JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil
Vol. 8, No. 2, Mei 2025: hlm 469-484

EISSN 2622-545X

EVALUASI STRUKTUR *STRUTTING* BAJA SEBAGAI *TEMPORARY SUPPORT* PADA PELAKSANAAN KONSTRUKSI DINDING PENAHAN TANAH PROYEK X

Sofian Arissaputra[1*] dan Muhammad Fikri Darmawan[1]

[1]Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Astra, Jl. Gaharu Blok F3 Delta Silicon II Cibatu, Cikarang Selatan, Kabupaten Bekas, Jawa Barat, Indonesia
[*]*sofian.arissaputra@polytehcnic.astra.ac.id*

Masuk: 12-09-2024, revisi: 06-02-2025, diterima untuk diterbitkan: 12-02-2025

ABSTRACT

This study evaluates steel strutting as temporary support for the X Building project in South Jakarta using a quantitive method. Strutting analysis was conducted for each construction stages using data from strutting plans, construction methods, and SPT test results. The analysis included lateral earth pressure calculations, preliminary strutting design, and steel strutting evaluation using ETABS 18 (2020). Before evaluation, SB1 (IWF 400×200×8×13). profiles did not fail at stage 1 to 4 but failed at stages 5 to 6. After evaluation, no failure occurred, and a revised steel strutting design met SNI 1729:2020 standards. After that, manual checks were carried out for the tensile and compression members. In conclusion, after the evaluation, steel strutting has a new dimension that can reduce the construction cost of the project with the weight of the material before and after evaluation resulting in savings of 333,822.48 kg or 68.812% and the comparison of material costs resulting in savings of Rp7,639,817,669.62 or 71.413%. This study suggests the need to take into account the loads that occur around the strutting and take into account the joints and welds from the evaluation results so that the analysis is more accurate.

Keywords: steel strutting; compression bar; tension bar; temporary support; retaining wall

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi *strutting* baja sebagai *temprorary support* pada proyek Gedung X di Jakarta Selatan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan analisis *strutting* untuk setiap tahapan metode konstruksinya. Data diambil dari denah *strutting*, data metode konstruksi, dan data pengujian SPT. Analisis data dilakukan dengan menghitung tekanan tanah lateral dan *preliminary design* untuk *strutting* serta analisis *strutting* baja menggunakan ETABS 18 versi 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum dievaluasi, profil SB1 (IWF 400×200×8×13) tidak mengalami kegagalan pada tahap 1 hingga 4 dan mengalami kegagalan pada tahap 5 hingga 6. Setelah dilakukannya evaluasi, didapat bahwa tidak terjadi kegagalan dan didapatkan hasil desain *strutting* baja terbaru dengan tetap memenuhi persyaratan dalam SNI 1729:2020. Kemudian, dilakukan pengecekan untuk batang tarik dan batang tekan secara manual. Kesimpulannya, setelah dilakukannya evaluasi, *strutting* baja memiliki dimensi baru yang dapat menekan biaya pembangunan proyek tersebut dengan berat material sebelum dievaluasi dan setelah dievaluasi menghasilkan penghematan sebesar 333.822,48 kg atau 68,812% dan perbandingan biaya material menghasilkan penghematan sebesar Rp7.639.817.669,62 atau 71,413%. Penelitian ini menunjukkan bahwa perlunya memperhitungkan beban-beban yang terjadi di sekitar *strutting* dan memperhitungkan sambungan dan las agar analisis lebih akurat.

Kata kunci: *strutting* baja; batang tekan; batang tarik; *temporary support*; dinding penahan tanah

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Proyek Gedung X merupakan proyek gedung perkantoran yang berlokasi di Lebak Bulus, Kecamatan Cilandak, Kota Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta. Proyek ini direncanakan akan memiliki total 4 *basement*, 4 lantai area retail atau podium, dan 19 lantai area perkantoran. PT X sebagai kontraktor utama mengerjakan struktur bawah dengan 4 level *basement* sebagai lahan parkir, area kantin, GWT, dan STP.

Dalam pembangunan Gedung X, perlu diperhatikan struktur proteksi galian *basement*. Struktur proteksi ini menggunakan *diaphragm wall* yang diperkuat dengan *strutting* untuk menjaga kestabilan tanah dan mencegah keruntuhan tanah di sekitar *basement*. Pada kedalaman galian -3,5 m, -7 m, dan -12 m, digunakan *strutting* baja sebagai penahan sementara (*temporary support*). Penelitian ini memperkirakan penggunaan dimensi *strutting* baja yang relatif besar. Maka dari itu, penelitian ini akan mengevaluasi *strutting* baja yang akan digunakan dalam perkuatan dinding

penahan tanah. Desain baja yang dimensinya cukup diharapkan dapat menjadi rekomendasi desain *strutting* baja yang mampu menekan biaya dalam pembangunan proyek ini.

Perencanaan dilakukan dengan menganalisis tekanan tanah lateral yang diberikan oleh tanah yang ditahan oleh *diaphragm wall*. Selanjutnya, dilakukan analisis kekuatan *strutting* dan evaluasi dimensi baja tersebut. Berpedoman pada peraturan standar teknis SNI 1729:2020 (BSN, 2020b) tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, *preliminary design* dilakukan dengan metode LRFD dengan bantuan program ETABS 18 versi 2020. Dari *output* yang dihasilkan, dapat diketahui pilihan baja yang efisien sehingga mampu menekan biaya konstruksi, namun tetap mampu menahan beban yang diberikan.

Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yang dirumuskan berdasarkan latar belakang yang telah dibuat. Adapun tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui keamanan struktur pada sistem *strutting* baja sebelum dievaluasi dan setelah dievaluasi ditinjau dari SNI 1729:2020 (BSN, 2020b) pada pembangunan Gedung X.
2. Mengetahui perbandingan volume baja *strutting* sebelum dievaluasi dan sesudah dievaluasi.

Batasan masalah

Batasan masalah dibuat untuk memperjelas jangkauan pembahasan pada penelitian dan fokus persoalan. Batasan masalah ini meliputi:

1. Penelitian dilaksanakan pada Gedung X yang memiliki 23 lantai dan 4 *basement*.
2. Anallisis kekuatan struktural *strutting* baja menggunakan *software* ETABS 18 versi 2020 dengan hanya meninjau beban statik (beban mati, beban hidup, beban tekanan lateral tanah).
3. Tidak memperhitungkan desain dinding penahan tanah dan perhitungan desain baja hanya pada aksial ultimit terbesar secara manual.
4. Penelitian berfokus pada analisis kekuatan *strutting* baja serta menghitung volume dari *strutting* baja.
5. Perhitungan didasarkan pada SNI 1729:2020 (BSN, 2020b) tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
6. Tidak meninjau aspek manajemen konstruksi dan K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja).
7. Tidak memperhitungkan berat sambungan baut dan las hasil evaluasi.

Basement

Basement merupakan lantai tambahan pada bagian paling bawah sebuah gedung, terletak di bawah permukaan tanah dari desain bangunan gedung yang tergolong bangunan tinggi yang tidak mempunyai lahan kosong yang cukup baik di sekitar gedung ataupun untuk memberi lantai tambahan lagi di atas gedung. Ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu metode konstruksi, *retaining wall*, dan *dewatering* (Livando & Kawanda, 2020).

Dinding penahan tanah

Dinding penahan tanah atau *retaining wall* merupakan bagian dari struktur bangunan yang wajib dibuat, khususnya dalam pembangunan gedung bertingkat yang memiliki jumlah *basement* lebih dari dua lapis. Terlebih, makin sedikitnya ruang yang tersedia untuk pekerjaan galian di area perkotaan, maka penggalian tanah dilakukan secara vertikal. Dinding penahan tanah difungsikan untuk menahan tanah agar tidak terjadi longsor, khususnya tanah yang sifatnya tidak stabil (Bahrami et al., 2019).

Ada dua tipe metode perkuatan dinding yaitu angkur tanah dan *strutting*/penyanggah yang digunakan sesuai dengan kondisi area sekeliling lokasi pekerjaan, apakah merupakan area padat bangunan sehingga angkur tanah temporer tidak dapat digunakan. Kelemahan perkuatan *strutting*, menjadikan area kerja menjadi terbatas, yang mempengaruhi produktifitas (Yanita, Wardana, & Mochtar, 2020).

Tekanan tanah lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya atau tekanan tanah yang disebabkan adanya tekanan tanah di belakang konstruksi penahan tanah ke arah horizontal maupun vertikal. Pada mulanya, apabila tanah tidak digali, tegangan tanah seimbang ke segala arah (Widyantoro et al., 2022).

Tekanan tanah lateral aktif

Menurut Hardiyatmo (2003) tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluhan atau bergerak ke arah luar dari tanah urugan di belakangnya, sehingga menyebabkan tanah urug akan

bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya, sedangkan nilai banding tekanan horisontal dan tekanan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif atau Ka.

Sistem *strutting*

Sistem *strutting* dipasang ketika diperlukan dukungan tambahan untuk mengontrol pergerakan atau defleksi dinding. Sistem ini terdiri dari lapisan *waler* dan *struts* yang biasa terbuat dari balok baja (Livando & Kawanda, 2020).

Persyaratan *wall to wall strut*

Wall to wall strut memiliki bentang yang besar sehingga mengundang bahaya tekuk. Tekuk ke arah horizontal bisa diatasi dengan menggunakan profil baja ganda yang disatukan dengan batang penghubung diagonal. Pada jarak-jarak tertentu, *wall to wall strut* ini didukung oleh *kingpost* baja yang dihubungkan dengan strut horizontal menggunakan sambungan sederhana berupa *tack weld* atau diikat dengan menggunakan rebar kecil, sehingga bobot *strut* bisa didukung dan strut bisa berputar. Dengan demikian seperti perletakan sendi, maka panjang tekuk menjadi pendek dan profil baja yang digunakan sebagai *strut* bisa menjadi lebih kecil secara signifikan (Fathilah Yusuf, 2020).

Hubungan berat dan volume

Bowles (1977) memberikan nilai empiris untuk berat volume jenuh tanah pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai empiris γ_{sat} dan kuat tekan bebas (qu) dan konsistensi dari tanah kohesif berdasarkan nilai N koreksi (Bowles, 1977)

Konsistensi	Sangat lunak	Lunak	Sedang	Kenyal	Sangat kenyal	Keras
qu (kPa)	0 – 24	24 – 28	48 – 96	96 – 192	192 – 384	> 384
Nilai N'-SPT terkoreksi	0 – 4	4 – 10	10 – 30	30 – 50	> 50	> 32
Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) (kN/m^3)	15,8 – 18,8	15,7 – 18,8	17,3 – 20,4	18,8 – 22	18,8 – 22	18,8 – 22

Kriteria pembebanan perancangan lereng

Pada SNI 8460:2017 (BSN, 2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik pasal 7.5.1, analisis stabilitas lereng harus mempertimbangkan beban hidup (*live load*), mati (*dead load*), dan gempa sesuai peruntukan lereng galian dan timbunan. Beban tambahan (*surcharge load*) sebesar 10 kN/m^2 harus diterapkan untuk memperhitungkan beban yang bekerja pada permukaan atas lereng, kecuali ada persyaratan lain sesuai peruntukannya.

Progam ETABS 18

Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) merupakan suatu program yang dipergunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur gedung dengan konstruksi beton, baja, dan komposit dengan cepat dan tepat. *Software* tersebut mempunyai tampilan yang hampir sama dengan SAP karena dikembangkan oleh perusahaan yang sama (*Computers and Structures Inc.*, CSI) yaitu salah satu perusahaan pembuat piranti lunak (*software*) untuk perencanaan-perencanaan struktur (Masherni, 2016).

2. METODE PENELITIAN

Sumber data

1. Data sekunder
   Sumber data sekunder adalah data yang diperoleh melalui pihak lain. Data sekunder yang dimaksud adalah sumber data pendukung yang mempunyai relevansi dengan objek penelitian yang diperoleh melalui buku, artikel/jurnal, dan dokumentasi. Sumber data sekunder dari penelitian ini adalah:
   a. SNI 1729:2020 (BSN, 2020b) tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
   b. SNI 1727:2020 (BSN, 2020a) tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
   c. SNI 8460:2017 (BSN, 2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.
   d. Buku Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi milik Kementrian PUPR.
   e. Tabel material yang digunakan dalam *strutting* baja dari tabel JIS (*Japanese Industrial Standard*) G-3192.
   f. Harga satuan yang didapatkan dari pasaran.
2. Data primer

Data primer pada penelitian ini yaitu data kondisi fisik yang ada di *site* pada saat dilakukan observasi. Data tersebut meliputi:

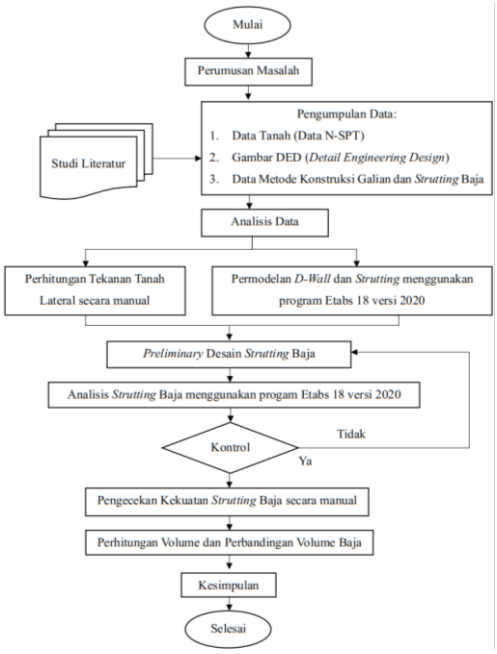
a. Data mengenai gambar DED (*detail engineering design*) denah *strutting* baja, detail *strutting* baja, *king post*, *diaphragm wall*, dan material yang digunakan.
b. Data tanah. Data ini berisikan data hasil pengujian SPT.
c. Data metode konstruksi. Data ini berisikan metode konstruksi mulai dari galian *basement* hingga pemasangan *strutting* baja. Data ini diperoleh dari pihak-pihak *engineer* proyek Gedung X.
d. Kondisi *strutting* eksisting yang telah terbangun.
e. Data-data yang tidak ada pada data sekunder.

Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

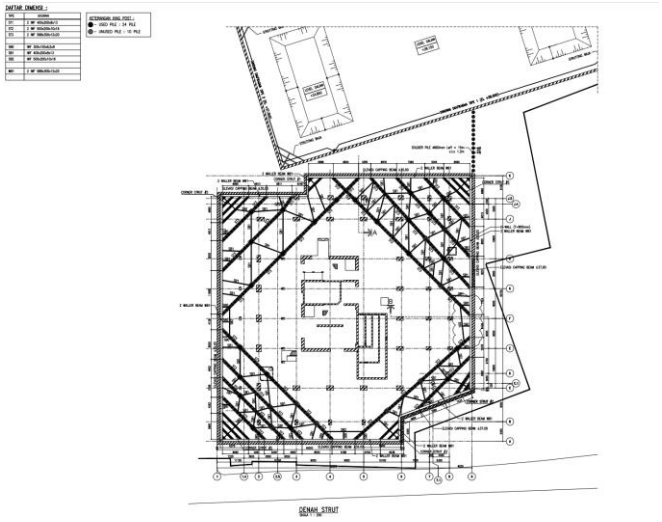
Teknik pengumpulan data

1. Data struktur
   a. *Strutting* baja dan *waler beam*
      ST3: 2 IWF 588×300×12×20
      ST2: 2 IWF 500×200×10×16
      ST1: 2 IWF 400×200×8×13
      SB2: IWF 500×200×10×16
      SB1: IWF 400×200×8×13
      SB0: IWF 300×150×6,5×9
      WB1: 2 IWF 588×300×12×20



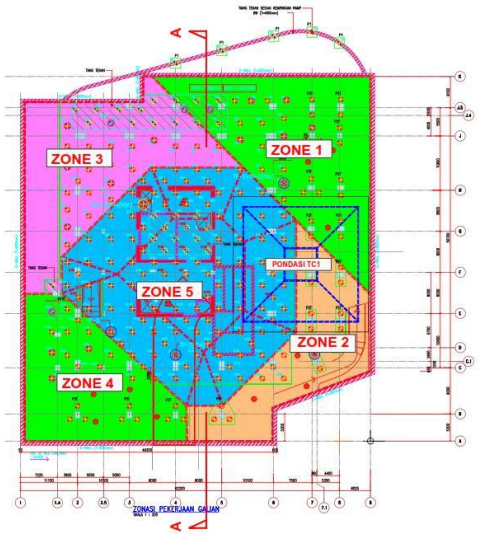
Gambar 1. Diagram alir penelitian

   b. *Diaphragm wall*
      Diaphragm wall pada struktur *basement* ini memiliki ketebalan t = 800 mm dan t = 600 mm dengan mutu fc' = 30 MPa.
   c. Kolom *king post*
      Kolom *king post* pada struktur *basement* ini merupakan kolom bulat dengan diameter D = 1000 mm dengan mutu fc' = 35 MPa (untuk *used pile*) dan fc' = 30 MPa (untuk *unused pile*).
2. Denah *strutting*
   Denah strutting ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah struktur *strutting baja*
(Sumber : PT X)

3. Metode galian dan instalasi *strutting* baja
   Gambar area kerja ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Gambar area kerja

   a. Tahap 1
      - Pekerjaan galian dimulai dari EL. ± 0,00 m sampai -4,5 m (± 1,0 m di bawah *strutting layer* #1) dimulai dari Zona 1, dilanjutkan ke Zona 4, lalu Zona 2 ke Zona 3.
      - Pekerjaan instalasi *strutting* baja *layer* #1 dari Zona 1 dilanjutkan ke Zona 4.
   b. Tahap 2
      - Pekerjaan galian dari EL. -4,5 m sampai EL. -8 m (± 1,0 m di bawah *strutting*) untuk Zona 1 dan Zona 4.
      - Pekerjaan instalasi *strutting* baja *layer* #2 dari Zona 1 dilanjutkan ke Zona 4.
   c. Tahap 3
      - Pekerjaan galian dari EL. -4,5 m sampai EL. -8 m (± 1,0 m di bawah *strutting*) untuk Zona 2 dan Zona 3.
      - Pekerjaan instalasi *strutting* baja *layer* #1 dari Zona 2 dilanjutkan ke Zona 3.
   d. Tahap 4
      - Pekerjaan galian dari EL. -8 m sampai EL. -13 m (± 1,0 m di bawah *strutting*) untuk Zona 1 dan Zona 4.
      - Pekerjaan instalasi *strutting* baja *layer* #2 dari Zona 2 dilanjutkan ke Zona 3.
   e. Tahap 5
      - Pekerjaan galian dari EL. -8 m sampai EL. -13 m (± 1,0 m di bawah *strutting*) untuk

- Zona 2 dan Zona 3.
- Pekerjaan instalasi *strutting* baja *layer* #3 dari Zona 1 dilanjutkan ke Zona 4.

f. Tahap 6
- Pekerjaan instalasi *strutting* baja *layer* #3 dari Zona 2 dilanjutkan ke Zona 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data tanah

Hasil pengujian N-SPT ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa pada setiap kedalaman, nilai rata-rata N-SPT berada pada rentang 5 – 5,5. Berdasarkan tabel 1 Bowles (1977), nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah berada dalam kategori konsistensi lunak dengan berat volume antara 15,7 kN/m^3 – 18,8 kN/m^3. Pada penelitian ini, diambil berat volume tanah 18,8 kN/m^3 dikarenakan untuk mengetahui tegangan pada saat di titik kritis dari dinding penahan tanah.

Tabel 2. Hasil pengujian N-SPT

Kedalaman (m)	N-SPT
0 – 1	4
1 – 3	6
3 – 5	6
5 – 7	3
7 – 9	7
9 – 11	5
11 – 13	8

Perhitungan tekanan tanah lateral

1. Tekanan tanah lateral pada kedalaman -4,5 m

   Perhitungan K_a

   $K_a = \tan(45° - \theta/2)^2$

   $= 1$

   Perhitungan tekanan tanah lateral aktif

   $\sigma_a = \gamma_{sat} \,.\, h_1 \,.\, K_a$

   $\sigma_a = 84{,}6$ kN/m^2

   Tekanan akibat beban tambahan,

   $q = q \,.\, K_a$

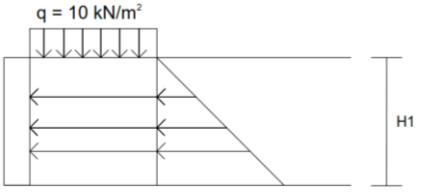
   $q = 10$ kN/m^2

   Tekanan tanah lateral total pada kedalaman -4,5 m

   $\sigma_{a\,total} = \sigma_a + q$

   $= 94{,}6$ kN/m^2

   Diagram tekanan tanah lateral pada kedalaman -4,5 m ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram tekanan tanah lateral kedalaman -4,5 m

2. Tekanan tanah lateral pada kedalaman -8 m (1 m di bawah *strutting*)

Perhitungan K_a

$K_a = \tan(45° - \theta/2)^2$

$= 1$

Perhitungan tekanan tanah lateral aktif

$\sigma_a 2 = \gamma_{sat} \,.\, h_1 \,.\, K_a + \gamma_{sat} \,.\, (h_2 - h_1) \,.\, K_a$

$\sigma_a 2$ = 150,4 kN/m^2

Tekanan akibat beban tambahan,

$q = q \,.\, K_a$

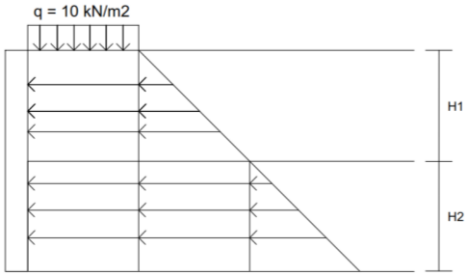
q = 10 kN/m^2

Tekanan tanah lateral total pada kedalaman -8 m

$\sigma_{a\,total}$ $= \sigma_a 2 + q$

$= 160{,}4$ kN/m^2

Diagram tekanan tanah lateral pada kedalaman -8 m ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram tekanan tanah lateral kedalaman -8 m

3. Tekanan tanah lateral pada kedalaman -13 m (1 m di bawah *strutting*)

Perhitungan K_a

$K_a = \tan(45° - \theta/2)^2$

$= 1$

Perhitungan tekanan tanah lateral aktif

$\sigma_a 3 = \gamma_{sat} \,.\, h_1 \,.\, K_a + \gamma_{sat} \,.\, h_2 \,.\, K_a + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \,.\, (h_3 - h_2 - h_1) \,.\, K_a$

$\sigma_a 3$ = 239,4 kN/m^2

Tekanan akibat beban tambahan,

$q = q \,.\, K_a$

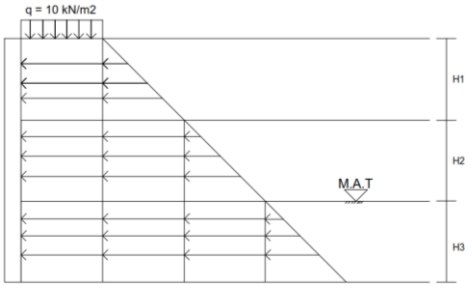
q = 10 kN/m^2

Tekanan tanah lateral total pada kedalaman -13 m

$\sigma_{a\,total}$ $= \sigma_a 3 + q$

$= 249{,}4$ kN/m^2

Diagram tekanan tanah lateral pada kedalaman -13 m ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram tekanan tanah lateral kedalaman -13 m

Analisis Program ETABS

Saat setelah dianalisis perlu diketahui bahwa, rasio < 1 adalah elemen struktur bekerja di bawah kapasitasnya dan aman terhadap beban yang diberikan, rasio = 1 adalah elemen struktur bekerja pada kapasitas maksimalnya, dan rasio > 1 adalah elemen struktur melebihi kapasitas desainnya dan berpotensi mengalami kegagalan atau keruntuhan.

1. Tahap 1

   Sebelum dievaluasi

   Untuk tahap 1 masih dalam kategori aman (< 1). Dilakukan evaluasi dengan memperkecil dimensi pada setiap profil.

   Setelah dievaluasi

   Setelah dilakukan evaluasi pada gambar menunjukkan hasil masih dalam kategori aman sehingga didapat dimensi terbaru seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 mengenai perbandingan profil strutting baja tahap 1.

Tabel 3. Perbandingan profil *strutting* baja tahap 1

Profil Lama		Profil Baru
ST1 (2 IWF 400×200×8×13)	⟶	ST1 (2 IWF 200×100×5,5×8)
ST2 (2 IWF 500×200×10×16)	⟶	ST2 (2 IWF 250×125×6×9)
ST3 (2 IWF 588×300×12×20)	⟶	ST3 (2 IWF 300×150×6,5×9)
SB0 (IWF 300×150×6,5×9)	⟶	SB0 (IWF 150×75×5×7)
SB1 (IWF 400×200×8×13)	⟶	SB1 (IWF 200×100×5,5×8)
SB2 (IWF 500×200×10×16)	⟶	SB2 (IWF 250×125×6×9)

2. Tahap 2

   Sebelum dievaluasi

   Untuk tahap 2 masih dalam kategori aman (< 1). Dilakukan evaluasi dengan memperkecil dimensi pada setiap profil yang mengacu pada tahap 1 (setelah dievaluasi).

   Setelah dievaluasi

   Setelah dilakukan evaluasi ditemukan adanya kegagalan pada profil SB1. Setelah itu dilakukan evaluasi kembali dan tidak terjadi kegagalan. Tabel 4 menunjukkan hasil profil terbaru pada tahap 2.

Tabel 4. Perbandingan profil *strutting* baja tahap 2

Profil Lama		Profil Baru
SB1 (IWF 200×100×5,5×8)	⟶	SB1-1 (IWF 250×125×6×9)

3. Tahap 3

   Sebelum dievaluasi

   Untuk tahap 3 masih dalam kategori aman (< 1). Dilakukan evaluasi dengan memperkecil dimensi pada setiap profil yang mengacu pada tahap 2 (setelah dievaluasi).

Setelah dievaluasi

Setelah dievaluasi tidak terjadi kegagalan.

4. Tahap 4

   Sebelum dievaluasi

   Untuk tahap 4 masih dalam kategori aman (< 1). Dilakukan evaluasi dengan memperkecil dimensi pada setiap profil yang mengacu pada tahap 3 (setelah dievaluasi).

   Setelah dievaluasi

   Setelah dievaluasi tidak terjadi kegagalan.

5. Tahap 5

   Sebelum dievaluasi

   Terjadi kegagalan pada profil SB1. dilakukan evaluasi dengan memperkecil dan memperbesar dimensi untuk semua profil dengan mengacu pada tahap 4 (setelah dievaluasi).

   Setelah dievaluasi

   Setelah dilakukan evaluasi ditemukan adanya kegagalan pada profil SB1, SB0, dan ST3. Setelah itu dilakukan evaluasi kembali dan tidak terjadi kegagalan. Tabel 5 menunjukkan hasil profil terbaru pada tahap 5.

6. Tahap 6

   Sebelum dievaluasi

   Terjadi kegagalan pada profil SB1. dilakukan evaluasi dengan memperkecil dan memperbesar dimensi untuk semua profil dengan mengacu pada tahap 5 (setelah dievaluasi).

   Setelah dievaluasi

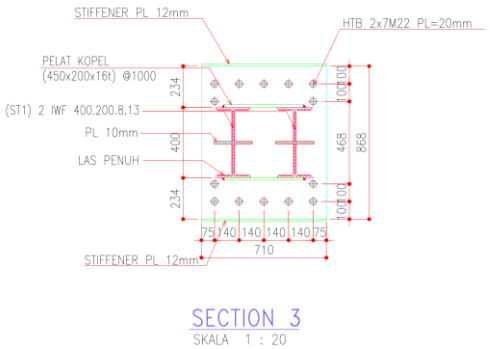
   Setelah dievaluasi tidak terjadi kegagalan.

Tabel 5. Perbandingan profil *strutting* baja tahap 5

Profil Lama		Profil Baru
ST3 (2 IWF 300×150×6,5×9)	⟶	ST3-1 (2 IWF 350×175×7×11)
SB0 (IWF 150×75×5×7)	⟶	SB0-1 (IWF 200×100×5,5×8)
SB1-1 (IWF 250×125×6×9)	⟶	SB1-2 (IWF 300×150×6,5×9)
SB0-1 (IWF 200×100×5,5×8)	⟶	SB0-2 (IWF 250×125×6×9)
SB1-2 (IWF 300×150×6,5×9)	⟶	SB1-3 (IWF 350×175×7×11)
SB1-3 (IWF 350×175×7×11)	⟶	SB1-4 (IWF 400×200×8×13)
SB1-4 (IWF 400×200×8×13)	⟶	SB1-5 (IWF 500×200×10×16)
SB1-5 (IWF 500×200×10×16)	⟶	SB1-6 (IWF 588×300×12×20)

Perhitungan desain kekuatan batang tekan

Potongan penampang gabungan ST1 ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Potongan penampang gabungan ST1

Pada desain ini, diambil sampel hasil aksial ultimit untuk batang tekan dengan nilai terbesar, yaitu -1040,5715 kN di profil ST3 (2 IWF 300×150×6,5×9) yang berada pada tahap 6 (*layer* #1) zona 2.

1. Data bahan

Tegangan leleh baja (fy)	= 240	MPa
Modulus elastisitas baja	= 200000	MPa

2. Data profil baja

Luas penampang (Agab)	= 9356	mm^2
Momen inersia terhadap sumbu X (Igabx)	= 144200000	mm^4
Momen inersia terhadap sumbu Y (Igaby)	= 156530000	mm^4
Radius girasi terhadap sumbu X (rgabx)	= 124,15	mm
Radius girasi terhadap sumbu Y(rgaby)	= 129,35	mm

3. Data baja

Panjang elemen terhadap sumbu X (Lx)	= 8364,5	mm
Panjang elemen terhadap sumbu Y (Ly)	= 4939,5	mm
Gaya aksial akibat beban terfaktor (Pu)	= 1040571,5	N
Faktor reduksi untuk aksial tekan (Ø)	= 0,85	

4. Tahanan aksial pengaruh kelangsingan

Menentukan parameter kelangsingan:

Faktor panjang tekuk efektif terhadap sumbu x,	Kx	=	1	(sendi)
Faktor panjang tekuk efektif terhadap sumbu y,	Ky	=	1	(sendi)
Panjang kolom terhadap sumbu x,	Lx	=	8364,5	mm
Panjang kolom terhadap sumbu y,	Ly	=	4939,5	mm
	$\lambda x = Kx \cdot Lx / rx$	=	67,376	< 200
	$\lambda y = Ky \cdot Ly / ry$	=	38,188	< 200

Parameter kelangsingan terhadap sumbu x,

$$\lambda cx = (\lambda x / \pi) \cdot \sqrt{(fy / E)} = 0{,}743$$

$$\lambda cy = (\lambda y / \pi) \cdot \sqrt{(fy / E)} = 0{,}421$$

Menentukan nilai faktor tekuk terhadap sumbu x:

$$\lambda cx > 0{,}25 \text{ dan } \lambda cx < 1{,}20 \text{ atau } 0{,}743 > 0{,}25 \text{ dan } 0{,}421 < 1{,}20$$

Berdasarkan nilai kelangsingan terhadap sumbu x, maka termasuk penampang ***SEDANG***.

Untuk menentukan nilai faktor tekuk terhadap sumbu x:

a. Kolom pendek:	ω	=	-
b. Kolom sedang:	$\omega = 1{,}43 / (1{,}6 - 0{,}67 * \lambda c)$	=	1,297
c. Kolom langsing:	$\omega = 1{,}25 * \lambda c^2$	=	-
Faktor tekuk terhadap sumbu x,	ωx	=	1,297

Menentukan nilai faktor tekuk terhadap sumbu y:

$$\lambda cx > 0{,}25 \text{ dan } \lambda cx < 1{,}20 \text{ atau } 0{,}421 > 0{,}25 \text{ dan } 0{,}421 < 1{,}20$$

Berdasarkan nilai kelangsingan terhadap sumbu y, maka termasuk penampang ***SEDANG***.

a. Kolom pendek:	ω	=	-	
b. Kolom sedang:	$\omega = 1{,}43 / (1{,}6 - 0{,}67 * \lambda c)$	=	1,085	
c. Kolom langsing:	$\omega = 1{,}25 * \lambda c^2$	=	-	
Faktor tekuk terhadap sumbu y,	ωy	=	1,085	

Tegangan tekuk:

Tegangan tekuk terhadap sumbu x,	fcrx = fy / ωx	=	184,992	MPa
Tegangan tekuk terhadap sumbu y,	fcry = fy / ωy	=	221,181	MPa

Tahanan aksial tekan:

Tahanan aksial nominal terhadap sumbu x,	Pn = fcrx * Ag	=	1730782,43	N
Tahanan aksial nominal terhadap sumbu y,	Pn = fcry * Ag	=	2069373,74	N
Tahanan aksial nominal terkecil,	Pn	=	1730782,43	N
Tahanan aksial tekan nominal,	Ø * Pn	=	1471165,07	N

Perbandingan gaya dalam dan kekuatan nominal:

$$\frac{P_u}{\emptyset P_n} = \frac{1040571{,}5\ N}{1471165{,}07\ N} = 0{,}707 < 1$$

Berdasarkan tahanan aksial pengaruh kelangsingan, kekuatan penampang **(OK)**.

5. Tahanan aksial tekan pengaruh tekuk lentur

Menentukan parameter tegangan kritis:

Faktor panjang tekuk efektif terhadap sumbu x,	Kx	=	1	(Sendi)
Faktor panjang tekuk efektif terhadap sumbu y,	Ky	=	1	(Sendi)
Panjang kolom terhadap sumbu x,	Lx	=	8364,5	mm
Panjang kolom terhadap sumbu y,	Ly	=	4939,5	mm
	Kx . Lx / rx	=	67,376	
	Ky . Ly / ry	=	38,188	
	4,71 $\sqrt{}$ E / Fy	=	135,966	

Menentukan nilai faktor tekuk lentur terhadap sumbu x:

Kx . Lx / rx < 4,71 $\sqrt{}$ E / Fy atau 67,376 < 135,966

Berdasarkan nilai lentur terhadap sumbu x, maka termasuk tekuk ***INELASTIS***.

Menentukan nilai faktor tekuk lentur terhadap sumbu y:

Ky . Ly / ry < 4,71 $\sqrt{}$ E / Fy atau 38,188 < 135,966

Berdasarkan nilai lentur terhadap sumbu y, maka termasuk tekuk ***INELASTIS***.

Tegangan kritis:

Tegangan tekuk Euler,	$Fe = \pi^2 . E / (Kx . Lx / rx)^2$	=	434,835	MPa
Tegangan tekuk Euler,	$Fe = \pi^2 . E / (Ky . Ly / ry)^2$	=	1353,540	MPa
Tegangan kritis terhadap sumbu x,	Fcrx = (0,658 ^ Fy / Fe) . Fy	=	190,495	MPa
Tegangan kritis terhadap sumbu y,	Fcry = (0,658 ^ Fy / Fe) . Fy	=	222,833	MPa

Tahanan aksial tekan:

Tahanan aksial nominal terhadap sumbu x,	Pn = fcrx * Ag	=	1782273,35	N
Tahanan aksial nominal terhadap sumbu y,	Pn = fcry * Ag	=	2084829,66	N

Tahanan aksial nominal terkecil,	Pn	=	1782273,35	N
Tahanan aksial tekan nominal,	Ø * Pn	=	1514932,34	N

Perbandingan gaya dalam dan kekuatan nominal:

$$\frac{P_u}{\emptyset P_n} = \frac{1040571{,}5\ \text{N}}{1514932{,}34\ \text{N}} = 0{,}687 < 1$$

Berdasarkan tahanan aksial pengaruh tekuk lentur, kekuatan penampang **(OK)**.

Perhitungan desain kekuatan batang tarik

Pada desain ini, peneliti mengambil sampel hasil aksial ultimit untuk batang tarik dengan nilai terbesar yaitu 1508,7178 kN di profil ST3 (2 IWF 300×150×6,5×9) yang berada pada tahap 6 (*layer* #1) zona 4.

1. Data bahan

Tegangan leleh baja (fy)	= 240	MPa
Tegangan putus (fu)	= 370	MPa
Modulus elastisitas baja	= 200000	MPa

2. Data profil baja

Luas penampang (Agab)	= 9356	mm^2
Momen inersia terhadap sumbu X (Igabx)	= 144200000	mm^4
Momen inersia terhadap sumbu Y (Igaby)	= 156530000	mm^4
Radius girasi terhadap sumbu X (rgabx)	= 124,15	mm
Radius girasi terhadap sumbu Y(rgaby)	= 129,35	mm

3. Data baja

Panjang elemen terhadap sumbu X (Lx)	= 11979,1	mm
Panjang elemen terhadap sumbu Y (Ly)	= 6029,1	mm
Gaya aksial akibat beban terfaktor (Pu)	= 1508717,8	N
Faktor reduksi untuk kuat leleh (Ø)	= 0,90	
Faktor reduksi untuk kuat putus (Ø)	= 0,75	

4. Tahanan aksial pengaruh kuat leleh

Tahanan aksial kuat leleh	Pn = fy * Ag	=	2245440	N
	Ø	=	0,9	
Tahanan aksial tarik nominal,	Ø * Pn	=	2020896	N

Interaksi kekuatan nominal dan kekuatan:

$$\frac{P_u}{\emptyset P_n} = \frac{1508717{,}8\ \text{N}}{2020896\ \text{N}} = 0{,}747 < 1$$

Berdasarkan tahanan aksial pengaruh kuat leleh, kekuatan penampang **(OK)**

5. Tahanan aksial tarik pengaruh kuat putus

Faktor *shear lag*,	U	=	1	
Luas penampang bersih,	An = Ag	=	9356	mm^2
Luas penampang efektif,	Ae = An . U	=	9356	mm^2
Tahanan aksial tarik:				
Tahanan aksial kuat putus	Pn = fu * Ae	=	3461720	N

Ø = 0,75

Tahanan aksial tarik nominal, Ø * Pn = 2596290 N

Perbandingan gaya dalam dan kekuatan nominal:

$$\frac{P_u}{\emptyset P_n} = \frac{1508717{,}8\ \text{N}}{2596290\ \text{N}} = 0{,}581 < 1$$

Berdasarkan tahanan aksial pengaruh kuat putus, kekuatan penampang **(OK)**.

Perhitungan volume *strutting* baja keseluruhan *layer*

Volume awal *strutting* baja ditunjukkan pada Tabel 6. Volume *strutting* baja terbaru ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil volume baja *strutting* sebelum dievaluasi

No	Profil	Volume *Forcon* (kg)
1	ST1 (2 IWF 400×200×8×13)	18929,99
2	ST2 (2 IWF 500×200×10×16)	19772,28
3	ST3 (2 IWF 588×300×12×20)	358030,82
4	SB0 (IWF 300×150×6,5×9)	4025,80
5	SB1 (IWF 400×200×8×13)	77377,01
6	SB2 (IWF 500×200×10×16)	6980,79
	Total	485116,69

Tabel 7. Hasil volume baja *strutting* setelah dievaluasi

No	Profil	Volume Baru (kg)
1	ST3 (2 IWF 300×150×6,5×9)	90285,74
2	ST3-1 (2 IWF 350×175×7×11)	827,34
3	ST2 (2 IWF 250×125×6×9)	6462,33
4	ST1 (2 IWF 200×100×5,5×8)	5801,86
5	SB2 (IWF 250×125×6×9)	2537,19
6	SB1 (IWF 200×100×5,5×8)	18905,03
7	SB1-1 (IWF 250×125×6×9)	1543,94
8	SB1-2 (IWF 300×150×6,5×9)	9299,89
9	SB1-3 (IWF 350×175×7×11)	3774,26
10	SB1-4 (IWF 400×200×8×13)	6749,89
11	SB1-5 (IWF 500×200×10×16)	1391,67
12	SB1-6 (IWF 588×300×12×20)	1378,63
13	SB0 (IWF 150×75×5×7)	2174,61
14	SB0-1 (IWF 200×100×5,5×8)	117,43
15	SB0-2 (IWF 250×125×6×9)	44,40
	Total	151294,21

Hasil perhitungan analisis biaya material

Perhitungan harga material baja *strutting* awal ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Analisis harga material baja *strutting* Sebelum Dievaluasi

No	Profil	Berat (kg)	Harga/kg		Total Harga
1	ST1 (2 IWF 400×200×8×13)	18929,99	Rp 21.978,00	Rp	416.043.320,22
2	ST2 (2 IWF 500×200×10×16)	19772,28	Rp 22.089,00	Rp	436.749.892,92
3	ST3 (2 IWF 588×300×12×20)	358030,82	Rp 22.089,00	Rp	7.908.542.782,98
4	SB0 (IWF 300×150×6,5×9)	4025,80	Rp 20.535,00	Rp	82.669.803,00
5	SB1 (IWF 400×200×8×13)	77377,01	Rp 21.978,00	Rp	1.700.591.925,78
6	SB2 (IWF 500×200×10×16)	6980,79	Rp 21.978,00	Rp	153.423.802,62
			Total Harga	Rp	10.698.021.527,52

Jadi, total harga untuk biaya material baja *strutting* proyek Gedung X sebelum dievaluasi sebesar Rp10.698.021.527,52.

Perhitungan harga material baja *strutting* terbaru ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Analisis harga material baja *strutting* setelah dievaluasi

No	Profil	Berat (kg)	Harga/kg	Total Harga
1	ST3 (2 IWF 300×150×6,5×9)	90285,74	Rp 20.535,00	Rp 1.854.017.740,72
2	ST3-1 (2 IWF 350×175×7×11)	827,34	Rp 20.535,00	Rp 16.989.475,86
3	ST2 (2 IWF 250×125×6×9)	6462,33	Rp 18.981,00	Rp 122.661.508,51
4	ST1 (2 IWF 200×100×5,5×8)	5801,86	Rp 18.981,00	Rp 110.125.188,18
5	SB2 (IWF 250×125×6×9)	2537,19	Rp 18.981,00	Rp 48.158.471,72
6	SB1 (IWF 200×100×5,5×8)	18905,03	Rp 18.981,00	Rp 358.836.336,47
7	SB1-1 (IWF 250×125×6×9)	1543,94	Rp 18.981,00	Rp 29.305.449,22
8	SB1-2 (IWF 300×150×6,5×9)	9299,89	Rp 20.535,00	Rp 190.973.243,20
9	SB1-3 (IWF 350×175×7×11)	3774,26	Rp 20.535,00	Rp 77.504.478,38
10	SB1-4 (IWF 400×200×8×13)	6749,89	Rp 21.978,00	Rp 148.348.994,51
11	SB1-5 (IWF 500×200×10×16)	1391,67	Rp 21.978,00	Rp 30.586.061,72
12	SB1-6 (IWF 588×300×12×20)	1378,63	Rp 22.089,00	Rp 30.452.558,07
13	SB0 (IWF 150×75×5×7)	2174,61	Rp 17.094,00	Rp 37.172.714,96
14	SB0-1 (IWF 200×100×5,5×8)	117,43	Rp 18.981,00	Rp 2.228.879,99
15	SB0-2 (IWF 250×125×6×9)	44,40	Rp 18.981,00	Rp 842.756,40
			Total Harga	Rp 3.058.203.857,90

Jadi, total harga untuk biaya material baja *strutting* proyek Gedung X setelah dievaluasi sebesar Rp3.058.203.857,90.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini, antara lain:

1. Hasil analisis kekuatan *strutting* baja pada tahap 1 hingga tahap 4 menunjukkan bahwa *strutting* sudah berada dalam kategori aman, karena memiliki nilai faktor keamanan kurang dari 1 dan kapasitasnya masih mencukupi beban yang diterima. Akan tetapi pada tahap 5 dan tahap 6 terdapat profil yang mengalami kegagalan karena nilai faktor lebih dari 1 dan beban yang diterima melebihi kapasitasnya. Setelah dilakukan evaluasi, kekuatan *strutting* baja berada dalam kategori aman, dengan nilai faktor keamanan kurang dari 1 dan mampu menahan beban yang diterima. Selain itu, diperoleh dimensi profil terbaru.
2. Besarnya volume total pada *strutting* baja sebelum dievaluasi yaitu 485.116,69 kg lalu untuk besarnya volume total pada *strutting* baja setelah dievaluasi yaitu 151.294,21 kg. Volume total ini mengalami penurunan sebesar 68,812% dari total volume *strutting* sebelum di evaluasi serta untuk harga total mengalami penurunan sebesar Rp7.639.817.669,62 atau dengan persentase 71,413%.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik (SNI 8460:2017). http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList

Badan Standardisasi Nasional. (2020a). Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020). http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList

Badan Standardisasi Nasional. (2020b). Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2020). http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList

Bahrami, M., Khodakarami, M. I., & Haddad, A. (2019). Seismic behavior and design of strutted diaphragm walls in sand. Computers and Geotechnics, 108, 75–87.

Bowles, J. E. (1977). Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill. Michigan.

Livando, R. & Kawanda, A. (2020). Perancangan dinding penahan tanah pada (konstruksi) basement. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 3(3), 823–838.

Masherni, A. S. (2016). Tinjauan perencanaan struktur beton gedung rawat inap VIP RSUD Jend. A. Yani Kota Metro menggunakan program ETABS. TAPAK (Tekonologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Progam Studi Teknik Sipil, 6(1), 71–77.

Widyantoro, S., Simanihuruk, B., & Sembiring, K. (2022). Analisis struktur strutting area podium Millenium Centenial Center Tower. Jurnal Kajian Teknik Sipil, 7(1), 12–33.

Hardiyatmo, H.C., 2003, Mekanika Tanah II, Edisi-3, Penerbit Gadjah Mada University Press

Yusuf, T. Z. F. (2020). Evaluasi perencanaan secant pile sebagai dinding penahan tanah basement pada Proyek Hotel Ibis Merah Medan (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Yanita, R., Wardana, S. K., & Mochtar, K. (2020). Efektifitas metode top-down pada pembangunan tunnel penghubung Gedung Parkir Pondok Indah Mall 3. TECHNOPEX.

Bhuana, B., & Hamdhan, I. N. (2024). Pemodelan kondisi eksisting secant pile tanpa perkuatan strutting baja menggunakan model 3D. FTSP Series, 359-363.

The Japan Iron and Steel Federation. (2021). JIS G 3192: 2021 (JISF) Dimensions, shape, mass and permissible variations of hot rolled steel sections. Japan: Japanese Standards Association.

Warman, R. S. (2019). Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi. Jakarta.