

TUGAS AKHIR

**DESAIN RANGKA ATAP SPORT HALL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

***DESIGN OF SPORT HALL SPACE TRUSS OF
ENGINEERING FACULTY, UNIVERSITAS HASANUDDIN***

**RISWANDINATA
D011 18 1012**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**DESAIN RANGKA ATAP SPORT HALL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh:

RISWANDINATA

D011 18 1012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 25 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D
NIP: 196007301986031003



Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT
NIP: 197206192000122001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Riswandinata, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Desain Rangka Atap Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin”**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,



Riswandinata

NIM: D011 18 1012

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul “**DESAIN RANGKA ATAP SPORT HALL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**” merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D.**, selaku dosen pembimbing II, dan **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng** selaku dosen Laboratorium Riset Rekayasa dan Perkuatan Struktur yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Ansar** dan ibunda **Lilis** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur**, terkhusus **Fikri, Radix, Hari, Fiqih, Kaleb, Inna, Wana, Yuyun, Kinah, dan Fitri**. Terima kasih karena telah menjadi teman berdiskusi yang baik dan telah menghidupkan suasana mukim perkuatan serta membuat penulisan tugas akhir ini menjadi sangat menyenangkan.
3. Kanda **Teguh Priono, S.T.** yang selalu memberikan banyak ilmu dan pengetahuan baru, serta senantiasa memberikan dorongan kepada penulis untuk terus meningkatkan kualitas yang dimiliki penulis.
4. Saudara-saudari **TRANSISI 2019**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2018** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir nanti.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Oktober 2022

Riswandinata

ABSTRAK

Bangunan bentang lebar merupakan bangunan yang memungkinkan penggunaan ruang bebas kolom yang sebesar dan sepanjang mungkin. Guna dan fungsi bangunan bentang lebar dipergunakan untuk kegiatan-kegiatan yang membutuhkan ruang bebas kolom yang cukup besar, seperti untuk kegiatan olahraga berupa stadion, auditorium, exhibition. Dengan mempertimbangkan segala aspek tersebut maka direncanakan dengan menggunakan sistem space truss. Space truss adalah struktur rangka tiga dimensi. Space truss dapat digunakan untuk konstruksi yang berbentuk besar dengan mendukung beberapa interior. Struktur bentang lebar memiliki tingkat kerumitan yang berbeda satu dengan lainnya. Kerumitan yang timbul dipengaruhi oleh gaya yang terjadi pada struktur tersebut.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan desain pada rangka atap sport hall menggunakan sistem rangka ruang (space truss). Hal ini dilakukan untuk menganalisis komponen struktur baja pada rangka atap dari Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Struktur yang direncanakan adalah struktur untuk menahan beban mati (DL), beban hidup (LL) , dan beban angin (W). Dalam pemodelan struktur dimodelkan menyerupai bentuk sebenarnya sesuai dengan kondisi dilapangan, dimana tumpuan tidak dimodelkan sebagai tumpuan jepit, melainkan dimodelkan sebagai kolom, dikarenakan hal tersebut mempengaruhi dimensi struktur yang akan digunakan. Penelitian ini menggunakan data perencanaan Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan bentang atap 61,74 meter dan tinggi atap 9,87 meter dengan menggunakan struktur baja. Material yang digunakan berupa Circular Hollow Section, profil kanal C (CNP), profil baja tulangan polos $\varnothing 27$ sebagai *wind brace*, dan trekstang $\varnothing 15$. Perencanaan struktur disesuaikan dengan SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan SNI 2847:2019. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan program bantu SAP2000 versi 22.

Dari hasil analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil desain elemen struktur telah aman terhadap beban mati, beban hidup atap, dan beban angin yang bekerja pada struktur sesuai dengan standar dan ketentuan yang berlaku. Sambungan las yang digunakan telah sesuai dengan spesifikasi dan standar yang berlaku.

Kata kunci: Analisa Struktur, Sport Hall, *Space Truss*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Sistem Rangka Ruang	6
A.1. Definisi Rangka Ruang (<i>Space Truss</i>)	6
A.2. Perbandingan Sistem Rangka Ruang dan Rangka Batang	7
B. Pembebanan Pada Struktur.....	7
B.1. Beban Mati.....	7
B.2. Beban Hidup	8
B.3. Beban Angin.....	9
B.4. Kombinasi Pembebanan	11
C. Desain Komponen Struktur	12
C.1. Kelangsingan Penampang	12
C.2. Desain Komponen Struktur Untuk Tekan	16
C.3. Perencanaan komponen struktur untuk lentur.....	18
C.4. Desain Komponen Struktur Untuk Kombinasi Gaya dan Torsi	22
C.5. Desain Komponen Struktur Untuk Tarik	23
C.6. Kontrol Lendutan.....	26
C.7. Desain Sambungan Las	26

C.8. Desain Tumpuan.....	30
C.9. Desain Batang Angkur dan Penanaman	31
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	42
A. Gambaran Umum	42
B. Metode Perencanaan.....	42
B.1. Jenis dan Sumber Data.....	42
B.2. Standar dan Rujukan Yang Digunakan	43
C. Bagan Alir Perencanaan	44
D. Data Perencanaan	46
E. Spesifikasi Material	46
F. Beban-Beban yang Bekerja	49
F.1 Beban Mati.....	49
F.2 Beban Hidup Atap.....	49
F.3 Beban Angin	49
G. Kombinasi Pembebanan	50
H. Kontrol Komponen Struktur.....	50
H.1 Kontrol Profil Gording.....	50
H.2 Kontrol Trekstang (<i>Sagrod</i>).....	50
H.3 Kontrol Ikatan Angin.....	50
I. Perhitungan Sambungan Las.....	51
J. Pemodelan Struktur	51
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	58
A. <i>Preliminary Design</i>	58
A.1. Menghitung Momen yang Bekerja pada Balok Gording.....	58
A.2. Kombinasi Beban.....	61
B. Kontrol Komponen Struktur Atap.....	63
B.1. Kontrol Komponen Gording.....	63
B.2. Kontrol Trekstang (<i>Sagrod</i>).....	73
B.3. Kontrol Ikatan Angin.....	75
B.4. <i>Running Analysis</i> pada Program SAP2000 v.22	76
B.5. Kontrol Penampang Kuda-Kuda.....	77
C. Perhitungan Sambungan Las.....	97

C.1.	Sambungan Model 1	97
C.2.	Sambungan Model 2	100
C.3.	Sambungan Model 3	102
C.4.	Sambungan Model 4	105
C.5.	Sambungan Model 5	107
C.6.	Sambungan Model 6	110
D.	Perhitungan tumpuan	112
D.1.	Desain <i>Base Plate</i>	112
D.2.	Desain Baut Angkur	118
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	131
A.	Kesimpulan	131
B.	Saran	132
DAFTAR PUSTAKA.	133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bentuk Dasar Sistem Space Truss.....	6
Gambar 2. Kasus Beban Sistem Penahan Gaya Angin Utama.....	10
Gambar 3. Ukuran Las Fillet	29
Gambar 4. (a) Perhitungan A_{NC0} dan (b) Perhitungan A_{NC} , untuk Satu Angkur dan Kelompok Angkur	34
Gambar 5. Perhitungan A_{VC} untuk Satu Angkur dan Kelompok Angkur ...	38
Gambar 6. Perhitungan A_{VCO}	39
Gambar 7. Lokasi Sport Hall.....	42
Gambar 8. Penampang Profil Gording	47
Gambar 9. Import Gambar Space Truss dari AutoCad dxf.file	52
Gambar 10. Mendefinisikan Material yang Digunakan	52
Gambar 11. Mendefinisikan Penampang yang Digunakan.....	52
Gambar 12. Menerapkan Penampang pada Pemodelan	53
Gambar 13. Pemodelan Kolom Sebagai Tumpuan dari Rangka Atap.....	53
Gambar 14. Mendefinisikan Beban yang Bekerja	53
Gambar 15. Mendefinisikan Kombinasi Beban yang Digunakan	54
Gambar 16. Memasukkan Beban yang Bekerja pada Model	54
Gambar 17. Memasukkan Koefisien Beban Angin yang Digunakan Sesuai SNI	54
Gambar 18. Run Analysis Program	55
Gambar 19. Cek Keamanan Struktur Bangunan	55
Gambar 20. Verifikasi Keamanan Struktur	55
Gambar 21. Ekspor Data Hasil Analysis	56
Gambar 22. 3D Perspektif Space Truss.....	56
Gambar 23. Tampak Depan Space Truss.....	56
Gambar 24. Tampak Atas Space Truss	57
Gambar 25. Tampak Samping Space Truss	57
Gambar 26. Tampak Depan Balok Gording	58
Gambar 27. Tampak Atas Balok Gording	58
Gambar 28. Ikatan Angin	75

Gambar 29. Pengecekan Struktur.....	76
Gambar 30. Verifikasi Struktur Telah Aman	76
Gambar 31. Batang yang Mengalami Tarik.....	77
Gambar 32. Batang yang mengalami Tekan.....	84
Gambar 33. Sambungan Model 1	97
Gambar 34. Sambungan Model 2	100
Gambar 35. Sambungan Model 3	102
Gambar 36. Sambungan Model 4	105
Gambar 37. Sambungan Model 5	107
Gambar 38. Sambungan Model 6	110
Gambar 39. Base Plate Kolom Tumpuan.....	112
Gambar 40. Jarak dan Spasi Angkur	120

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koefisien Tekanan Eksternal, GC_{pf}	11
Tabel 2. Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial.....	13
Tabel 3. Rasio Lebar terhadap Tebal : Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur	14
Tabel 4. Faktor Lag Geser untuk Sambungan ke Komponen Struktur Tarik.	25
Tabel 5. Perhitungan Lendutan Izin Maksimum.....	26
Tabel 6. Ukuran Las Sudut.....	27
Tabel 7. Nilai Pitch of Thread Berdasarkan Diameter Baut.....	33
Tabel 8. Faktor Modifikasi λ	36
Tabel 9. Spesifikasi Profil Circular Hollow Section (CHS)	46
Tabel 10. Spesifikasi Atap Zincalume Lysaght Flex-Lok™	48
Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Beban Maksimum.....	63
Tabel 12. Gaya Batang Tarik dan Gaya Batang Tekan	77
Tabel 13. Gaya Aksial dan Geser Maksimum pada Perletakan	113

DAFTAR SIMBOL

A_{BM}	= Luas penampang logam (mm^2)
A_e	= Luas efektif (mm^2)
A_g	= Luas penampang bruto (mm^2)
A_{we}	= Luas efektif las (mm^2/mm)
A_{NC}	= luas terproyeksi kegagalan beton akibat tarik (mm^2)
A_{VC}	= luas terproyeksi kegagalan beton akibat geser (mm^2)
A_1	= Luas base plate (mm^2)
A_2	= Luas tumpuan beton (mm^2)
B	= Lebar komponen (mm)
C_w	= Konstanta puntir lengkung (mm^6)
E	= Modulus elastisitas baja (MPa)
F_{cr}	= Tegangan kritis (MPa)
F_e	= Tegangan tekuk elastis (MPa)
F_{EXX}	= Kekuatan klasifikasi logam pengisi (MPa)
F_{nBM}	= Tegangan nominal logam dasar (MPa)
F_u	= Kekuatan tarik (MPa)
F_y	= Tegangan leleh (MPa)
H	= Tinggi keseluruhan (mm)
I	= Momen inersia (mm^4)
J	= Konstanta puntir torsi (mm^4)
K	= Faktor panjang efektif
L	= Panjang bentang (mm)
L_c	= Panjang efektif komponen struktur (mm)
L_p	= Panjang bentang maksimum (mm)
L_r	= Panjang bentang minimum (mm)
L_b	= Panjang bentang terhadap sumbu lemah (mm)

M_a	= Momen pada titik seperempat dari bentang (N.mm)
M_b	= Momen pada titik tengah dari bentang (N.mm)
M_c	= Momen pada titik tiga perempat dari bentang (N.mm)
M_n	= Kekuatan lentur nominal (N.mm)
M_u	= Momen ultimit (N.mm)
P_u	= Kekuatan aksial perlu (N)
P_n	= Kekuatan tekan nominal (N)
P_p	= Kekuatan tumpu (N)
R_n	= Kekuatan nominal (N)
S_x	= Modulus penampang elastis terhadap sumbu x (mm^3)
S_y	= Modulus penampang elastis terhadap sumbu y (mm^3)
U	= Faktor lag geser
V_u	= Kekuatan geser perlu (N)
V_n	= Kekuatan geser nominal (N)
Z_x	= Modulus penampang plastis terhadap sumbu x (mm^3)
Z_y	= Modulus penampang plastis terhadap sumbu y (mm^3)
b	= lebar elemen (mm)
c_a	= jarak baut dari tepi (mm)
d	= diameter (mm)
e'	= eksentrisitas
e_h	= batas kuat cabut
f'_c	= kekautan tekan beton (MPa)
h_{ef}	= panjang penanaman angkur (mm)
k_c	= koefisien untuk elemen langsing
p	= pitch per ulir (mm per ulir)
r_g	= jari-jari girasi (mm)
s	= jarak antar baut (mm)

t	= tebal material/plat (mm)
t_w	= tebal las (mm)
v_b	= kuat dasar jebol beton (N)
α	= sudut kemiringan (°)
Δ	= lendutan (mm)
λ	= rasio lebar terhadap tebal
λ_f	= batas parameter lebar terhadap tebal untuk elemen langsing
λ_p	= batas parameter lebar terhadap tebal untuk elemen kompak
λ_r	= batas parameter lebar terhadap tebal untuk elemen non-kompak
ϕ	= faktor ketahanan
ϕ_b	= faktor ketahanan untuk lentur
ϕ_c	= faktor ketahanan untuk tekan
ϕ_t	= faktor ketahanan untuk tarik
ϕ_v	= faktor ketahanan untuk geser
ψ	= faktor modifikasi

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fakultas Teknik merupakan salah satu fakultas terbesar di Universitas Hasanuddin dan memiliki lokasi tersendiri yang berada di Kabupaten Gowa. Meskipun merupakan salah satu fakultas terbesar di Universitas Hasanuddin tetapi masih ada beberapa fasilitas yang belum bisa difungsikan. Salah satu fasilitas yang belum bisa difungsikan yaitu Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Sport Hall pada dasarnya merupakan sebuah tempat untuk melakukan kegiatan olahraga tertentu dalam ruangan tertutup dimana di dalamnya terdapat sarana dan prasarana yang dapat memenuhi dan memfasilitasi secara lengkap kegiatan olahraga tersebut. Adapun beberapa kegiatan olahraga yang dapat dilaksanakan dalam sporthall seperti, Badminton, Basket, Volli, Futsal, Tennis, dan lain sebagainya.

Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin merupakan sarana pendukung kegiatan non akademik dalam mengoptimalkan sumber daya yang lebih baik dengan menghadirkan fasilitas olahraga yang dapat difungsikan bagi civitas akademika untuk berolahraga. Bangunan ini memiliki bentangan panjang 61,74 meter dan lebar 43,20 meter, yang dimana memiliki kapasitas sekitar 3800 orang dengan konsep ruang yang luas serta tribun di setiap sisi, diharapkan bangunan tersebut bisa dimanfaatkan semaksimal mungkin.

Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dibangun dengan metode konstruksi yang sudah sesuai aturan dari segi material, pengawasan dan lain lain. Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dibangun dalam 2 tahap, dimana untuk tahap pertama yaitu pekerjaan struktur bawah hingga atas yang telah selesai dikerjakan dan untuk tahap kedua yaitu pekerjaan struktur atap yang belum diselesaikan.

Konstruksi struktur atap menggunakan pipa baja sudah mulai diminati penggunaannya, terutama untuk bangunan-bangunan besar seperti bandara, stadion dan bangunan lainnya. Penggunaan pipa baja tersebut dianggap lebih efisien dari segi material, kekuatan, bentuk estetika serta ekonomis dari pada material lainnya. Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin menjadi salah satu fasilitas olahraga yang belum ada di Fakultas teknik universitas Hasanuddin, namun fasilitas tersebut belum bisa difungsikan dikarenakan salah satu struktur utama dari sarana tersebut belum lengkap, yaitu struktur atap.

Berdasarkan hal-hal tersebut maka penulis mencoba membuat suatu perencanaan. Yang kemudian disusun menjadi sebuah tugas akhir yang berjudul :

**“DESAIN RANGKA ATAP SPORT HALL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah bagaimana mendesain Rangka Atap Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mendesain dan menganalisa elemen rangka atap Sport Hall Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Komponen struktur yang dianalisis merupakan struktur baja pada rangka atap Sport Hall
2. Perhitungan gaya-gaya dalam struktur rangka atap dihitung dengan menggunakan aplikasi *Structure Analysis Program 2000* (SAP2000).
3. Pemilihan Profil dilakukan secara auto select yang telah tersedia pada aplikasi.
4. Beban yang ditinjau adalah beban mati, beban hidup atap, dan beban angin.
5. Beban gempa tidak diperhitungkan

E. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, Batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori – teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisis tentang permasalahan dari penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

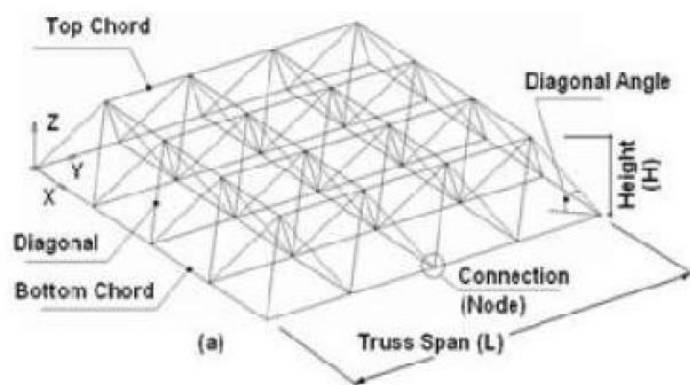
Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan serta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Rangka Ruang

A.1. Definisi Rangka Ruang (*Space Truss*)

Rangka Ruang (*Space Truss*) adalah struktur batang tiga dimensi dengan bagian longitudinal yang terhubung pada ujung dengan engsel yang tidak mengalami pergeseran. Beban pada *space truss* ditetapkan hanya pada node atau sendi, sehingga beban sendiri dipikul oleh setiap elemen pada kedua ujungnya yang disambungkan dengan elemen lain dari *truss*. Kondisi yang terjadi pada *space truss* sama dengan yang terjadi pada *plane truss*. Pada dasarnya, satu-satunya perbedaan dalam analisis *space truss* dibandingkan dengan *plane truss* adalah bahwa elemen dari *space truss* memiliki tiga koordinat nodal di setiap node sementara elemen dari *plane truss* hanya memiliki dua (Paz and Leigh, 2001)



Gambar 1. Bentuk Dasar Sistem Space Truss

Space truss terdiri dari beberapa elemen penyusun yaitu elemen atas (*top chord*), elemen bawah (*bottom chord*), dan elemen diagonal yang biasanya disambungkan dengan elemen penyambung (*node*). Tetapi ada

juga sistem space truss yang disambung tanpa menggunakan elemen penyambung atau menggunakan sistem las antar elemen (Freitas, 2008).

A.2. Perbandingan Sistem Rangka Ruang dan Rangka Batang

Perbandingan sistem rangka ruang dan sistem rangka batang umumnya ditekankan pada faktor kekuatan dan biaya konstruksi yang dipengaruhi oleh berat struktur, kemudahan pekerjaan dan durasi pengerjaan. Sistem rangka ruang mempunyai efektifitas dalam biaya dan aplikasi dalam bidang struktur bentang besar jika dibandingkan dengan rangka batang bidang, balok konvensional, dan sistem plat (Vacev, 2009)

B. Pembebanan Pada Struktur

Pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan terdiri dari beban mati (berat sendiri *space truss* dan beban mati tambahan), beban hidup (mahluk hidup), beban angin dan beban gempa. Namun, untuk struktur rangka atap Sport Hall tidak dilakukan peninjauan terhadap beban gempa. Beban-beban yang bekerja secara detail dijabarkan sebagai berikut :

B.1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek pengangkut material. (SNI 1727:2020)

Beban mati yang bekerja pada struktur atap bangunan ini berupa beban yang berasal dari berat sendiri elemen struktur dan beban mati tambahan yang berupa:

- a. Penutup atap
- b. Gording
- c. Struktur rangka baja
- d. Trekstang dan ikatan angin
- e. Beban sambungan

B.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup atap adalah beban pada atap yang diakibatkan oleh (1) selama pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material dan (2) Selama masa layan struktur akibat benda bergerak, seperti tanaman pot atau perlengkapan dekoratif kecil serupa lainnya yang bukan terkait hunian. Beban hidup terkait hunian pada atap seperti area berkumpul di atap, atap dek dan atap vegetatif atau atap lansekap pada area yang bisa dipakai, diperhitungkan sebagai beban hidup pada atap dari pada beban hidup atap. (SNI 1727:2020)

Beban hidup yang ditinjau pada struktur atap ini adalah beban pekerja dan beban hujan dengan mengikuti standarisasi yang berlaku.

a. **Beban Pekerja**

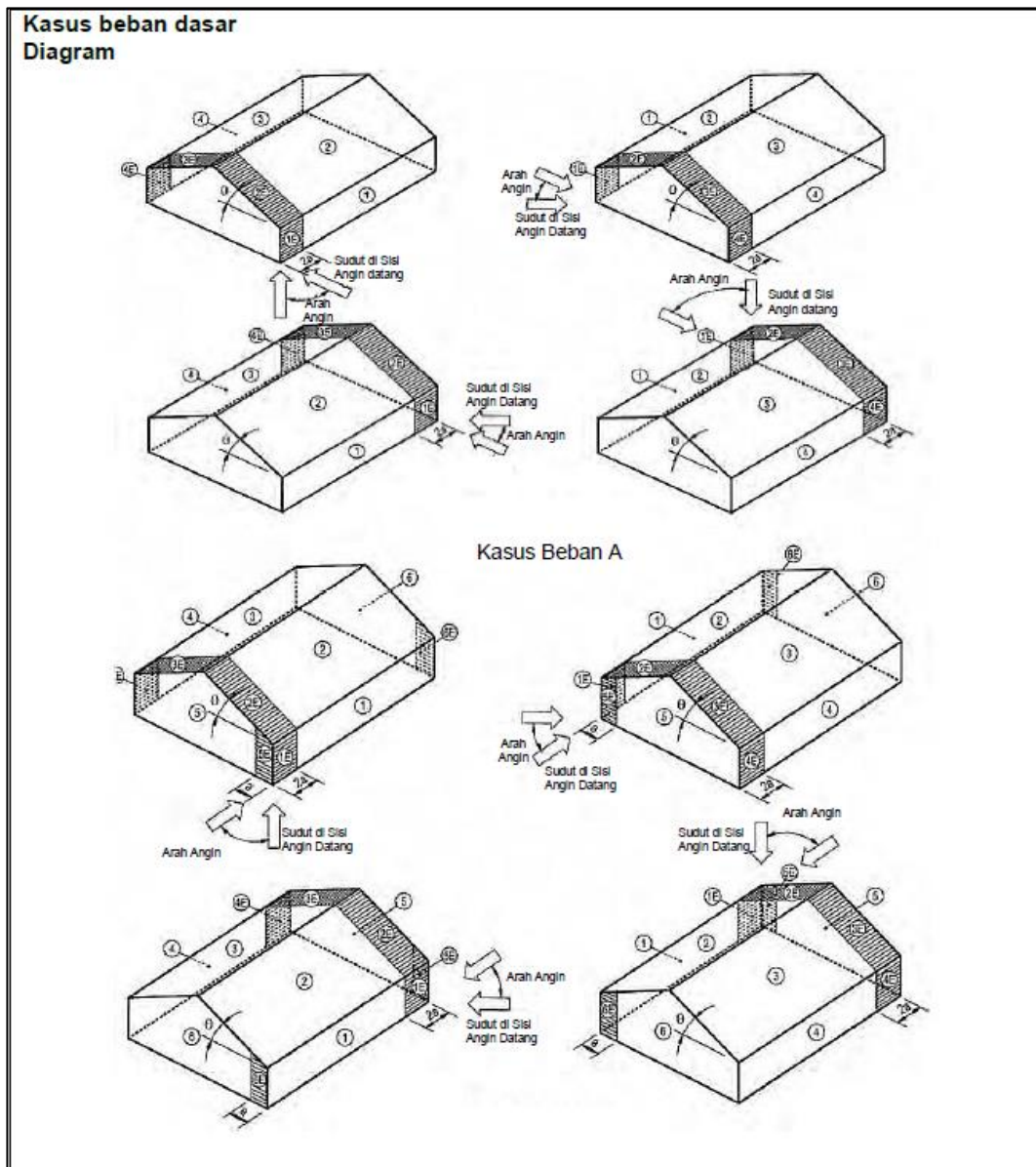
Berdasarkan struktur bangunan, untuk beban hidup pada atap yang diakibatkan selama pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material. (SNI 1727:2020)

b. **Beban Air Hujan**

Beban air hujan disini diasumsikan sebagai drainase terkontrol yang dengan sengaja dirancang untuk mengatur laju aliran melalui saluran utama. Genangan merupakan akumulasi air yang disebabkan oleh lendutan struktur atap, yang menghasilkan penambahan beban. Sistem drainase atap biasanya digunakan untuk mengalirkan air keluar dari atap. (SNI 1727:2020)

B.3. Beban Angin

Beban angin yang digunakan pada desain SPGAU untuk bangunan gedung tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh lebih kecil dari 16 lb/ft² (0,77 kN/m²) dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 8 lb/ft² (0,38 kN/m²) dikalikan dengan luas atap bangunan gedung terproyeksi ke bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang diasumsikan. (SNI 1727:2020)



Gambar 2. Kasus Beban Sistem Penahan Gaya Angin Utama

a. Koefisien angin

Untuk peninjauan beban angin dibutuhkan koefisien angin yang dapat ditentukan berdasarkan Tabel 1 sebagai berikut : (SNI 1727:2020)

Tabel 1. Koefisien Tekanan Eksternal, GCpf

KASUS BEBAN A										
Sudut atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung									
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E		
0-5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	0,61	-1,07	-0,53	-0,43		
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,43	0,80	-1,07	-0,69	-0,64		
30-45	0,56	0,21	-0,43	-0,37	0,69	0,27	-0,53	-0,48		
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37	0,69	0,69	-0,48	-0,48		

KASUS BEBAN B												
Sudut Atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung											
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E	5E	6E
0-90	-0,45	-0,69	-0,37	-0,45	0,40	-0,29	-0,48	-1,07	-0,53	-0,48	0,61	-0,43

B.4. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan di bawah ini:

$$1,4D \quad (1)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2)$$

$$1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (3)$$

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (4)$$

$$0,9D + 1,0W \quad (5)$$

Keterangan :

- D adalah Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

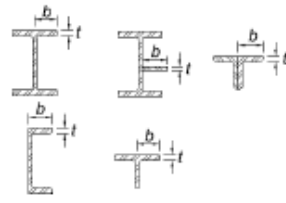
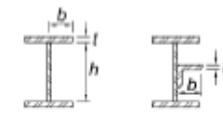


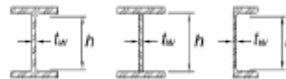

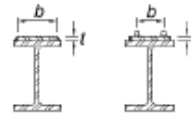


- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan Gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain.
- L_r adalah beban hidup diatap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggabnaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- S adalah beban salju.
- R adalah beban Hujan
- W adalah beban angin.

C. Desain Komponen Struktur

C.1. Kelangsingan Penampang

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen non-langsing atau penampang elemen langsing. Untuk profil elemen non-langsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λ_r . Jika rasio tersebut melebihi λ_r disebut penampang dengan elemen langsing. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 sebagai berikut. (SNI 1729:2020)

Tabel 2. Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal λ_r (nonlangsing / langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap Profil I giliran panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I giliran panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elemen diperkaku	5	Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	PSR bulat	D/t	$0,11 \frac{E}{F_y}$	

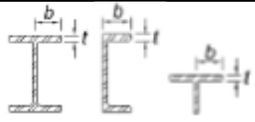
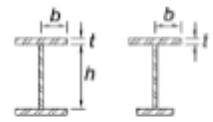
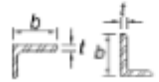
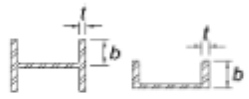

[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.

Tidak ada batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur yang mengalami tekan. Untuk komponen struktur yang didesain

berdasarkan tekan, rasio kelangsingan L/r sebaiknya tidak melebihi 200.

(SNI 1729:2020)

Tabel 3. Rasio Lebar terhadap Tebal : Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal		Contoh
				λ_p (kompak/ nonkompak)	λ_r (nonkompak/ langsing)	
Elemen tidak diperkaku	10	Sayap profil I gilas panas, kanal, dan T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Sayap profil tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
	12	Kaki siku tunggal	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Badan T	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Tabel 3. Rasio Lebar terhadap Tebal : Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur (**lanjutan**)

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal		Contoh
				λ_p (kompak/ nonkompak)	λ_r (nonkompak/ langsing)	
Elemen tidak diperkaku	15	Badan profil I simetris ganda dan kanal	h/t_w	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Badan profil I simetris tunggal	h_c/t_w	$\frac{h_c \sqrt{\frac{E}{F_y}} [c]}{(0,54 \frac{M_x}{M_y} - 0,09)^2} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
	17	Sayap PSR persegi panjang	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Badan PSR persegi panjang dan boks	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	PSR bundar	D/t	$0,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	21	Sayap penampang boks	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Tidak ada batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur yang mengalami tarik. Untuk komponen struktur yang didesain berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300. (SNI 1729:2020)

C.2. Desain Komponen Struktur Untuk Tekan

a. Ketentuan Umum

Kekuatan tekan desain, $\phi_c \cdot P_n$, dan kekuatan tekan izin, P_n/Ω_c , ditentukan sebagai berikut.

Kekuatan tekan nominal, P_n harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi-lentur yang berlaku. (SNI 1729:2020)

$$\phi_c = 0,9$$

$$\Omega_c = 1,67$$

b. Panjang efektif

Panjang efektif L_c , pada komponen struktur yang memikul tekan harus diambil sebagai K.L, dengan K adalah seperti yang disyaratkan dalam ketentuan dibawah ini, mana yang sesuai, dan L adalah panjang komponen struktur tak terbreis secara material. (SNI 1729:2020)

- 1) Pada sistem rangka terbreis, sistem dinding geser, dan sistem struktur lain dimana stabilitas lateral dan ketahanan terhadap beban lateral tidak bergantung pada kekakuan lentur kolom, faktor panjang efektif, K, pada komponen struktur yang memikul tekan harus diambil sebesar 1,0, kecuali nilai yang lebih rendah dibuktikan dengan analisis rasional. (SNI 1729:2020)
- 2) Pada sistem rangka momen dan sistem struktur lain dimana kekakuan lentur kolom diperhitungkan berkontribusi terhadap

stabilitas lateral dan ketahanan terhadap beban lateral, faktor panjang efektif, K , atau tegangan tekuk kritis elastis, F_e , pada kolom yang kekakuan lenturnya diperhitungkan berkontribusi pada stabilitas lateral dan ketahanan terhadap beban lateral harus ditentukan dari analisis tekuk bergoyang pada struktur tersebut; K harus diambil sebesar 1,0 untuk kolom yang kekakuan lenturnya tidak diperhitungkan berkontribusi terhadap stabilitas lateral dan ketahanan terhadap beban lateral. (SNI 1729:2020)

c. Tekuk lentur pada komponen struktur tanpa elemen langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus ditentukan berdasarkan keadaan batas berupa tekuk lentur. (SNI 1729:2020)

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (6)$$

Tegangan kritis, F_{cr} , ditentukan sebagai berikut:

a) Bila $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ atau $\frac{f_y}{F_e} < 2,25$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e} \right) \cdot f_y \quad (7)$$

b) Bila $\frac{L_c}{r} > 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ atau $\frac{f_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_e \quad (8)$$

Dimana

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r} \right)^2} \quad (9)$$

Keterangan :

A_g = luas penampang melintang bruto komponen struktur
(mm²)

L_c = panjang efektif komponen struktur (mm)

L = Panjang komponen struktur tak terbreis secara
lateral (mm)

K = faktor panjang efektif

E = modulus elastisitas baja (MPa)

F_e = tegangan tekuk elastis (MPa)

f_y = tegangan leleh minimum (MPa)

r = radius girasi (mm)

C.3. Perencanaan komponen struktur untuk lentur

a. Ketentuan umum

Kekuatan lentur desain, $\phi_b \cdot M_n$, dan kekuatan lentur izin, M_n / Ω_b , harus ditentukan sebagai berikut: (SNI 1729:2020)

$$\phi_b = 0,9$$

$$\Omega_b = 1,67$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_a + 4 \cdot M_b + 3 \cdot M_c} \quad (10)$$

Keterangan :

C_b = faktor modifikasi

M_{max} = Momen maksimum (N.mm)

M_a = Momen pada titik seperempat dari segmen (N.mm)

M_b = Momen pada titik tengah dari segmen (N.mm)

M_c = Momen pada titik tiga perempat dari segmen (N.mm)

Untuk kantilever dengan pilin dicegah pada tumpuan jepit dan ujung bebas tak terbreis, $C_b = 1$. (SNI 1729:2020)

Kekuatan lentur tersedia harus lebih besar dari atau sama dengan momen maksimum yang diperlukan, yang menyebabkan terjadinya gaya tekan di sayap yang sedang ditinjau. (SNI 1729:2020)

b. Komponen struktur yang mengalami lentur terhadap sumbu kuat

Kekuatan lentur nominal, M_n , harus diperoleh dari nilai terendah keadaan batas leleh (momen plastis) dan tekuk torsi lateral. (SNI 1729:2020)

1) Batas leleh

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_y \quad (11)$$

keterangan :

f_y = tegangan leleh minimum (MPa)

Z_x = modulus penampang plastis terhadap sumbu x
(mm³)

2) Tekuk torsi lateral

- Apabila $L_b \leq L_p$, keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku
- Apabila $L_p < L_b < L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (12)$$

Dimana

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (13)$$

$$L_r = 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6,76 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \quad (14)$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot c_w}}{S_x} \quad (13)$$

Koefisien c ditentukan

Untuk profil I $c = 1$

Untuk kanal

$$c = \frac{h_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{I_y}{c_w}} \quad (14)$$

Keterangan :

E = modulus elastisitas baja (MPa)

f_y = tegangan leleh minimum (MPa)

S_x = modulus penampang elastis terhadap sumbu x (mm)

h_0 = jarak antara titik berat sayap (mm)

J = konstanta torsi (mm⁴)

I_y = momen inersia terhadap sumbu y (mm⁴)

L_b = panjang antara titik-titik (mm)

L_p = batas panjang lateral untuk keadaan leleh (mm)

L_r = batas panjang untuk keadaan batas tekuk torsi lateral
(mm)

c. Komponen struktur yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah

Kekuatan lentur nominal, M_n , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh (momen plastis) dan tekuk lokal sayap. (SNI 1729:2020)

1) Batas leleh

$$M_n = M_p = f_y \cdot Z_y \leq 1,6 \cdot f_y \cdot S_y \quad (15)$$

Keterangan :

f_y = tegangan leleh minimum (MPa)

Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu y
(mm³)

S_y = modulus penampang elastis terhadap sumbu y
(mm³)

2) Tekuk lokal sayap

1. Untuk penampang kompak, keadaan batas tekuk lokal sayap tidak berlaku.

2. Untuk penampang non-kompak

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (16)$$

Keterangan :

f_y = tegangan leleh minimum (MPa)

S_y = modulus penampang elastis terhadap sumbu y
(mm³)

λ_p = batas kelangsingan untuk kompak

λ_r = batas kelangsingan untuk non-kompak

C.4. Desain Komponen Struktur Untuk Kombinasi Gaya dan Torsi

Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Tekan

Interaksi lentur dan gaya tekan pada komponen struktur simetris ganda dan komponen struktur simetris tunggal yang melentur terhadap sumbu geometris (x dan/atau y) harus dibatasi oleh Persamaan berikut. (SNI 1729:2020)

a. Apabila, $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (17)$$

b. Apabila, $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (18)$$

Keterangan :

P_r = kekuatan aksial perlu, menggunakan kombinasi beban (N)

P_c = $\phi_c \cdot P_n$ = kekuatan aksial desain (N)

M_r = kekuatan lentur perlu (N)

M_c = $\phi_b \cdot M_n$ = kekuatan lentur desain (N)

ϕ_c = faktor ketahanan untuk tekan = 0,9

ϕ_b = faktor ketahanan untuk lentur = 0,9

C.5. Desain Komponen Struktur Untuk Tarik

a. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik izin, P_n/Ω_t , komponen struktur tarik harus merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto. (SNI 1729:2020)

1) Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = A_g \cdot f_y \quad (19)$$

$$\phi_t = 0,9$$

$$\Omega_t = 1,67$$

2) Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto:

$$P_n = A_e \cdot f_u \quad (20)$$

$$\phi_t = 0,75$$

$$\Omega_t = 1,67$$

Keterangan :

A_g = Luas bruto dari komponen struktur (mm^2)

A_e = luas neto efektif (mm^2)

f_y = tegangan leleh minimum (MPa)

f_u = tegangan tarik minimum (MPa)

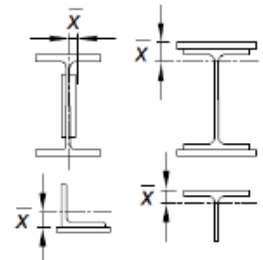
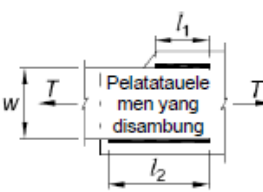
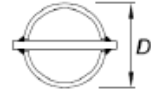
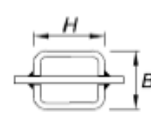
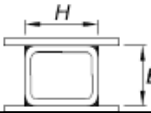
b. Luas neto efektif

Luas bruto, A_g , dan luas neto A_n , komponen struktur tarik harus ditentukan sebagai berikut

$$A_e = A_n \cdot U \quad (21)$$

Dengan U , faktor *lag geser*, ditentukan seperti tertera dalam Tabel 4. Untuk profil melintang terbuka misalnya berbentuk W, M, S, C atau HP, WT, ST, dan siku tunggal serta siku ganda, faktor lag geser, U , tidak perlu lebih kecil dari rasio luas bruto elemen yang disambung terhadap luas bruto komponen struktur tersebut. Ketentuan ini tidak berlaku pada penampang tertutup, misalnya profil PSR, dan untuk pelat. (SNI 1729:2020)

Tabel 4. Faktor Lag Geser untuk Sambungan ke Komponen Struktur Tarik.

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor Lag geser, U	Contoh	
1	Semua komponen struktur tarik dengan beban tarik disalurkan secara langsung ke setiap dari elemen profil melintang melalui pengencang atau las (kecuali seperti dalam Kasus 4, 5 dan 6)	$U = 1,0$	-	
2	Semua komponen struktur tarik, kecuali PSR, dengan beban tarik disalurkan ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang melalui pengencang atau las longitudinal dalam kombinasi dengan las transversal. Secara alternatif, kasus 7 dapat diizinkan untuk profil W, M, S dan HP. (Untuk baja siku, Kasus 8 diizinkan untuk dipergunakan)	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$		
3	Semua komponen struktur tarik dengan beban tarik hanya disalurkan melalui las transversal ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang	$U = 1,0$ dan $A_n =$ luas elemen yang disambung langsung	-	
4 ^[a]	Pelat, siku, kanal dengan pengelasan pada heels, T dan profil W yang elemen-elemennya disambung, dengan beban tarik disalurkan hanya melalui las longitudinal. Lihat Kasus 2 untuk definisi dari \bar{x}	$U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right)$		
5	PSR Bundar dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal melalui slot pada PSR	$l \geq 1,3D, U = 1,0$ $D \leq l < 1,3D, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi}$		
6	PSR Persegi panjang	dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal	$l \geq H, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
		dengan dua sisi pelat buhul	$l \geq H, U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	Profil W, M, S atau HP atau T yang dipotong dari profil-profil ini (Jika U dihitung dalam Kasus 2, nilai yang lebih besar diizinkan untuk digunakan).	dengan sayap disambungkan dengan tiga atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$b_t \geq \frac{2}{3}d, U = 0,90$ $b_t < \frac{2}{3}d, U = 0,85$	-
		dengan badan disambungkan dengan empat atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$U = 0,70$	-

C.6. Kontrol Lendutan

Komponen struktur lentur harus didesain agar memiliki kekakuan yang cukup sehingga dapat membatasi terjadinya defleksi atau deformasi yang dapat berpengaruh negatif pada kekuatan atau kemampuan layan suatu struktur. Untuk membatasi defleksi atau lendutan yang dapat dihitung sesuai dengan yang tertera pada Tabel 5 sebagai berikut: (SNI 2847:2019)

Tabel 5. Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L , dan R maksimum	$l/180^{[1]}$
Lantai	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural		Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup ^[2]	$l/480^{[3]}$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$l/240^{[4]}$

C.7. Desain Sambungan Las

a. Las *gruv*

Luas efektif las *gruv* harus diperhitungkan sebagai panjang las dikalikan tenggorok efektif. Tenggorok efektif las *gruv* PJP tergantung pada proses yang digunakan dan posisi las tersebut. Gambar desain harus menunjukkan tenggorok efektif yang diperlukan atau kekuatan las perlu, dan fabrikator harus mendetail joint berdasarkan proses las dan posisi yang digunakan untuk mengelas joint. (SNI 1729:2020)

b. Las *fillet*

Luas efektif las *fillet* adalah panjang efektif dikalikan dengan tenggorok efektif. Tenggorok efektif las *fillet* merupakan jarak terpendek dari akar ke muka las diagramatik. Suatu peningkatan pada tenggorok efektif

diizinkan jika penetrasi konsisten di luar akar tersebut pada las diagramatik dibuktikan melalui pengujian dengan menggunakan proses produksi dan variabel prosedur.

Tabel 6. Ukuran Las Sudut

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las fillet,^[a]in. (mm)
Sampai dengan 1/4 (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari 1/4 (6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari 1/2 (13) sampai dengan 3/4 (19)	1/4 (6)
Lebih besar dari 3/4 (19)	5/16 (8)

Las fillet harus memenuhi batasan berikut ini:

- 1) Ukuran minimum las fillet harus tidak kurang dari ukuran yang diperlukan untuk menyalurkan gaya yang dihitung, atau ukuran seperti yang tertera dalam Tabel 6. Ketentuan ini tidak berlaku untuk perkuatan las fillet pada las grupPJP atau PJK.
- 2) Ukuran maksimum las *fillet* pada bagian-bagian yang tersambung harus:
 - a) Sepanjang tepi material dengan tebal kurang dari 1/4 in. (6 mm); tidak lebih besar dari tebal material.
 - b) Sepanjang tepi material dengan tebal 1/4 in. (6 mm) atau lebih; tidak lebih besar dari tebal material dikurangi 1/16 in. (2 mm), kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh tebal tenggorok penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam. dasar dan

ujung kaki las boleh kurang dari 1/16 in. (2 mm), asalkan ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

c) Panjang minimum las *fillet* yang didesain berdasarkan kekuatan tidak boleh kurang dari empat kali ukuran las nominal, jika tidak ukuran las harus diperhitungkan tidak melebihi seperempat dari panjangnya. Untuk efek panjang las fillet longitudinal pada sambungan ujung di daerah efektif komponen struktur yang disambung,

d) Panjang efektif las fillet harus ditentukan sebagai berikut:

- Untuk las fillet yang dibebani di ujung dengan panjang hingga 100 kali ukuran las, diperbolehkan untuk mengambil panjang efektif sama dengan panjang aktual.
- Apabila panjang las fillet yang dibebani di ujung hingga 100 kali ukuran las, panjang efektif harus ditentukan dengan mengalikan panjang aktual dengan faktor reduksi, β , yang ditentukan sebagai berikut:

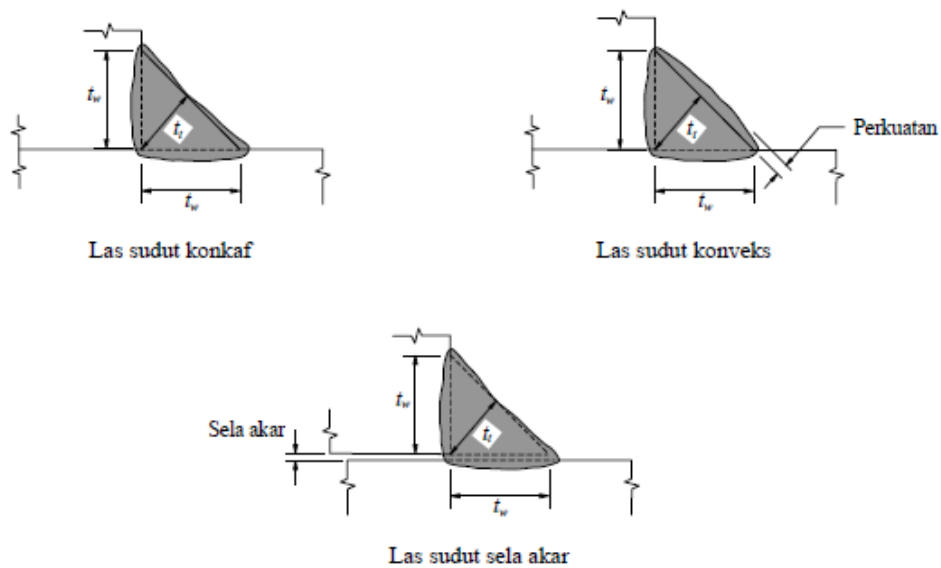
$$\beta = 1,2 - 0,002 \cdot \left(\frac{l}{w}\right) \leq 1,0 \quad (22)$$

Keterangan :

l = panjang aktual las yang dibebani di ujung (mm)

w = ukuran kaki las (mm)

- Apabila panjang las melebihi 300 kali ukuran kaki, w , panjang efektif harus diambil sebesar $180w$.



Gambar 3. Ukuran Las *Fillet*

c. Kekuatan

- 1) Kekuatan desain, $\phi \cdot R_n$ dan kekuatan izin, R_n/Ω , pada joint yang dilas harus merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan sesuai dengan keadaan batas keruntuhan tarik dan keruntuhan geser serta kekuatan logam las yang ditentukan sesuai dengan keadaan batas keruntuhan berikut ini:

Untuk logam dasar

$$R_n = F_{nBM} \cdot A_{BM} \quad (23)$$

Untuk logam las

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we} \quad (24)$$

Keterangan :

A_{BM} = luas penampang logam dasar (mm^2)

A_{we} = luas las efektif (mm^2)

F_{nBM} = tegangan nominal logam dasar (MPa)

F_{nw} = tegangan nominal logam las (MPa)

- 2) Untuk las fillet, kekuatan tersedia boleh ditentukan dengan memperhitungkan kenaikan kekuatan yang bergantung pada arah las jika kompatibilitas regangan berbagai elemen las diperhitungkan,

$$\phi = 0,75$$

$$\Omega = 2$$

$$F_{nw} = 0,60 \cdot FEXX \cdot (1 + 0,5 \sin^{1,5}\theta) \quad (25)$$

Keterangan :

$FEXX$ = kekuatan klasifikasi logam pengisi (MPa)

C.8. Desain Tumpuan

Ketentuan harus dibuat untuk menyalurkan beban kolom dan momen-momen ke pondasi telapak dan pondasi. Apabila regulasi peraturan tidak ada, kekuatan tumpu desain, $\phi_c \cdot P_p$, dan kekuatan tumpu izin, P_p/Ω_c , untuk keadaan batas kehancuran beton diizinkan diambil sebagai berikut:

(SNI 1729:2020)

$$\phi = 0,65$$

$$\Omega = 2,31$$

Kekuatan tumpu nominal P_p , ditentukan sebagai berikut

- a. Pada luas total pada tumpuan beton:

$$P_p = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_1 \quad (26)$$

- b. Pada luas yang lebih kecil dari luas total tumpuan beton:

$$P_p = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f'_c \cdot A_1 \quad (27)$$

Keterangan :

P_p = kekuatan tumpu nominal (N)

A_1 = luas tumpu baja konsentris pada suatu tumpuan
beton (mm²)

A_2 = luas maksimum bagian permukaan yang menumpu
(mm²)

f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

C.9. Desain Batang Angkur dan Penanaman

Batang angkur harus didesain untuk memberi ketahanan yang diperlukan terhadap beban pada struktur utuh di dasar kolom termasuk komponen tarik neto setiap momen lentur yang dihasilkan. Batang angkur harus didesain sesuai dengan persyaratan untuk bagian-bagian yang berulir (SNI 1729:2020)

Kekuatan nominal untuk sebarang angkur atau kelompok angkur harus didasarkan pada model desain yang menghasilkan prediksi kekuatan yang berkesesuaian dengan hasil uji yang komprehensif. Bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian harus kompatibel dengan bahan-bahan yang digunakan dalam struktur. Untuk kekuatan nominal terkait dengan

kekuatan beton, modifikasi untuk pengaruh ukuran, jumlah angkur, pengaruh spasi angkur yang dekat, kedekatan tepi, tinggi komponen struktur beton, pembebanan eksentris kelompok angkur, dan keberadaan atau ketidakberadaan retak harus diperhitungkan. (SNI 2847:2019)

a. Kekuatan baja angkur dalam tarik

Kekuatan nominal angkur dalam tarik tidak boleh melebihi dari persamaan berikut. (SNI 2847:2019)

$$N_{sa} = A_{se,N} \cdot f_{uta} \quad (28)$$

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_a - \frac{0,9743}{n_t} \right)^2 \quad (29)$$

Keterangan :

$A_{se,N}$ = luas penampang efektif angkur dalam tarik (mm²)

f_{uta} = tidak boleh diambil lebih besar dari yang terkecil dari 1,9. f_y
dan 860 MPa

f_y = tegangan leleh angkur (MPa)

n_t = jumlah drat per rotasi (*pitch thread*)

d_a = diameter angkur (mm)

Tabel 7. Nilai *Pitch of Thread* Berdasarkan Diameter Baut

Thread size <i>d</i>		M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
<i>P</i> pitch of thread		2	2.5	2.5	3	3	3.5	4
<i>b</i>	Bolt ≤ 100	31	36	38	41	44	49	56
	Bolt > 100	38	43	45	48	51	56	63
<i>ds</i>	min.	15.30	19.16	21.16	23.16	26.16	29.16	35.00
	max.	16.70	20.84	22.84	24.84	27.84	30.84	37.00
<i>s</i>	min.	26.16	33.00	35.00	40.00	45.00	49.00	58.80
	max.	27.00	34.00	36.00	41.00	46.00	50.00	60.00
<i>e</i>	min.	29.56	37.29	39.55	45.20	50.85	55.37	66.44
	max.	31.18	39.26	41.57	47.34	53.12	57.74	69.28
<i>k</i>	min.	9.25	11.60	13.10	14.10	16.10	17.65	21.45
	max.	10.75	13.40	14.90	15.90	17.90	19.75	23.55
<i>k'</i>	min.	6.5	8.1	9.2	9.9	11.3	12.4	15.0
<i>dw'</i>	min.	24.9	31.4	33.3	38.0	42.8	46.5	55.9
<i>c</i>	min.	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	max.	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<i>da</i>	max.	18.2	22.4	24.4	26.4	30.4	33.4	39.4
<i>r</i>	min.	0.6	0.8	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5

*) The maximum value of *dw* shall not exceed the actual width across flats

b. Kekuatan jebol (*breakout*) dalam tarik

Kekuatan nominal jebol beton dalam tarik, N_{cb} , untuk angkur tunggal atau, N_{cbg} , untuk kelompok angkur, tidak boleh melebihi persamaan berikut. (SNI 2847:2019)

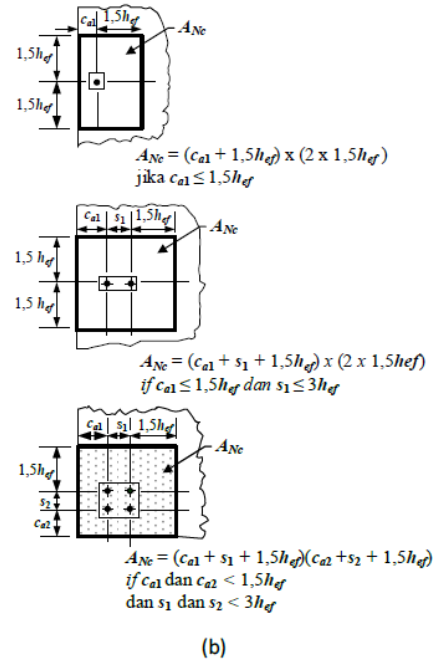
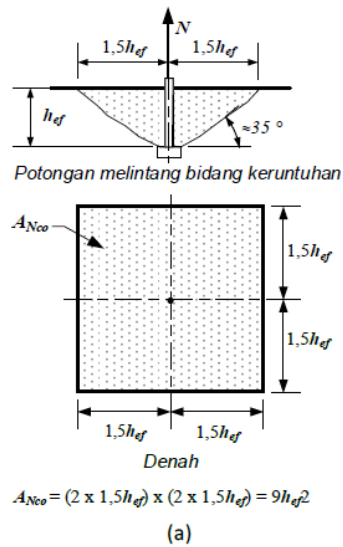
1) Untuk angkur tunggal

$$N_{cb} = \frac{A_{NC}}{A_{NC0}} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b \quad (30)$$

2) Untuk kelompok angkur

$$N_{cbg} = \frac{A_{NC}}{A_{NC0}} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b \quad (31)$$

Jarak kritis ke ujung untuk *headed studs, headed bolts, expansion anchors* dan *undercut anchors* adalah $1,5h_{ef}$



Gambar 4. (a) Perhitungan A_{NCO} dan (b) Perhitungan A_{NC} , untuk Satu Angkur dan Kelompok Angkur

Keterangan :

A_{NCO} = adalah luas terproyeksi kegagalan beton angkur tunggal

A_{NC} = adalah luas terproyeksi kegagalan beton kelompok angkur

$\psi_{ec,N}$ = faktor modifikasi berdasarkan eksentrisitas beban

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2 \cdot e'N}{3 \cdot h_{ef}}\right)} \quad (32)$$

Dimana : $e'_N = 0$

$\psi_{ed,N}$ = faktor modifikasi berdasarkan jarak ke tepi beton

$$\psi_{ed,N} \begin{cases} 0,7 + 0,3 \frac{C_{a.min}}{1,5 \cdot h_{ef}} \rightarrow C_{a.min} < 1,5 \cdot h_{ef} \\ 1 \rightarrow C_{a.min} \geq 1,5 \cdot h_{ef} \end{cases} \quad (33)$$

$\psi_{c,N}$ = faktor modifikasi berdasarkan keberadaan retak

Dimana :

1,0 (ada retak saat beban layan)

1,25 (tidak ada retak saat beban layan, dengan kasus
angkur tanam cor ditempat)

1,4 (tidak ada retak saat beban layan, dengan kasus
angkur tanam pasca cor)

$\psi_{cp,N}$ = faktor modifikasi berdasarkan proses pemasangan

Dimana : 1,0 (dengan kasus angkur tanam cor ditempat
dan semua kasus lainnya)

N_b = kuat dasar jebol beton

$$N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c \cdot h_{ef}^{1,5}} \quad (34)$$

Dimana : k_c = 1 (untuk angkur tanam cor ditempat)

k_c = 7 (untuk angkur tanam pasca cor)

λ_a = 1 (untuk angkur tanam cor ditempat)

λ_a = 0,8 $\cdot \lambda$ (untuk angkur tanam pasca cor)

Tabel 8. Faktor Modifikasi λ

Beton	Komposisi Agregat	λ
Beton ringan dengan semua agregat ringan	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	0,75
Beton Ringan, agregat halus campuran	Halus: Kombinasi ASTM C330M dan C33M Kasar: ASTM C330M	0,75 s/d 0,85 ⁽¹⁾
Beton ringan dengan pasir ringan	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C330M	0,85
Beton ringan dengan pasir ringan, dan agregat kasar campuran	Halus: ASTM C33M Kasar: Kombinasi ASTM C330M dan C33M	0,85 s/d 1 ⁽²⁾
Beton normal	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C33M	1

c. Kekuatan cabut (*pullout*) angkur

Kekuatan cabut (*pullout*) angkur tanam cor ditempat, angkur ekspansi pascacor dan angkur ujung diperlebar dalam tarik, N_{pn} , tidak boleh melebihi dari persamaan berikut. (SNI 2847:2019)

$$N_{pn} = \psi_{c,P} \cdot N_p \quad (35)$$

Dimana :

$$N_p = 0,9 \cdot f'_c \cdot e_h \cdot d_a \quad (36)$$

$$3 \cdot d_a \leq e_h \leq 4,5 \cdot d_a$$

Keterangan :

d_a = diameter baut angkur (mm)

f'_c = mutu beton (MPa)

e_h = batas kuat cabut (MPa)

$\psi_{c,P}$ = faktor modifikasi berdasarkan keberadaan retak

Dimana : 1,0 (ada retak saat beban layan)

d. Kekuatan baja angkur dalam geser

Kekuatan nominal angkur dalam geser, V_{sa} , tidak boleh melebihi dari persamaan berikut : (SNI 2847:2019)

1) Untuk angkur stud berkepala cor di tempat

$$V_{sa} = A_{se,V} \cdot f_{uta} \quad (37)$$

$$A_{se,V} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_a - \frac{0,9743}{n_t} \right)^2 \quad (38)$$

2) Untuk angkur baut berkepala dan baut berkait cor di tempat

$$V_{sa} = 0,6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} \quad (39)$$

Keterangan :

$A_{se,V}$ = luas penampang efektif angkur dalam tarik (mm^2)

f_{uta} = tidak boleh diambil lebih besar dari yang terkecil dari
1,9. f_y dan 860 MPa

f_y = tegangan leleh angkur (MPa)

n_t = jumlah drat per rotasi (*pitch thread*)

d_a = diameter angkur (mm)

e. Kekuatan jebol (*breakout*) dalam geser

Kekuatan nominal jebol beton dalam tarik, V_{cb} , untuk angkur tunggal atau, V_{cbg} , untuk kelompok angkur, tidak boleh melebihi ketentuan berikut.

(SNI 2847:2019)

1) Untuk angkur tunggal

$$V_{cb} = \frac{A_{VC}}{A_{VC0}} \cdot \psi_{ed,V} \cdot \psi_{c,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot V_b \quad (40)$$

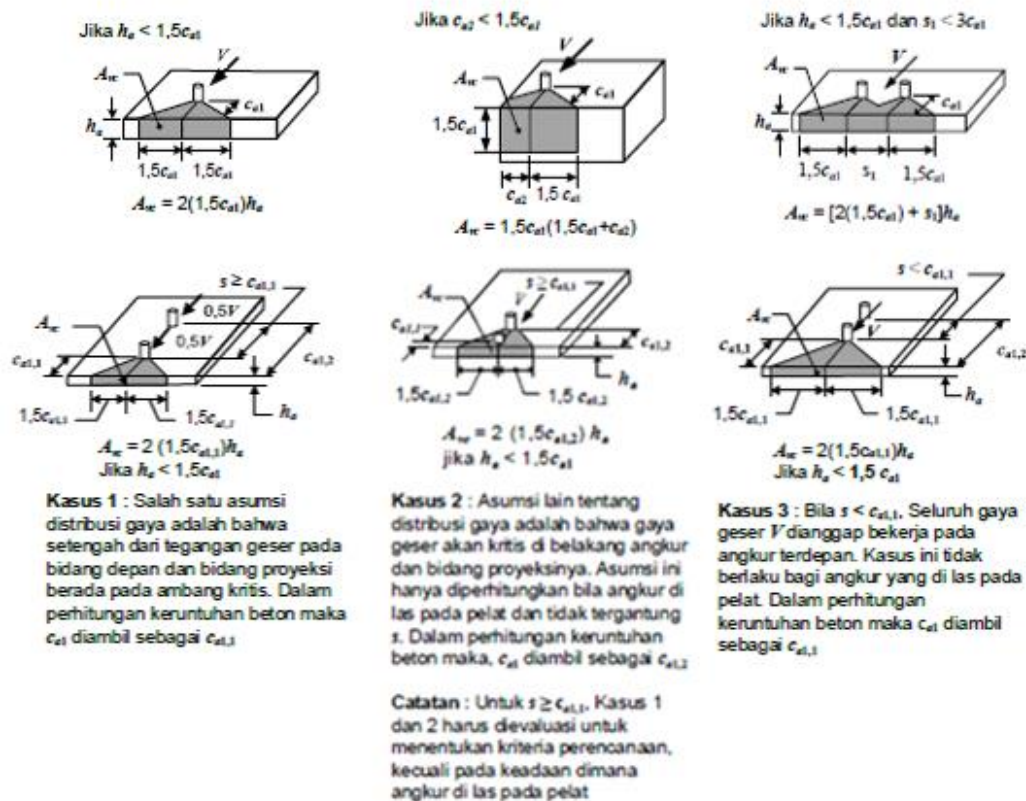
2) Untuk kelompok angkur

$$V_{cbg} = \frac{A_{VC}}{A_{VC0}} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{ed,V} \cdot \psi_{c,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot V_b \quad (41)$$

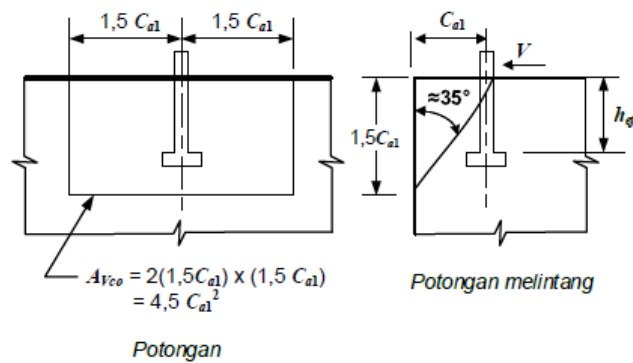
3) Untuk gaya geser yang sejajar terhadap tepi V_{cb} atau V_{cbg} diizinkan sebesar dua kali nilai gaya geser dua persamaan diatas

dengan $\psi_{ed,V}$ diambil sama dengan 1,0.

4) Untuk angkur yang terletak di sudut, batas kekuatan jebol beton nominal harus ditentukan untuk setiap tepi, dan nilai minimum harus digunakan.



Gambar 5. Perhitungan A_{VC} untuk Satu Angkur dan Kelompok Angkur



Gambar 6. Perhitungan A_{Vco}

Keterangan :

A_{Vco} = adalah luas terproyeksi kegagalan beton angkur tunggal

A_{VC} = adalah luas terproyeksi kegagalan beton kelompok angkur

$\psi_{ec,V}$ = faktor modifikasi berdasarkan eksentrisitas beban

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2 \cdot e'V}{3 \cdot h_{ef}}\right)} \quad (42)$$

Dimana : $e'V = 0$

$\psi_{ed,V}$ = faktor modifikasi berdasarkan jarak ke tepi beton

$$\psi_{ed,V} \left\{ \begin{array}{l} 0,7 + 0,3 \frac{C_{a2}}{1,5 \cdot C_{a1}} \rightarrow C_{a2} < 1,5 \cdot C_{a1} \\ 1 \rightarrow C_{a2} \geq 1,5 \cdot C_{a1} \end{array} \right\} \quad (43)$$

$\psi_{c,V}$ = faktor modifikasi berdasarkan keberadaan retak

Dimana : 1,0 (untuk angkur pada beton retak tanpa tulangan

Tambahan atau dengan tulangan tepi yang

lebih kecil dari batang tulangan S13)

1,2 (untuk angkur pada beton retak dengan

tulangan dari batang tulangan S13 atau lebih

besar antara angkur dan tepi)

1,4 (untuk angkur pada beton retak dengan tulangan dari batang tulangan S13 atau lebih besar antara angkur dan tepi, dan dengan tulangan yang dilingkupi dengan sengkang dengan spasi tidak lebih dari 100 mm.)

$\psi_{h,v}$ = faktor modifikasi berdasarkan letak pada komponen

Struktur

Dimana $h_a < 1,5 \cdot c_{a1}$ harus dihitung sebagai

$$\psi_{h,v} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot c_{a1}}{h_a}}, \quad (44)$$

tetapi $\psi_{h,v}$, tidak boleh kurang dari 1,0

V_b = kuat dasar jebol beton

V_b harus yang lebih kecil dari V_{b1} dan V_{b2}

$$V_{b1} = \left[0,6 \cdot \left(\frac{l_e}{d_a} \right)^{0,2} \cdot \sqrt{d_a} \right] \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c'} \cdot (c_{a1})^{1,5} \quad (45)$$

$$V_{b2} = 3,7 \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c'} \cdot (c_{a1})^{1,5} \quad (46)$$

$$l_e = 8 \cdot d_a \quad (47)$$

Dimana : $\lambda_a = 1$ (untuk angkur tanam cor ditempat)

f. Kekuatan jungkit (*pryout*) angkur dalam geser

Kekuatan jungkit (*pryout*) nominal, V_{cp} untuk angkur tunggal atau V_{cpg}

untuk kelompok angkur, tidak boleh melebihi ketentuan berikut. (SNI 2847:2019)

1) Untuk angkur tunggal

$$V_{cp} = k_{cp} \cdot N_{cp} \quad (48)$$

Dimana untuk angkur tanam cor di tempat, angkur ekspansi, dan angkur ujung diperlebar, N_{cp} harus diambil sebesar N_{cb} .

2) Untuk kelompok angkur

$$V_{cpg} = k_{cp} \cdot N_{cpg} \quad (49)$$

Dimana untuk angkur tanam cor di tempat, angkur ekspansi, dan angkur ujung diperlebar, N_{cpg} harus diambil sebesar N_{cbg} .

Dari kedua persamaan diatas ditentukan untuk nilai $k_{cp} = 1,0$ untuk $h_{ef} < 2,5$ mm; dan $k_{cp} = 2,0$ untuk $h_{ef} \geq 2,5$ mm.

g. Interaksi gaya tarik dan geser

Angkur atau kelompok angkur yang dikenai beban geser dan aksial harus didesain untuk memenuhi persyaratan dari ketentuan berikut. (SNI 2847:2019)

1) Jika $V_{ua}/(\phi \cdot V_n) \leq 0,2$ untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi geser, maka kekuatan penuh dalam tarik diizinkan

$$\phi \cdot N_n \geq N_{ua} \quad (50)$$

2) Jika $N_{ua}/(\phi \cdot N_n) \leq 0,2$ untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi tarik, maka kekuatan penuh dalam geser diizinkan

$$\phi \cdot V_n \geq V_{ua} \quad (52)$$

3) Jika $V_{ua}/(\phi \cdot V_n) \leq 0,2$ untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi geser, dan/atau $N_{ua}/(\phi \cdot N_n) > 0,2$ untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi tarik, maka

$$\frac{N_{ua}}{\phi \cdot N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi \cdot V_n} \leq 1,2. \quad (52)$$