu diperbesar.</p>

3.5. Perencanaan Detail Elemen Struktur

Berdasarkan gaya-gaya dalam yang diperoleh dari analisis menggunakan program, direncanakan penulangan elemen-elemen struktur sebagai berikut.

A. Penulangan Pelat

Tebal Pelat: 120 mm (seragam)

Tabel 2. Rekapitulasi Tulangan Pelat

Pelat	Area	Tebal Pelat	Tulangan Pakai	
		mm	Lentur	Susut
Atap	Tumpuan	120	S10-350 mm	S10-350 mm
	Lapangan	120	S10-350 mm	
Lantai 3	Tumpuan	120	S10-250 mm	S10-250 mm
	Lapangan	120	S10-250 mm	
Lantai 2	Tumpuan	120	S10-350 mm	S10-350 mm
	Lapangan	120	S10-350 mm	
Lantai 1	Tumpuan	120	S10-250 mm	S10-250 mm
	Lapangan	120	S10-250 mm	

B. Penulangan Balok

Balok dianalisis berdasarkan masing-masing kondisi, sehingga menghasilkan gaya-gaya dan tulangan yang bervariasi. Berikut hasil rekapitulasi penulangan balok.

Tabel 3. Rekapitulasi Tulangan Balok Lantai 4

Lantai	Balok	Kondisi	Nama Tipe Balok	Tulangan Longitudinal				Tulangan Transversal		Tulangan Samping	
				Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan				
4	B.I.X	1	BIX 3	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		2	BIX 4	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
	B.I.Y	1	BIY 3	5S16	3S16	5S16	3S16	3S10-90	2S10-250	2S10	2S10
		2	BIY 4	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-300	2S10	2S10
		3	BIY 5	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-300	2S10	2S10
		4	BIY 6	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-300	2S10	2S10
	B.A 1	1	BA1 (7)	3S19	2S19	3S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		2	BA1 (8)	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		3	BA1 (9)	3S19	2S19	3S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		4	BA1 (10)	5S16	3S16	5S16	3S16	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		5	BA1 (11)	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		6	BA1 (12)	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		7	BA1 (13)	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10
		8	BA1 (14)	4S19	2S19	4S19	2S19	2S10-100	2S10-300	2S10	2S10
	B.A 2	1	BA2 (3)	2S16	2S16	2S16	2S16	2S10-70	2S10-100	-	-
		2	BA2 (4)	2S16	2S16	2S16	2S16	2S10-70	2S10-100	-	-

Tabel 4. Rekapitulasi Tulangan Balok Lantai 1-3

Lantai	Balok	Kondisi	Nama Tipe Balok	Tulangan Longitudinal				Tulangan Transversal		Tulangan Samping		
				Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan					
1-3	B.I.X	1	BIX 1	5S22	3S22	5S22	3S22	3S10-90	2S10-200	2S10	2S10	
		2	BIX 2	5S22	3S22	5S22	3S22	3S10-90	2S10-200	2S10	2S10	
	B.I.Y	1	BIY 1	7S19	3S19	7S19	3S19	3S10-100	2S10-150	2S10	2S10	
		2	BIY 2	5S22	2S22	5S22	2S22	2S10-100	2S10-300	2S10	2S10	
	B.A 1	1	BA1 (1)	4S22	3S22	4S22	3S22	3S10-125	2S10-250	2S10	2S10	
		2	BA1 (2)	5S22	3S22	5S22	3S22	3S10-125	2S10-250	2S10	2S10	
		3	BA1 (3)	5S22	2S22	5S22	2S22	2S10-125	2S10-250	2S10	2S10	
		4	BA1 (4)	7S19	3S19	7S19	3S19	3S10-125	2S10-250	2S10	2S10	
		5	BA1 (5)	5S22	2S22	5S22	2S22	2S10-100	2S10-250	2S10	2S10	
		6	BA1 (6)	5S22	2S22	5S22	2S22	2S10-100	2S10-300	2S10	2S10	
	B.A 2	1	BA2 (1)	2S16	2S16	2S16	2S16	2S10-70	2S10-100	-	-	
		2	BA2 (2)	2S16	2S16	2S16	2S16	2S10-70	2S10-100	-	-	
		Balok bordes			5S16	3S16	5S16	3S16	3S10-90	2S10-150	-	-

C. Penulangan Kolom

Dengan dimensi kolom menerus 600 x 600, direncanakan tulangan kolom dengan tipe berbeda, di mana kolom bagian bawah di desain dengan jumlah tulangan yang lebih banyak.

Tabel 5. Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Kolom

Kolom	Lantai	Tul. minimal	Tul. Pakai
K1 Sudut	Base	24S22	24S22
K2 Sudut	1	16S22	
K2 Sudut	2	16S22	16S22
K2 Sudut	3	16S22	
K1 Tengah	Base	24S22	24S22
K2 Tengah	1	16S22	
K2 Tengah	2	12S22	16S22
K2 Tengah	3	12S22	
K1 Tepi	Base	24S22	24S22
K2 Tepi	1	16S22	
K2 Tepi	2	12S22	16S22
K2 Tepi	3	12S22	

Tabel 6. Rekapitulasi Tulangan Transversal Kolom

Lantai	Kolom	Tulangan Transversal Terpasang	
		Tumpuan	Lapangan
Base	K1 Sudut	4S13-100	2S13-125
	K1 Tengah	4S13-100	2S13-125
	K1 Tepi	4S13-100	2S13-125
1-3	K2 Sudut	4S13-100	2S13-125
	K2 Tengah	4S13-100	2S13-125
	K2 Tepi	4S13-100	2S13-125

4. Kesimpulan

Struktur telah diperiksa melalui kontrol-kontrol sebagaimana diatur dalam SNI, serta telah diterapkan konsekuensi-konsekuensi sesuai ketidakberaturan yang dialami. Dengan demikian, telah direncanakan tulangan yang menahan gaya-gaya yang bekerja dengan terpenuhinya syarat desain 'kekuatan rencana \geq kekuatan perlu' sesuai dengan SNI 2847:2019.

5. Saran

1. Dalam melakukan perencanaan struktur, standar-standar yang menjadi acuan dalam perencanaan harus diperhatikan, serta perhitungan harus dilakukan dengan teliti, supaya hasil dari perencanaan struktur aman sehingga terhindar dari keruntuhan total.
2. Sebaiknya digunakan standar-standar terkini dalam perencanaan struktur, mengingat standar-standar tersebut terus diperbarui mengikuti perkembangan hasil penelitian yang mutakhir.
3. Inovasi selanjutnya yang bisa dicoba adalah dengan mengoptimalkan desain elemen-elemen struktur yang sudah ada, sehingga perencanaan menjadi lebih efisien. Perencanaan dapat pula dilanjutkan dengan perhitungan desain pondasi.

Referensi

- Badan Pusat Statistik. 2021. *Berita Resmi Statistik: Hasil Sensus Penduduk 2020*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan*

- Struktur Lain*, SNI 1727-2020. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton*, SNI 2052-2017. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726:2019. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2019. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Bahar, Hardizal. 2022. *Pedoman Detail Penulangan Beton Menurut SNI 2847:2019*. Makassar: Nas Media Pustaka.
- Bricon. *Bata Ringan Bricon*. <https://bataringanbricon.com/bata-ringan-bricon/>, 8 Oktober 2023.
- Fuady, M. dan Munadi, R. 2021. *Disaster Mitigation in Indonesia: Between Plans and Reality*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020.
- Gunung Raja Paksi. Lipped Channel (Baja Kanal C Ringan). *Katalog Produk*, hal.12 dan hal.50.
- Honarto, R.J., Handono, B. D., Pandaleke, R. 2019. *Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 7.
- Laily, R., Sumajouw M. D. J., Wallah, S. E. 2019. *Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 7.
- Lesmana, Yudha. 2020. *Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019*. Makassar: Nas Media Pustaka.
- Prima Baja Indo Sukses. *Atap Spandek*. <https://pbsukses.co.id/product/atap-spandek/>, 14 September 2023.
- Wantania, R. 2019. Handono, B. D., Pandaleke, R. 2019. *Perencanaan Bangunan Sekolah Konstruksi Baja 4 Lantai di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 7.