

Studi Komparasi Perancangan Balok Struktural Berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 Dan SNI 2847-2019

Noerman Adi Prasetya ^{*1}, Ahmad Hernadi ², Agung Nugroho ³

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Jalan Amal Lama No. 01 Tarakan, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, FT UBT, Tarakan

Email: ^{*1}noermanp@gmail.com

Received 18 March 2021; Reviewed 08 August 2021; Accepted 04 November 2021

Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

This study aims to determine the difference in structural beam design using SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 and SNI 2847-2019 by comparing the bending and shear reinforcement in the case study of the Faculty of Health Sciences Building, University of Borneo Tarakan. The results of the comparisons include: the maximum reinforcement ratio at SNI 2847-2013 and 2019 is around 16,667% smaller than SNI 2847-2002, the flexural capacity of the beam design results from SNI 2847-2013 and 2019 increases by about 12.5% compared to SNI 2847-2002, The shear capacity of concrete (V_c) designed with SNI 2847-2013 and 2019 increased by about 2% compared to SNI 2847-2002, as well as the design shear capacity of the accumulated concrete and shear reinforcement designed by SNI 2847-2013 and 2019 increased no more than 1% compared to SNI 2847-2002.

Keywords: *Flexure Reinforced, Shear Reinforced, Strength Reduction Factor, Standard Update*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui selisih desain balok struktural menggunakan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 dengan cara melakukan komparasi tulangan lentur dan tulangan geser pada studi kasus Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan. Hasil komparasi antara lain: rasio tulangan maksimum pada SNI 2847-2013 dan 2019 lebih kecil sekitar 16.667% dibandingkan SNI 2847-2002, kapasitas lentur rencana balok hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat sekitar 12.5% dibandingkan dengan SNI 2847-2002, kapasitas geser dari beton (V_c) hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat sekitar 2% dibandingkan dengan SNI 2847-2002, serta kapasitas geser rencana dari akumulasi beton dan tulangan geser hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat tidak lebih dari 1% dibandingkan dengan SNI 2847-2002.

Kata kunci: *Tulangan Lentur, Tulangan Geser, Faktor Reduksi Kekuatan, Pembaharuan Standar*

1. Pendahuluan

Kebutuhan pasar, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pemeliharaan dan penilaian kelayakan struktur bangunan, khususnya bangunan beton bertulang menjadi dasar Badan Standarisasi Nasional (SNI) untuk melakukan pembaharuan beberapa SNI strategis salah satunya adalah SNI 2847:2019 mengenai "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan". Standar ini telah dipersiapkan oleh Komite Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil (91-01) melalui Gugus Kerja Bahan Bangunan pada Subkomite Teknis Bahan,

Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan (91-01-S4) dan telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 30 Agustus 2019 sampai dengan 29 Oktober 2019, dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI. Peraturan yang baru ini sekaligus menggantikan peraturan sebelumnya, yaitu 03-SNI 2847 - 2002 yang sudah berlaku lebih dari 17 tahun dan SNI 2847 - 2013 yang sudah berlaku kurang lebih 6 tahun. Seperti halnya peraturan terdahulu yang menganut tata cara dari American Concrete Institute (ACI), maka SNI 2847:2019 disusun dengan mengacu pada ACI318M-14 dan ACI318RM-14.

Perubahan yang cukup signifikan pada beberapa detail isi pedoman yang diatur dalam SNI 2847:2019 harus dipahami dengan baik oleh pelaku konstruksi, terutama para perencana struktur. Perubahan besar terlihat pada organisasi pasal yang menjadi lebih ringkas dengan pengelompokan-pengelompokan item perhitungan berdasarkan elemen strukturnya, disamping itu juga terdapat perubahan teknis yang signifikan pada beberapa elemen struktural, diantaranya persyaratan sistem struktur, struktur tahan gempa, dan persyaratan desain yang semakin fleksibel seiring meningkatnya teknologi terkini.

Penentuan kriteria penampang tersebut didasarkan pada regangan tarik *netto* (ϵ_t), yang terjadi pada tulangan baja terluar. Rasio tulangan maksimum ditentukan berdasarkan regangan tarik minimum yang boleh terjadi, sesuai dengan yang ditentukan dalam peraturan. Hal ini sedikit berbeda dari peraturan sebelumnya, SNI 2847-2002, yang menyatakan bahwa rasio tulangan maksimum dibatasi sebesar 0,75 dari rasio tulangan dalam kondisi seimbang. Selain itu, perubahan juga terjadi pada faktor reduksi kekuatan, ϕ . Jika pada SNI 2002, nilai ϕ ditentukan seragam sebesar 0,8, maka pada SNI 2847-2013 nilai ϕ diperbolehkan diambil sebesar 0,90 jika ϵ_t mencapai 0,005 atau lebih dan direduksi secara linear hingga ϵ_t mencapai batas minimum yang diizinkan sebesar 0,004 (Setiawan, 2015), hal yang serupa juga yang tercantum pada SNI 2847-2013.

Perkembangan teknologi yang cepat pada periode 2002, 2013 sampai dengan 2019 menyebabkan desain balok struktural pada SNI 2847-2019 menjadi lebih fleksibel dan efisien. Berdasarkan hal tersebut, gambaran secara rinci mengenai selisih desain balok struktural menggunakan SNI 2847-2002, SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 dapat terlihat dengan komparasi tulangan lentur dan tulangan geser pada studi kasus Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan yang dalam perencanaannya menggunakan SNI 2847:2002.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan dengan objek penelitian adalah Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan.

2.2. Survei lapangan

Survei lapangan meliputi pengamatan secara visual (*Visual Check*), baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan kamera dan pemeriksaan kerusakannya, khususnya retak-retak. Investigasi cacat struktur yang lain seperti keropos, berlobang, mengelupas dan sebagainya. Kegiatan ini dilakukan terutama terhadap komponen yang berfungsi memikul beban-beban, baik beban vertical maupun beban horizontal. Hasil dari kegiatan ini telah berupa penggambaran pola-pola keretakan pada elemen balok struktur "*Crack Pattern*".

2.3. Pengumpulan Data

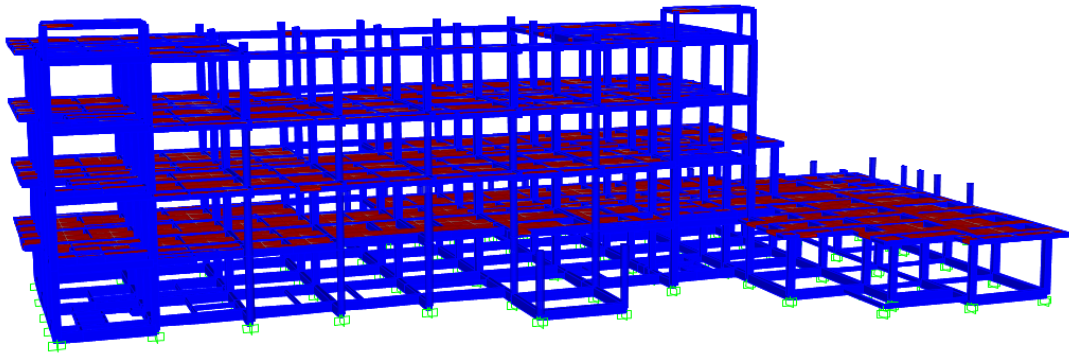
Pengumpulan data pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan merupakan data yang diambil di lapangan secara langsung berupa pengujian mutu bahan dengan cara *non destructive test* dengan *Hammer Test* berdasarkan SNI 03-4430-1997 dan *Ultrasonic Pulse Velocitymeter* (UPV) berdasarkan standar pengujian ASTM C597, sedangkan data

sekunder yang digunakan merupakan hasil pemeriksaan gambar-gambar yang ada, data uji mutu beton, dan data spesifikasi teknik gedung.

2.4. Analisis Struktur

Analisis struktur dalam rangka evaluasi kelaikan struktur yang didasarkan pada ukuran dan kondisi eksisting yang ada dengan tujuan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam akibat berbagai kombinasi pembebanan, kemudian dari data primer yang diperoleh sebelumnya dilakukan pemodelan struktur pada Gambar 1 untuk dianalisis sehingga dihasilkan gaya-gaya lentur dan geser elemen balok yang selanjutnya digunakan untuk desain tulangan.

Pada tahap kegiatan ini dilakukan analisis terhadap perencanaan (mengacu pada gambar-gambar bestek perencanaan) dan analisis terhadap pelaksanaan (dikarenakan tidak ditemukan adanya dokumen “*as built drawing*”, maka digunakan data *condition drawing* dan hasil data pengujian lapangan maupun laboratorium yang didapatkan pada tahapan kegiatan sebelumnya.



Gambar 1 Pemodelan Struktur Gedung FIKES - UBT

2.5. Evaluasi Hasil Analisis Struktur

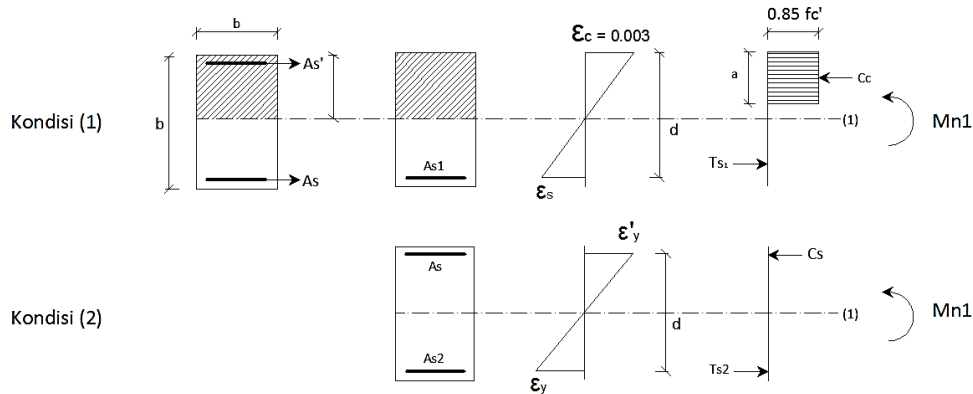
Dari hasil analisis struktur ini akan dilakukan evaluasi berupa kontrol kapasitas, khususnya elemen balok struktural sebagai pemikul beban-beban yang bekerja. Nilai kekuatan kondisi eksisting struktur akan disimulasikan untuk kondisi layan struktur nantinya menggunakan SNI-2847-2002, SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019.

2.6. Desain Tulangan

Dari hasil evaluasi hasil analisa struktur sebelumnya diperoleh *gap* antara kekuatan menggunakan SNI-2847-2002, SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019, lalu pada tahap ini akan dilakukan pengecekan tulangan Kapasitas lentur dan geser, selanjutnya hasil perhitungan akan disajikan ke dalam grafik untuk dikomparasikan yang selanjutnya dibahas berdasarkan hasil amatan selisih desain tulangan antar pedoman SNI-2847 yang digunakan.

2.7.1. Desain tulangan lentur

Tulangan longitudinal tarik maupun tekan pada balok dipasang dengan arah sejajar sumbu balok. Biasanya tulangan tarik dipasang lebih banyak daripada tulangan tekan, kecuali pada balok yang menahan momen lentur kecil (Asroni, 2010).



Gambar 3. diagram tegangan-regangan tulangan rangkap (Nawy, 1990) Pada kondisi 1

$$T_s = T_c \tag{2.1}$$

$$A_{S1} < 0,75A_{Sb} \tag{2.2}$$

$$A_{S1} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \tag{2.3}$$

$$a = \frac{A_{S1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \tag{2.4}$$

$$M_{n1} = T_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \tag{2.5}$$

$$M_{n1} = A_{S1} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{S1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \right) \tag{2.6}$$

dimana :

T_s = Kuat Kuant momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (Nm)

C_c = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)

A_{s1} = Luas tulangan (mm^2)

A_{sb} = Luas tulangan (mm^2)

f_y = Mutu baja (Mpa)

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

b_w = Lebar badan (mm)

M_{n1} = Momen nominal (kNm)

d = Jarak antar titik berat tulangan tarik ke serat tekan terluar (mm)

d' = Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton (mm)

Selisih momen :

$$M_{n2} = T_{s2} \cdot (d - d') \tag{2.7}$$

$$M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} \cdot M_{n1} \tag{2.8}$$

$$f_{s2} = f_y \tag{2.9}$$

$$M_{n2} = A_{S2} \cdot f_{s2} \cdot (d - d') \tag{2.10}$$

$$A_{S2}' = A_{S2} = \left(\frac{M_{n2}}{f_{s2} (d - d')} \right) \tag{2.11}$$

Sehingga diperoleh :

Tulangan tarik : $A_s = A_{s1} + A_{s2}$

Tulangan tekan : A_s'

dimana :

M_{n2} = Momen nominal (kNm)

T_{s2} = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton (Nm)

M_u = Momen ultimit (kNm)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan (tanpa satuan)

$A_{s1,2}$ = Luas tulangan 1,2 (mm^2)

A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2)

SNI 2847 2013 dan SNI 2847 2019 menjelaskan adanya persyaratan mengenai komponen struktur penahan lentur (balok) yaitu sesuai dengan persamaan berikut 2.12 :

$$A_{s\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b_w \cdot d \quad (2.12)$$

Namun, nilai $A_{s\min}$ tidak kurang dari $1,4 b_w d/f_y$

dimana :

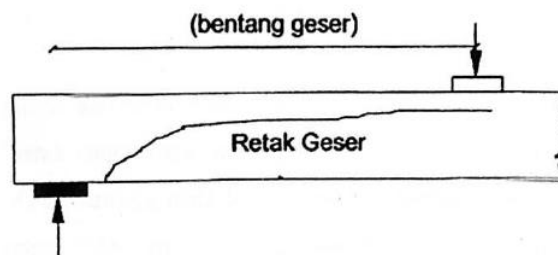
$A_{s\min}$ = Luas tulangan minimal (mm^2)

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

f_y = Kuat leleh baja yang disyaratkan (MPa)

b_w = lebar badan balok (mm)

2.7.2. Desain tulangan geser



Gambar 4. Tipikal kerusakan geser lentur (Nawy, 1998)

Berdasarkan SNI 2847 2013 dan SNI 2847 2019, dasar perhitungan tulangan geser balok seperti Persamaan 2.13 berikut:

$$V_u \leq \phi V_n; \quad \phi = 0.75 \quad (2.13)$$

dimana :

V_n = kuat geser nominal (kN)

V_u = gaya geser terfaktor (kN)

ϕ = faktor reduksi

Sedangkan,

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.14)$$

dimana :

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (kN)

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (kN)

Ketika proses desain yang dihitung yaitu jumlah tulangan geser yang diperlukan sehingga yang dicari adalah V_s . BSN (2013) menjelaskan bahwa kuat geser V_s tidak boleh melebihi kuat geser maksimum $V_{s maks}$, yaitu dirumuskan pada Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$V_{s maks} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w \cdot d \quad (2.15)$$

dimana :

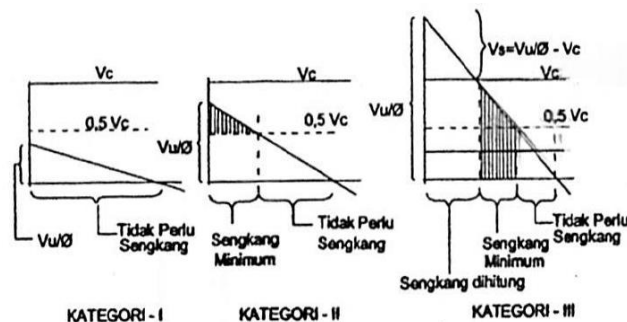
b_w = lebar badan (mm)

$V_{s maks}$ = kekuatan geser sengkang (kN)

d = jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan (mm)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

Secara grafik syarat tulangan geser tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Diagram Gaya Geser Balok (Priyosulistyo, 2010)

3. Hasil dan Pembahasan

Data sekunder yang di peroleh adalah gambar-gambar dan data uji mutu beton , sedangkan data primer yang diambil di lapangan berupa pengujian mutu bahan dengan *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocitymeter* (UPV) yang mana data sekunder dan data primer tersebut menjadi dasar acuan untuk memodelkan gedung FIKES UBT dalam penelitian ini. Adapun besaran parameter mutu beton (f'_c) berdasarkan pengujian di lapangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 20.75Mpa dan mutu tulangan baja adalah 400 Mpa.

3.1. Hasil Analisis Gaya Dalam (*Internal Forces*) Balok Struktur

Tabel 1 Hasil Analisis Gaya Dalam Balok Struktur

Tipe Balok	Gambar	Posisi	V_u (kN)	M_u (kNm)
B1		Tumpuan	342	638
		Lapangan	178	430
B2		Tumpuan	140	315
		Lapangan	105	232
B3		Tumpuan	85	180
		Lapangan	53	115
B4		Tumpuan	26	63
		Lapangan	16	19

3.2. Hasil Desain Tulangan Lentur Balok Struktur

Hasil perhitungan tulangan longitudinal pada penampang dari elemen balok gedung FIKES-UBT disajikan dalam bentuk tabel yang berisikan parameter-parameter perhitungan yang mencakup momen ultimate, diameter dan jumlah tulangan, rasio tulangan, tinggi blok tekan penampang, nilai batas regangan tarik sampai dengan diperoleh kapasitas lentur penampang dengan desain tulangan menggunakan perhitungan tulangan rangkap yang kemudian dipecah menjadi beberapa segmen perhitungan dalam rangka untuk memudahkan dalam pengklasteran jenis evaluasi.

Adapun hasil perhitungan tulangan lentur/longitudinal dapat dilihat pada Lampiran Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 dapat diketahui bahwa Rasio tulangan maksimum pada SNI 2847-2013 dan 2019 lebih kecil sekitar 16.667% dibandingkan SNI 2847-2002 dan kapasitas lentur rencana balok hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat sekitar 12.5% dibandingkan dengan SNI 2847-2002.

3.3. Hasil Desain Geser Balok Struktur

Hasil perhitungan kekuatan geser pada penampang dari elemen balok gedung FIKES-UBT disajikan dalam bentuk tabel yang berisikan parameter-parameter perhitungan sampai dengan diperoleh kapasitas geser penampang dengan desain tulangan menggunakan perhitungan tulangan rangkap yang kemudian dipecah menjadi beberapa segmen perhitungan dalam rangka untuk memudahkan dalam pengklasteran jenis evaluasi. Adapun hasil perhitungan tulangan longitudinal dapat dilihat dalam Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9 pada Lampiran.

Dari Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9 pada Lampiran dapat diketahui bahwa kapasitas geser dari beton (V_c) hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat sekitar 2% dibandingkan dengan SNI 2847-2002 dan untuk kapasitas geser rencana dari akumulasi beton dan tulangan geser hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat tidak lebih dari 1% dibandingkan dengan SNI 2847-2002.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi komparasi balok struktural untuk beton normal dengan mengambil contoh kasus pada Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketentuan-ketentuan perhitungan lentur dan geser untuk balok struktural beton normal pada SNI 2847 -2013 sama dengan SNI 2847-2019
2. Perbedaan ketentuan parameter antara SNI 2847-2002 terhadap dua SNI terbaru lainnya terletak pada penetapan rasio tulangan maksimum (ρ_{maks}), faktor reduksi lentur (ϕ), serta penetapan kapasitas geser dari beton (V_c)
3. Rasio tulangan maksimum pada SNI 2847-2013 dan 2019 lebih kecil sekitar 16.667% dibandingkan SNI 2847-2002
4. Kapasitas lentur rencana balok hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat sekitar 12.5% dibandingkan dengan SNI 2847-2002
5. Kapasitas geser dari beton (V_c) hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat sekitar 2% dibandingkan dengan SNI 2847-2002
6. Kapasitas geser rencana dari akumulasi beton dan tulangan geser hasil desain dengan SNI 2847-2013 dan 2019 meningkat tidak lebih dari 1% dibandingkan dengan SNI 2847-2002

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan bantuan dana penelitian sehingga penelitian ini dapat terbiayai dan terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

Asroni, A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu, Hal: 84

- Nawy, E. G, Bambang Suryoatmono, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung, Eresco, 1990
- Nawy, E. G, Bambang Suryoatmono, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung, Eresco, 1998
- Priyosulistyo, H. 2010. *Perancangan Analisis Struktur Beton Bertulang I*, Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil UGM
- Setiawan, A. 2015. *Persyaratan Desain Komponen Struktur Lentur Beton Bertulangan Tunggal antara SNI 2847-2002 dan SNI 2847-2013*. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer Vol. 04 No.14 Apr-Jun 2015, Universitas Pembangunan Jaya.
- SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Jakarta, 2002.
- SNI 03-2847-2013, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Jakarta, 2013.
- SNI 03-2847-2019, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, Jakarta, 2019.

Lampiran

Tabel 2 Hasil analisis tulangan lentur balok B1

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
M_u	kNm	638	638	638	430	430	430
$\phi_{tulangan}$	mm	22	22	22	22	22	22
n tul. tarik	buah	10	10	10	9	9	9
n tul. tekan	buah	3	3	3	3	3	3
A_s	mm ²	3801	3801	3801	3421	3421	3421
A_s'	mm ²	1140	1140	1140	1140	1140	1140
ρ		0.0156	0.0156	0.0156	0.0140	0.0140	0.0140
ρ'		0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047
$\rho - \rho'$		0.0109	0.0109	0.0109	0.0093	0.0093	0.0093
$(\rho - \rho') \geq K$		tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh
ρb		0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225
ρ_{maks}		0.0169	0.0141	0.0141	0.0169	0.0141	0.0141
$(\rho - \rho') \leq \rho_{maks}$		ok terkendali tarik	ok terkendali tarik	ok terkendali tarik	ok terkendali tarik	ok terkendali tarik	ok terkendali tarik
ρ_{min}		0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
Syarat $\rho_{min} < (\rho - \rho')$ $< \rho_{maks}$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi
β_1		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
a	mm	150.872	150.872	150.872	129.327	129.327	129.327
c	mm	177.496	177.496	177.496	152.149	152.149	152.149
ϵ_t		0.0073	0.0073	0.0073	0.0090	0.0090	0.0090
$\epsilon_t > 0.005$		tarik	tarik	tarik	tarik	tarik	tarik
M_n	kNm	806.11	806.11	806.11	734.69	734.69	734.69
M_r	kNm	644.89	725.50	725.50	587.75	661.22	661.22
Syarat $M_r > M_u$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 3 Hasil analisis tulangan lentur balok B2

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
M_u	kNm	315	315	315	232	232	232
$\phi_{tulangan}$	mm	19	19	19	19	19	19
n tul. tarik	buah	10	10	10	9	9	9
n tul. tekan	buah	3	3	3	3	3	3
A_s	mm ²	2835	2835	2835	2835	2835	2835
A_s'	mm ²	851	851	851	851	851	851
ρ		0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222
ρ'		0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067
$\rho - \rho'$		0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156
$(\rho - \rho') \geq K$		tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh	tul tekan belum leleh
ρb		0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225
ρ_{maks}		0.0169	0.0141	0.0141	0.0169	0.0141	0.0141
$(\rho - \rho') \leq \rho_{maks}$		ok terkendali tarik	not ok terkendali tekan	not ok terkendali tekan	ok terkendali tarik	not ok terkendali tekan	not ok terkendali tekan
ρ_{min}		0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
Syarat $\rho_{min} < (\rho - \rho')$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
$< \rho_{maks}$							
β_l		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
a	mm	149.983	149.983	149.983	149.983	149.983	149.983
c	mm	176.451	176.451	176.451	176.451	176.451	176.451
ε_t		0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042
$\varepsilon_t > 0.005$		transisi	transisi	transisi	transisi	transisi	transisi
M_n	kNm	396.91	396.91	396.91	396.91	396.91	396.91
M_r	kNm	317.53	357.22	357.22	317.53	357.22	357.22
Syarat $M_r > M_u$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 4 Hasil analisis tulangan lentur balok B3

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
M_u	kNm	180	180	180	115	115	115
$\phi_{tulangan}$	mm	19	19	19	19	19	19
n tul. tarik	buah	8	8	8	8	8	8
n tul. tekan	buah	3	3	3	3	3	3
A_s	mm ²	2268	2268	2268	2268	2268	2268
A_s'	mm ²	851	851	851	851	851	851
ρ		0.0279	0.0279	0.0279	0.0279	0.0279	0.0279
ρ'		0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
$\rho - \rho'$		0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174
$(\rho - \rho') \geq K$		tul tekan	tul tekan	tul tekan	tul tekan	tul tekan	tul tekan
		belum	belum	belum	belum	belum	belum
		leleh	leleh	leleh	leleh	leleh	leleh
ρb		0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225
ρ_{maks}		0.0169	0.0141	0.0141	0.0169	0.0141	0.0141
$(\rho - \rho') \leq \rho_{maks}$		not ok	not ok	not ok	not ok	not ok	not ok
		terkendali	terkendali	terkendali	terkendali	terkendali	terkendali
		tekan	tekan	tekan	tekan	tekan	tekan
ρ_{min}		0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
Syarat $\rho_{min} < (\rho - \rho')$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi
$< \rho_{maks}$							
β_l		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
a	mm	128.544	128.544	128.544	128.544	128.544	128.544
c	mm	151.229	151.229	151.229	151.229	151.229	151.229
ε_t		0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034
$\varepsilon_t > 0.005$		bukan	bukan	bukan	bukan	bukan	bukan
		tarik	tarik	tarik	tarik	tarik	tarik
M_n	kNm	232.88	232.88	232.88	232.88	232.88	232.88
M_r	kNm	186.30	209.59	209.59	186.30	209.59	209.59
Syarat $M_r > M_u$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 5 Hasil analisis tulangan lentur balok B4

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
M_u	kNm	63	63	63	19	19	19
$\emptyset_{tulangan}$	mm	16	16	16	16	16	16
n tul. tarik	buah	6	6	6	6	6	6
n tul. tekan	buah	2	2	2	2	2	2
A_s	mm ²	1206	1206	1206	1206	1206	1206
A_s'	mm ²	402	402	402	402	402	402
ρ		0.0268	0.0268	0.0268	0.0268	0.0268	0.0268
ρ'		0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089
$\rho - \rho'$		0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179
$(\rho - \rho') \geq K$		tul tekan	tul tekan	tul tekan	tul tekan	tul tekan	tul tekan
		belum	belum	belum	belum	belum	belum
		leleh	leleh	leleh	leleh	leleh	leleh
ρb		0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225
ρ_{maks}		0.0169	0.0141	0.0141	0.0169	0.0141	0.0141
$(\rho - \rho') \leq \rho_{maks}$		not ok	not ok	not ok	not ok	not ok	not ok
		terkendali	terkendali	terkendali	terkendali	terkendali	terkendali
		tekan	tekan	tekan	tekan	tekan	tekan
ρ_{min}		0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
Syarat $\rho_{min} < (\rho - \rho')$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi
$< \rho_{maks}$							
β_1		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
a	mm	91.169	91.169	91.169	91.169	91.169	91.169
c	mm	107.258	107.258	107.258	107.258	107.258	107.258
ϵ_t		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
$\epsilon_t > 0.005$		bukan	bukan	bukan	bukan	bukan	bukan
		tarik	tarik	tarik	tarik	tarik	tarik
M_n	kNm	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82
M_r	kNm	65.46	73.64	73.64	65.46	73.64	73.64
Syarat $M_r > M_u$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 6 Hasil analisis tulangan geser balok B1

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
V_u	kN	342	342	342	178	178	178
\emptyset sengkang	mm	10	10	10	10	10	10
s	mm	125	125	125	300	300	300
A_v	mm ²	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00
V_c	kN	185.245	188.950	188.950	185.245	188.950	188.950
Kecukupan penampang menahan geser		cukup	cukup	cukup	cukup	cukup	cukup
V_s	kN	306.46	306.46	306.46	127.69	127.69	127.69
$\phi \cdot (V_c + V_s)$	kN	368.78	371.561	371.561	234.70	237.483	237.483
$\phi \cdot (V_c + V_s) > V_u$		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 7 Hasil analisis tulangan geser balok B2

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
Vu	kN	140	140	140	105	105	105
Ø sengkang	mm	10	10	10	10	10	10
s	mm	200	200	200	250	250	250
Av	mm ²	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00
Vc	kN	96.798	98.734	98.734	96.798	98.734	98.734
Kecukupan penampang menahan geser		cukup	cukup	cukup	cukup	cukup	cukup
Vs	kN	133.45	133.45	133.45	106.76	106.76	106.76
φ.(Vc + Vs)	kN	172.69	174.138	174.138	152.67	154.121	154.121
φ.(Vc + Vs) > Vu		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 8 Hasil analisis tulangan geser balok B3

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
Vu	kN	85	85	85	53	53	53
Ø sengkang	mm	10	10	10	10	10	10
s	mm	200	200	200	250	250	250
Av	mm ²	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00
Vc	kN	61.685	62.919	62.919	61.685	62.919	62.919
Kecukupan penampang menahan geser		cukup	cukup	cukup	cukup	cukup	cukup
Vs	kN	102.05	102.05	102.05	81.64	81.64	81.64
φ.(Vc + Vs)	kN	122.80	123.727	123.727	107.49	108.419	108.419
φ.(Vc + Vs) > Vu		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

Tabel 9 Hasil analisis tulangan geser balok B4

	Satuan	Tumpuan			Lapangan		
		SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019	SNI 2002	SNI 2013	SNI 2019
Vu	kN	26	26	26	16	16	16
Ø sengkang	mm	10	10	10	10	10	10
s	mm	200	200	200	250	250	250
Av	mm ²	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00	157.00
Vc	kN	34.164	34.847	34.847	34.164	34.847	34.847
Kecukupan penampang menahan geser		cukup	cukup	cukup	cukup	cukup	cukup
Vs	kN	70.65	70.65	70.65	56.52	56.52	56.52
φ.(Vc + Vs)	kN	78.61	79.123	79.123	68.01	68.526	68.526
φ.(Vc + Vs) > Vu		memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi