

**PENGARUH KETEBALAN PELAT LANTAI TERHADAP
KAPASITAS LENTUR DAN GESER *GIRDER* BAJA
KOMPOSIT JEMBATAN ALUE PANGE**

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-syarat
yang Diperlukan untuk Memperoleh
Ijazah Sarjana Teknik

Oleh

PUTRI NASTABILA
NIM 1903120121



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH
BATHOH – BANDA ACEH
2023

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Ketebalan Pelat Lantai terhadap Kapasitas Lentur dan Geser *Girder* Baja Komposit Jembatan Alue Pange”, disusun oleh:

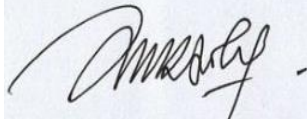
Nama Mahasiswa : Putri Nastabila
NIM : 1903120121
Program Studi : Teknik Sipil

Diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat-syarat yang diperlukan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, telah lulus pada tanggal 28 Agustus 2023

Banda Aceh, 28 Agustus 2023

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing



Ir. Munawir, ST, M.T, IPM,
ASEAN Eng

NIDN: 0129068303

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Tamal Khadi, ST, M.Eng. Sc, IPM
ASEAN Eng

NIDN: 330019301

Menyetujui/Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh



Prof. Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, ST, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE

NIDN: 0104037002

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI

Pengaruh Ketebalan Pelat Lantai terhadap Kapasitas Lentur dan
Geser *Girder* Baja Komposit Jembatan Alue Pange
Disusun oleh

Nama Mahasiswa : Putri Nastabila
NIM : 1903120121
Program Studi : Teknik Sipil

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata-1 (S-1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji untuk disahkan.

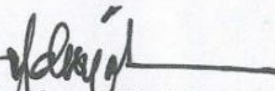
Banda Aceh, 28 Agustus 2023

Dosen Pembimbing



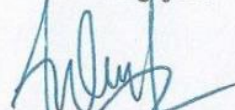
Ir. Munawir, ST, M.T, IPM, ASEAN Eng
NIDN: 0129068303

Dosen Penguji I



Mahdi Syahbana, ST., MT
NIDN: 1325116701

Dosen Penguji II



Widya Soviana, ST, M.Si, IPM
NIDN: 1304108201

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng, Sc. IPM, ASEAN Eng
NIDN: 1324108201

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Putri Nastabila

Nim : 1903120121

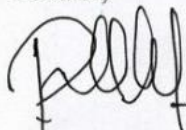
Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Di dalam tugas akhir saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir/skripsi, tesis, disertasi, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
2. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat dalam tugas akhir saya bagian-bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebagian atau seluruhnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Bathoh, 28 Agustus 2023

Penulis,



Putri Nastabila
1903120121

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Tugas akhir ini berjudul **“Pengaruh Ketebalan Pelat Lantai terhadap Kapasitas Lentur dan Geser Girder Baja Komposit Jembatan Alue Pange”** ditulis dalam rangka melengkapi dan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi teknik Sipil pada Universitas Muhammadiyah Aceh.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini, penulis telah banyak memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak terutama pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Bapak Ir. Munawir, ST, M.T, IPM, ASEAN Eng.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

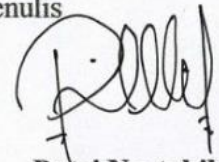
1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh Prof. Dr. Ir. Hafnidar A.Rani, ST., MM., IPU, ASEAN Eng., ACPE.
2. Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh Dr.Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng. Sc, IPM, ASEAN Eng dan Sekretaris Prodi Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPP.
3. Mahdi Syahbana ST.,MT selaku penguji I dan Widya Soviana, ST., M.Si, IPM selaku penguji II yang telah memberi banyak masukan untuk perbaikan tulisan ini.
4. Tenaga Pengajar pada Program Studi Teknik Sipil / Falkutas Teknik Universitas Muhammdiyah Aceh.
5. Ibunda dan Ayahanda tercinta serta seluruh anggota keluarga yang selalu berdoa dan memberi dorongan untuk keberhasilan penulis.
6. Rekan-rekan mahasiswa pada Prodi Teknik Sipil yang telah banyak membantu penulis hingga selesainya penulisan ini.

Penulis menyadari bahwa hal-hal yang telah penulis tuliskan dalam skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritikan dan saran yang bersifat membangun dan bermanfaat untuk kesempurnaan penulis.

Akhirnya kepada Allah SWT jugalah kita berserah diri, karena tiada satupun dapat terjadi jika tidak atas kehendak-Nya dan berharap semoga tulisan ini dapat berguna bagi pembaca, Aamiin.

Bathoh, 28 Agustus 2023

Penulis



Putri Nastabila
1903120121

**PENGARUH KETEBALAN PELAT LANTAI TERHADAP KAPASITAS
LENTUR DAN GESER GIRDER BAJA KOMPOSIT
JEMBATAN ALUE PANGE**

Oleh :

Putri Nastabila
NIM.1903120121

Pembimbing
Ir. Munawir, ST,M.T, IPM ASEAN Eng

ABSTRAK

Jembatan Alue Pange terletak di ruas jalan nasional Geumpang-Pameu (GMP.47+350). Posisi jembatan tepatnya pada lintang (N): $4^{\circ}45'02,4''$ dan Bujur (E): $96^{\circ}21'33,8''$. Jembatan ini direncanakan dengan panjang bentang 20 meter dan lebar lantai kendaraan 8 meter serta dilengkapi trotoar selebar 1,00 meter pada sisi kiri dan kanan jembatan. Struktur bangunan atas (*upper structure*) jembatan ini berdasarkan data *Detail Engineering Design* (DED) menggunakan *girder* baja komposit (I-900) dengan jarak antar gelagar 1,60 meter dan pelat lantai beton bertulang setebal 25 cm. Berdasarkan data awal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan perencanaan kembali (*redesign*) ketebalan pelat menjadi 20 cm. Hal ini dilakukan karena pada dasarnya pelat lantai jembatan di Indonesia ketebalannya berkisar antara 20-25 cm dan pada jembatan lama yang dibangun sebelum tahun 2017 umumnya ketebalan pelat lantai kendaraan berkisar 20 cm. Atas dasar pertimbangan tersebut maka penelitian ini bertujuan mengkaji bagaimana pengaruh perubahan ketebalan pelat lantai terhadap rasio beban tetap yang bekerja pada jembatan dan kapasitas struktur terkait lentur dan geser serta besarnya lendutan yang terjadi, dengan harapan pelat lantai yang di *redesign* aman terhadap beban kerja dan menghasilkan struktur yang lebih ekonomis. Penelitian ini hanya dibatasi untuk meninjau struktur bangunan atas jembatan dengan memperhitungkan beban yang bekerja sesuai ketentuan SNI 1725-2016. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22 dan struktur *girder* dimodelkan sebagai balok dengan tumpuan sendi-rol. Berdasarkan hasil reanalisis pelat lantai 20 cm diperoleh rasio kapasitas struktur terhadap kombinasi beban maksimum yang terjadi sebesar 1,339 dan 2,316 sedangkan hasil reanalisis *girder* baja komposit dengan $t = 20$ cm diperoleh nilai rasio sebesar 1,280 dan 3,105 berturut-turut untuk lentur dan geser dengan nilai lendutan sebesar $\Delta = 144,05$ mm. Terkait hasil yang diperoleh, maka pada perencanaan *redesign* ketebalan pelat masih aman dalam memikul beban.

Kata Kunci : Baja *girder* komposit, gaya geser, jembatan, momen, pelat lantai kendaraan.

THE EFFECT OF PLATE THICKNESS ON FLEXIBLE AND SHEAR CAPACITY OF COMPOSITE STEEL GIRDER OF ALUE PANGE BRIDGE

Written by:

Putri Nastabila
NIM.1903120121

Supervisor
Ir. Munawir, ST,M.T, IPM ASEAN Eng

ABSTRACT

Alue Pange Bridge is located on Geumpang-Pameu national road section (GMP.47+350). The exact position of the bridge is at latitude (N): 4°45'02.4" and longitude (E): 96°21'33.8". This bridge is planned with a span length of 20 meters and a vehicle floor width of 8 meters and is equipped with 1.00-meter-wide sidewalks on the left and right sides of the bridge. The *upper structure* of this bridge is based on *Detailed Engineering Design* (DED) data using composite steel girders (I-900) with a distance between *girders* of 1.60 meters and a reinforced concrete floor plate 25 cm thick. Based on these initial data, this research studied a *redesign* of bridge plate thickness to 20 cm. This was conducted because basically, the thickness of bridge floor plates in Indonesia ranges from 20-25 cm and on old bridges built before 2017 the thickness of vehicle floor plates is generally around 20 cm. Based on these considerations, this research aimed to examine the effect of changes in floor plate thickness on the ratio of the fixed load acting on the bridge and the structural capacity related to bending and shear as well as the amount of deflection occurred, expecting the *redesigned* floor plate is safe for the working load and produces a more economical structure. This research was only limited to reviewing the superstructure of the bridge by taking into account the working loads according to the provisions of SNI 1725-2016. The analysis was carried out using SAP2000 v22 software and the *girder* structure was modeled as a roll-pint beam. Based on the results of reanalysis of 20 cm floor plate, the ratio of structural capacity to the combination of maximum loads occurred was 1.339 and 2.316, while the results of reanalysis of the composite steel *girder* with $t = 20$ cm obtained a ratio value of 1.280 and 3.105 respectively for bending and shearing with a deflection value of $\Delta = 144.05$ mm. Regarding the results obtained, in planning the *redesign*, the thickness of the plate is still safe for carrying the load.

Keywords: Composite *girder* steel, shear force, bridge, moment, vehicle floor plate.



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB. I PENDAHULUAN	 1
 BAB. II TINJAUAN KEPUSTAKAAN.....	 4
2.1 Jembatan.....	4
2.2 Jenis-Jenis Jembatan	4
2.3 Bagian-Bagian Jembatan.....	5
2.4 Struktur Atas Jembatan (<i>Upper Structure</i>).....	6
2.5 Jembatan <i>Girder</i> Baja Komposit.....	8
2.6 Pembebanan pada Jembatan.....	8
2.6.1 Beban Mati	9
2.6.2 Beban Lalu Lintas	9
2.6.3 Faktor Beban Dinamis (FBD).....	10
2.6.4 Gaya Rem.....	10
2.6.5 Pembebanan untuk Pejalan Kaki.....	11
2.7 Kombinasi Pembebanan.....	11
2.8 Desain <i>Girder</i> Baja Komposit.....	11
2.8.1 Perencanaan Kekuatan Struktur Pelat Lantai	12
2.8.2 Perencanaan <i>Girder</i> Komposit.....	13

2.8.3	Perencanaan <i>Shear Connector</i>	15
2.9	Penelitian Terdahulu	16
BAB. III	METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1	Objek dan Lokasi Penelitian	18
3.2	Data Perencanaan Jembatan	18
3.3	Pemodelan Struktur.....	19
3.4	Perhitungan Pembebanan	20
3.5	Kombinasi Pembebanan.....	22
3.6	Analisis Struktur.....	22
BAB. IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1	Hasil Perhitungan Pelat Lantai Jembatan	23
4.2	Hasil Perhitungan Gaya Dalam Struktur <i>Girder</i> Baja Komposit .	28
4.2.1	Momen Ultimit pada <i>Girder</i> Baja Komposit.....	28
4.2.2	Gaya Geser	30
4.3	Momen Nominal <i>Girder</i> Baja Komposit.....	31
4.4	Lendutan pada <i>Girder</i> Baja Komposit.....	32
BAB. V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran.....	35
DAFTAR KEPUSTAKAAN		36

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Type</i> jembatan berdasarkan panjang bentang.....	5
Gambar 2.2 Bagian-bagian jembatan.....	6
Gambar 2.3 Bagian struktur atas jembatan	6
Gambar 2.4 Komponen jembatan komposit	8
Gambar 3.1 Penampang gelagar jembatan.....	19
Gambar 3.2 Pemodelan pada balok/ <i>beams</i>	20
Gambar 3.3 Pemodelan pelat lantai dianalisa untuk 1 m'	20
Gambar 4.1 Perbandingan momen <i>max</i> akibat berat sendiri	23
Gambar 4.2 Momen <i>max</i> akibat beban mati tambahan.....	24
Gambar 4.3 Momen <i>max</i> akibat beban truk	24
Gambar 4.4 Variasi perbedaan μ dan $\theta f.M_n$	27
Gambar 4.5 Variasi perbedaan V_u dan $\theta f.V_n$	27
Gambar 4.6 Variasi momen ultimit kombinasi Kuat I.....	29
Gambar 4.7 Variasi momen ultimit kombinasi kuat	29
Gambar 4.8 Variasi perbedaan V_u dan $\theta f.V_n$	31
Gambar 4.9 Variasi tebal pelat pada penampang I-900	32
Gambar 4.10 Variasi perbedaan lendutan	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Penelitian terdahulu.....	16
Tabel 4.1 Rekapitulasi momen <i>max</i> pada pelat lantai.....	25
Tabel 4.2 Momen ytb pada pelat lantai.....	25
Tabel 4.3 Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat lantai	26
Tabel 4.4 Momen pembebanan baja komposit	28
Tabel 4.6 Gaya geser pembebanan baja komposit.....	30

DAFTAR LAMPIRAN A

Gambar A.2.1 Bagan alir perencanaan pelat terhadap lentur.....	38
Gambar A.3.1 Bagan alir penelitian.....	40
Gambar A.3.2 Peta provinsi aceh.....	41
Gambar A.3.3 Peta lokasi objek penelitian.....	42
Gambar A.3.4 Gambar rencana jembatan	43
Gambar A.2.2 Beban lajur “D”	49
Gambar A.2.3 Pembebanan truk “T”	49
Gambar A.2.4 Faktor beban dinamis untuk beban T dan lajur “D”	50

DAFTAR LAMPIRAN B

Tabel B.2.1 Kombinasi pembebanan jembatan.....	51
Tabel B.2.2 Berat isi untuk beban mati.....	51
Tabel B.2.3 Faktor beban untuk berat sendiri	52
Tabel B.2.4 Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	52
Tabel B.2.5 Faktor beban untuk beban “T”	52
Tabel B.2.6 Faktor beban untuk beban lajur “D”	53
Tabel B.2.7 Faktor kepadatan lajur	53
Tabel B.3.1 Data perencanaan jembatan.....	54

DAFTAR LAMPIRAN C

Lampiran C.1	Data awal DED	55
Lampiran C.2	Perhitungan pembebanan pelat lantai	56
Lampiran C.3	Perhitungan tulangan pelat lantai.....	64
Lampiran C.4	Lebar efektif pelat lantai	71
Lampiran C.5	Perhitungan <i>section properties</i> model struktur	72
Lampiran C.6	Resume perhitungan lebar efektif pelat	84
Lampiran C.7	Perhitungan daktilitas.....	85
Lampiran C.8	Perhitungan beban gaya dalam	86
Lampiran C.9	Gaya dalam pada jembatan	91
Lampiran C.10	Pemeriksaan batasan penampang.....	95
Lampiran C.11	Pemeriksaan komponen	97
Lampiran C.12	Pemeriksaan persyaratan deformasi.....	119
Lampiran C.13	Pengaku tumpu	123
Lampiran C.14	Diafragma	126

BAB I

PENDAHULUAN

Supriadi (2007) menjelaskan jembatan merupakan salah satu bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lain, yang dapat dilintasi oleh sesuatu benda yang bergerak misalnya suatu lintas yang terputus akibat rintangan atau sebab lainnya. Secara umum, tipe-tipe jembatan berdasarkan material yang digunakan dapat dikategorikan sebagai jembatan rangka baja, jembatan beton bertulang, jembatan beton prategang (*pre-stress*) dan jembatan *girder* baja komposit.

Ihsan, dkk. (2018) berpendapat jembatan *girder* baja komposit adalah suatu struktur konstruksi jembatan yang menggunakan pelat beton yang di cor secara monolit dan diletakkan di atas gelagar baja penyanggah, dimana kombinasi dari pelat beton dan gelagar, akan membentuk satu kesatuan dan bekerja sama baik melawan lenturan akibat beban kerja maupun masalah geseran horizontal. Untuk menghubungkan antara baja dan beton maka digunakan pemakaian alat penyambung geser mekanis yang biasa disebut *shear connector*, lekatan antara pelat beton dengan baja menjadi dapat diandalkan untuk menahan gaya geser yang timbul.

Jembatan yang menjadi objek penelitian adalah Jembatan Alue Pange dengan tipe jembatan *girder* baja komposit yang berlokasi di ruas jalan nasional Geumpang-Pameu. Pembangunan jembatan di ruas jalan Geumpang-Pameu ini bermanfaat khususnya bagi masyarakat Aceh karena sebagai penghubung antara Aceh Tengah dan Kabupaten Pidie sehingga dapat mempersingkat jarak tempuh perjalanan. Jembatan ini di desain berdasarkan data *Detail Engineering Design* (DED) menggunakan baja I-900 dengan panjang bentang 20 meter, jarak antar gelagar 1,60 meter dan ketebalan pelat lantai setebal 25 cm. Pada umumnya jembatan di Indonesia direncanakan tebal pelat lantai dengan ketebalan 20–25 cm. Atas dasar tersebut, maka akan dicoba untuk merencanakan kembali (*re-design*) ketebalan pelat menjadi 20 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh ketebalan pelat lantai terhadap rasio beban mati/beban tetap yang bekerja pada jembatan, apakah masih aman untuk

memikul beban kerja pada jembatan tersebut yaitu berupa nilai kapasitas struktur terkait lentur dan geser serta bagaimana pengaruh terhadap besarnya lendutan akibat perubahan ketebalan pelat dengan harapan ketebalan pelat yang dihitung aman terhadap beban kerja dan diperoleh struktur yang lebih ekonomis.

Dalam perencanaan jembatan Alue Pange menggunakan data sekunder berupa Laporan Perencanaan Teknik (DED) Jembatan Nasional Provinsi Aceh (Paket-15/2021) dan Gambar Rencana. Jembatan ini direncanakan dengan panjang bentang 20 meter, lebar lantai kendaraan 8,0 meter dan trotoar selebar 1,0 meter pada sisi kiri dan kanan jembatan. Untuk mutu material beton yang digunakan sebesar 30 MPa dan mutu tulangan 420 MPa, sedangkan modulus elastisitas beton sebesar 25.742,96 MPa dan baja 200.000 MPa, pada perencanaan *girder* menggunakan profil baja I.900.300.16.28 dengan tegangan leleh baja sebesar 355 MPa. Pada penelitian ini struktur yang ditinjau dibatasi untuk struktur bangunan atas (*upper structure*) yang terdiri dari gelagar komposit baja beton, sedangkan tiang sandaran, trotoar dan komponen beban mati/beban tetap seperti aspek yang berada di atasnya dianggap sebagai beban. Peraturan pembebanan yang digunakan yaitu berdasarkan SNI 1725-2016. Jembatan ini dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22. Komponen yang dimodelkan yaitu pada pelat lantai kendaraan sebagai balok menerus selebar 1,0 meter dengan tumpuan sendi dan rol serta ujung bebas (*kantilever*), sedangkan pada *girder* baja komposit dengan balok sederhana pada tumpuan sendi-rol dengan pembebanan meliputi berat sendiri, beban mati tambahan dan beban hidup, sehingga memperoleh persamaan kombinasi pembebanan sesuai dengan jenis material yang telah ditentukan. Pada pelat lantai digunakan material beton sedangkan pada *girder* baja komposit material gabungan antara baja dan beton, sehingga menghasilkan persamaan sebuah kombinasi pembebanan. Pada perencanaan ini digunakan persamaan kombinasi pada keadaan ultimit yaitu Kuat I dan kondisi layan pada Layan II. Berdasarkan kombinasi beban yang ditinjau diperoleh gaya dalam berupa momen, gaya geser dan lendutan yang terjadi pada jembatan tersebut.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, setelah terjadinya perubahan ketebalan pelat pada perencanaan pelat lantai jembatan diperoleh momen ultimit pada kombinasi Kuat I yang merupakan momen maksimum dari hasil persamaan 7 kombinasi

pembebanan, meliputi : Kuat I, Kuat II, Kuat III, Kuat IV, Kuat V, Ekstrem, Layan I, Layan II, Layan III, Layan IV dan Fatik, dimana momen ultimit yang dihasilkan mengalami penurunan akibat perubahan ketebalan pelat lantai jembatan. Karena mengalami penurunan momen ultimit, maka berpengaruh terhadap jarak tulangan longitudinal yang digunakan. Pada pelat $t = 20$ cm digunakan tulangan D16-120 mm sedangkan pada pelat $t = 25$ cm digunakan tulangan D16-150 mm dengan menghasilkan nilai rasio kapasitas struktur akibat kombinasi beban pada pelat $t = 20$ cm sebesar $r = 1,339$ dan $r = 2,316$ dan pada pelat $t = 25$ cm sebesar $r = 1,402$ dan $r = 3,262$ berturut-turut untuk lentur dan geser (*punching shear*). Berdasarkan hasil analisis *girder* baja komposit nilai maksimum untuk kondisi ultimit juga berada pada kombinasi Kuat I sehingga pada pelat $t = 20$ cm menghasilkan nilai rasio kapasitas struktur sebesar $r = 1,280$ dan $r = 3,105$ dan pada pelat $t = 25$ cm sebesar $r = 1,311$ dan $r = 2,907$ berturut-turut untuk lentur dan geser. Pada kondisi layan momen maksimum berada pada persamaan kombinasi Layan II, sehingga menghasilkan nilai lendutan pada pelat $t = 20$ cm sebesar $\Delta = 144,05$ mm dan pelat $t = 25$ cm sebesar $\Delta = 147,20$ mm. Terkait hasil yang diperoleh, maka penelitian dengan merencanakan kembali (*redesign*) ketebalan pelat menjadi 20 cm masih aman untuk digunakan.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

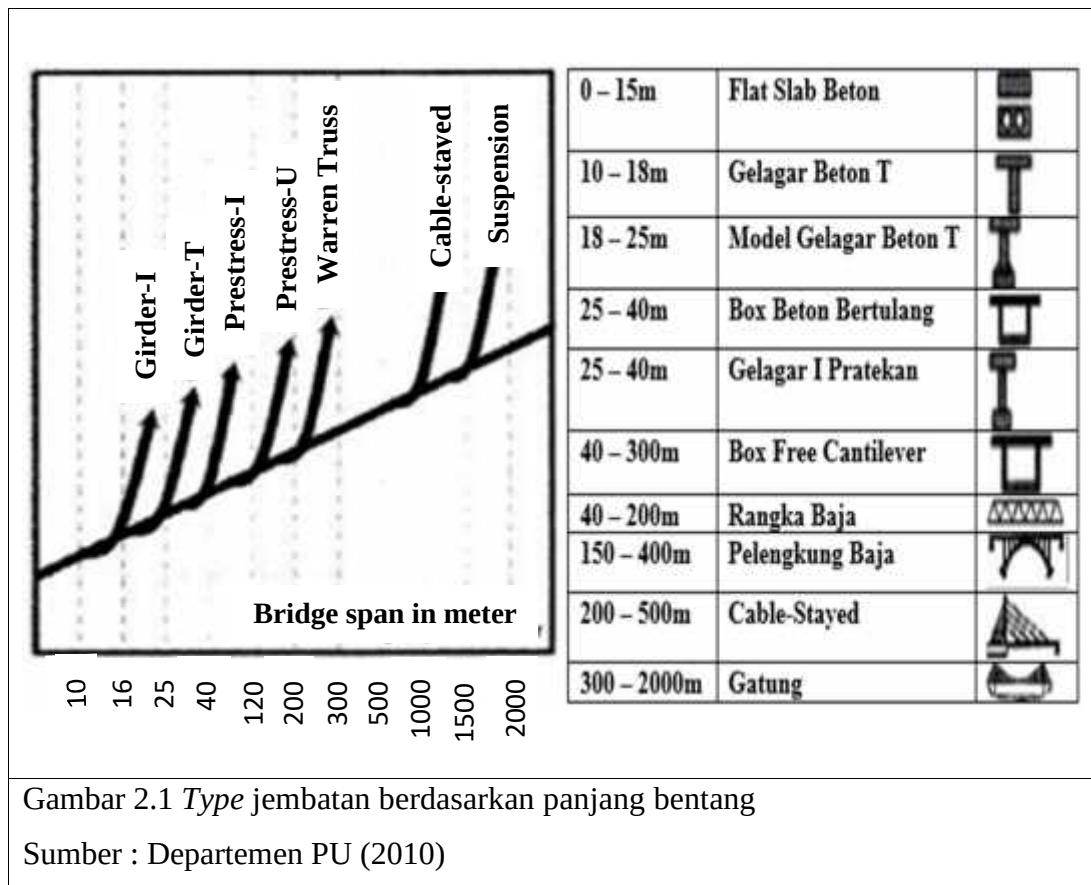
2.1 Jembatan

Purnomo, dkk. (2018) mendefinisikan jembatan sebagai salah satu akses yang menghubungkan antara daerah yang satu dengan daerah lainnya yang terpisah karena keadaan alam, misalnya adanya lembah, jurang, sungai maupun rel kereta api. Pada kawasan perkotaan yang lalu lintasnya padat, jembatan juga bisa menjadi alternatif untuk menghindari kemacetan.

Selain sebagai sarana transportasi, jembatan mempunyai perananan penting dalam kehidupan manusia. Berdasarkan UU 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan juga termasuk jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan daerah.

2.2 Jenis – Jenis Jembatan

Agus (1995) berpendapat, jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan komponen dan bentuk strukturnya. Berdasarkan komponen, jenis jembatan dikelompokkan menjadi : jembatan kayu (*log bridge*), jembatan baja (*steel bridge*), jembatan beton (*concrete bridge*), jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*), jembatan komposit (*compossite bridge*), jembatan bambu dan jembatan pemasangan batu kali/bata. Berdasarkan tipe strukturnya dibedakan menjadi jembatan pelat (*slab bridge*), jembatan pelat berongga (*voiled slab bridge*), jembatan gelagar (*girder bridge*), jembatan rangka (*truss bridge*), jembatan pelengkung (*arc bridge*), jembatan gantung (*suspension bridge*) dan jembatan kabel (*cable stayed bridge*). Untuk lebih jelas mengenai penentuan jenis jembatan berdasarkan panjang bentang dapat di lihat pada Gambar 2.1 di bawah ini :



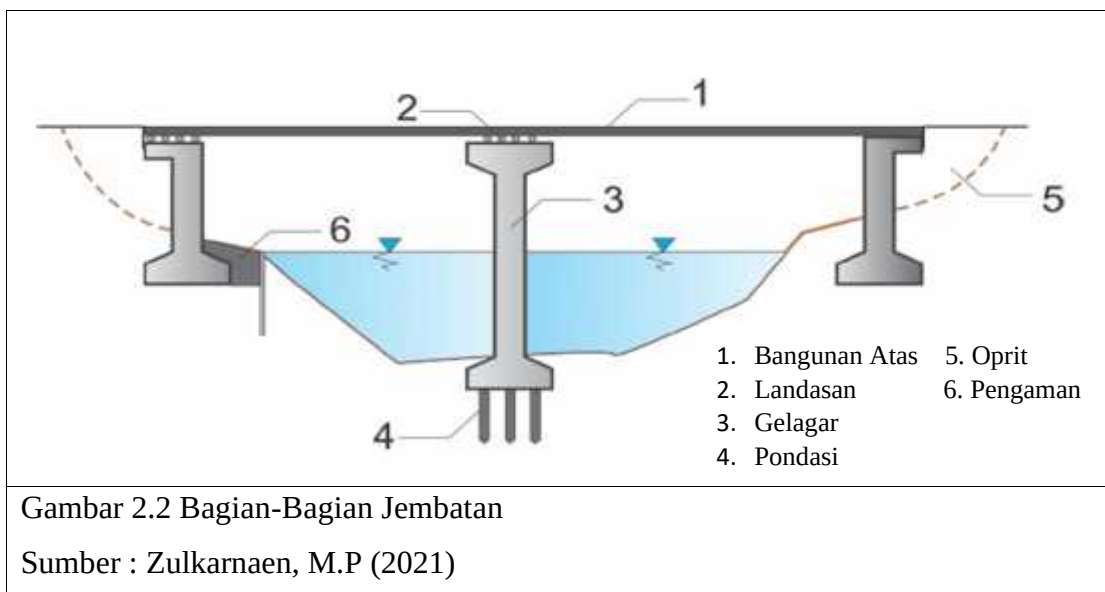
Apabila tidak direncanakan secara khusus, maka dapat digunakan bangunan atas jembatan standar Bina Marga seperti :

- Box Culvert (single, double, triple)* bentang 1 s.d 10 m
- Voided Slab (Plank)* bentang 6 s.d 16 m
- Gelagar Beton Bertulang Tipe T bentang 6 s.d 25 m
- Gelagar Beton Pratekan Tipe I dan *Box* bentang 16 s.d 40 m
- Gelagar Komposit Tipe I dan *Box* bentang 20 s.d 40 m
- Rangka Baja Bentang 40 s.d 60 m.

2.3 Bagian – Bagian Jembatan

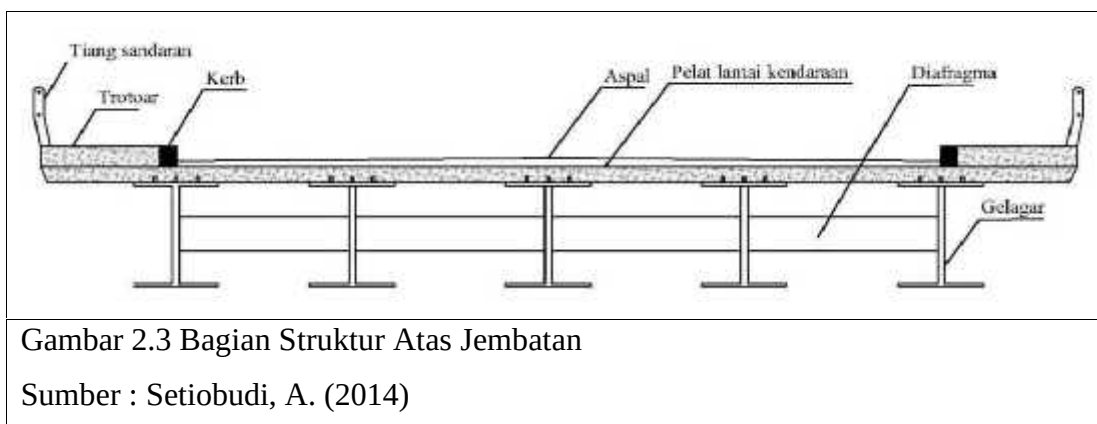
Zulkarnaen, M.P. (2021) menjelaskan secara garis besar konstruksi jembatan terdiri dari dua komponen utama yaitu: bangunan struktur atas (*upper structure*) dan bangunan struktur bawah (*sub structure*). Struktur atas merupakan bagian jembatan

yang menerima langsung beban yang bekerja diatasnya, meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki dan lain sebagainya. Sedangkan struktur bawah berfungsi untuk menerima beban dari struktur atas dan kemudian menyalurkan ke pondasi. Beban-beban tersebut kemudian disalurkan ke tanah. Suatu bangunan jembatan pada umumnya terdiri dari 6 bagian pokok, yaitu dapat di lihat pada Gambar 2.2 di bawah ini :



2.4 Struktur Atas Jembatan (*Upper Structure*)

Setiobudi, A. (2014) menjelaskan bahwa bagian-bagian dari struktur atas jembatan terdiri dari trotoar, lantai kendaraan, gelagar, diafragma dan tumpuan. Bagian-bagian struktur atas jembatan dapat di lihat pada Gambar 2.3 di bawah ini :



1. Trotoar

Trotoar pada jembatan merupakan komponen yang berada di kedua tepi samping lajur lalu lintas. Trotoar berfungsi sebagai pijakan pejalan kaki yang melalui jembatan. Berikut ini bagian – bagian pada trotoar :

a. Tiang sandaran dan sandaran

Berfungsi sebagai penyangga dan pembatas lebar dari jembatan tersebut agar pejalan kaki yang melewati merasa aman.

b. *Kerb*

Trotoar umumnya diberi *kerb* agar mempunyai pembatas antar jalur kendaraan dengan pejalan kaki dengan tujuan memberi rasa aman.

c. Pelat lantai trotoar

Sebagai jalur yang bisa dilalui pejalan kaki pada jembatan.

2. Lantai kendaraan

Lantai kendaraan merupakan bagian dari konstruksi jembatan yang memikul beban akibat lajur lalu lintas secara langsung untuk kemudian disalurkan kepada konstruksi di bawahnya. Lantai kendaraan untuk jembatan komposit ditopang oleh gelagar memanjang dan diperkuat oleh diafragma.

3. Gelagar

Gelagar adalah suatu struktur horizontal yang kaku dan terletak atas 2 tumpuan atau lebih. Beban mati dan beban lalu lintas akan diterima oleh lantai dan didistribusikan ke gelagar. Gelagar akan mengalami gaya tarik (*tension*) pada posisi bawah dan tekan (*compression*) pada sisi atas, selanjutnya beban diteruskan ke struktur *abutment*/pilar jembatan.

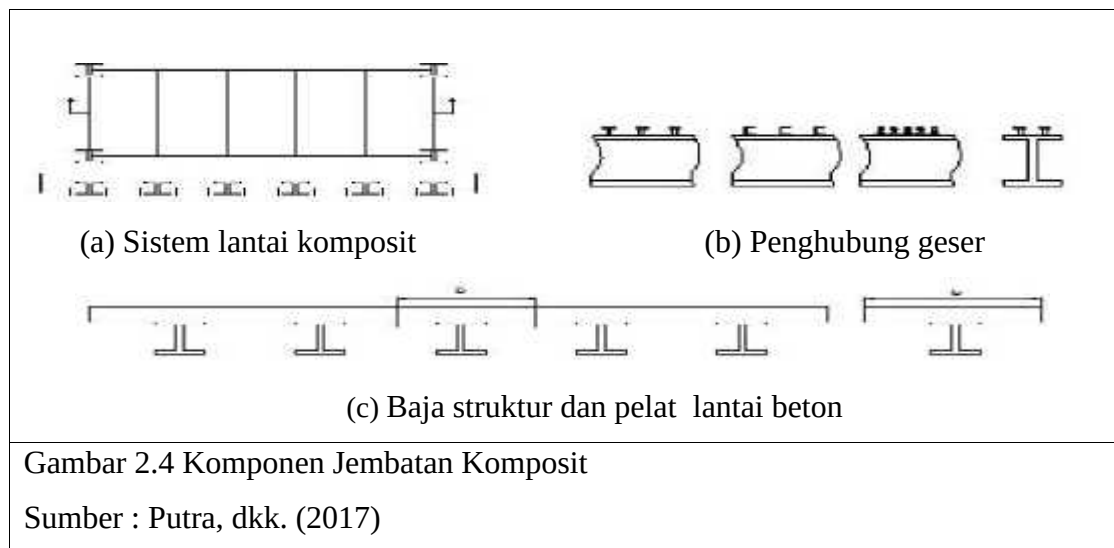
4. Diafragma

Diafragma merupakan elemen yang ditempatkan pada elemen lain atau pada sistem *super structure* untuk mendistribusikan gaya-gaya serta untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan sistem. Gelagar diafragma berperilaku sebagai balok

horizontal untuk menahan gaya lateral dan gaya-gaya *unbalance* yang terjadi di sepanjang bentang melintang gelagar.

2.5 Jembatan *Girder* Baja Komposit

Putra, dkk. (2017) menjelaskan struktur komposit adalah penggabungan antara dua material atau bisa lebih dengan sifat bahan yang tidak sama kemudian berpadu menjadi satu kesatuan. Gelagar komposit yang di maksudkan disini merupakan gabungan antara balok baja (gelagar utama) dengan lantai beton, untuk menjadi satu kesatuan yang utuh maka diberikan penghubung geser (*shear connector*) sehingga gabungan keduanya dapat bersama-sama menahan gaya-gaya yang bekerja. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 2.4 di bawah ini :



Dari gambar di atas dapat dijelaskan gelagar sebagai tumpuan pelat lantai kendaraan ke arah memanjang, biasanya dipakai profil I WF. Selain itu gelagar diafragma yang merupakan gelagar dengan arah melintang sebagai pengikat dan perkakuan biasanya dipakai profil I, L, C, *double* L, dan *double* C.

2.6 Pembebanan Pada Jembatan

Dalam perencanaan struktur jembatan secara umum, khususnya jembatan komposit, hal yang perlu sekali diperhatikan adalah masalah pembebanan yang akan

bekerja pada struktur jembatan yang akan direncanakan. Peraturan pembebanan jembatan menggunakan SNI 2016. Tabel kombinasi pembebanan dapat di lihat pada Lampiran B.1 halaman 50.

2.6.1 Beban Mati

Andekenro, A. (2019) menjelaskan beban mati yaitu semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Beban mati terdiri dari Berat Sendiri (MS) dan Beban Mati Tambahan/*Utilitas*. Berat sendiri merupakan berat sendiri pelat dan sistem struktur lainnya yang dipikul langsung oleh tiap-tiap gelagar jembatan, sedangkan beban mati tambahan terdiri dari berat *kerb*, trotoar, tiang sandaran dan elemen pendukung lainnya yang dipasang setelah pelat dicor. Beban tersebut dapat dianggap terbagi secara merata pada gelagar. Faktor berat sendiri dan beban mati tambahan dapat di lihat pada Lampiran B.2, B.3 dan B.4 halaman 50 dan 51.

2.6.2 Beban Lalu Lintas

Sebuah pendapat lain di kemukakan oleh Andekenro, A. (2019) beban lalu lintas yaitu semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

1. Beban Truk “T”

Beban truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as, berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut dapat berubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan (Badan Standarisasi Nasional (2016). Tabel pembebanan truk dapat dilihat pada Lampiran B.5 halaman 51 dan gambar pembebanan truk dapat di lihat pada Lampiran A.4 halaman 48.

2. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis terpusat (BGT) dan jumlah lajur lintas rencana (Badan Standarisasi Nasional (2016)). Tabel beban lajur “D” dapat di lihat pada Lampiran B.6 halaman 52 dan gambar bebanan lajur “D” dapat di lihat pada Lampiran A.3 halaman 48.

Beban BTR mempunyai intensitas “q” yang besarnya bergantung pada panjang total jembatan yang dibebani “L”, seperti berikut :

$$L < 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$L > 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 (0,5 + 15 / L) \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

q = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

2.6.3 Faktor Beban Dinamis (FBD)

Andekenro, A. (2019) menjelaskan Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan beban utimit. Gambar untuk FBD dapat di lihat pada Lampiran A.5 halaman 49.

2.6.4 Gaya Rem

Hasadungan, H.I. (2020) menjelaskan bekerjanya gaya-gaya diarah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut di tempatkan disemua lajur rencana, gaya rem harus di asumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan lantai kendaraan. Faktor kepadatan lajur yang telah ditentukan berlaku untuk menghitung gaya rem.

2.6.5 Pembebanan untuk Pejalan Kaki

Sebuah pendapat lain di kemukakan oleh Hasadungan, H.I. (2020) Jembatan penyeberangan yang menerima beban akibat pejalan kaki dan unsur-unsur komponen dari trotoar yang memiliki lebar 600 mm, intensitas sebesar 5kPa untuk beban pejalan kaki. Kemudian untuk trotoar ketika di masa depan akan berubah fungsi maka beban hidup kendaraan yang ditetapkan harus berjarak 250 mm dari tepi dalam parapet.

2.7 Kombinasi Pembebanan

Ardi, dkk. (2021) menjelaskan dalam perencanaan jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan dan aspek layan dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi dan estetika. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar. Nilai kombinasi pembebanan dapat di lihat pada Lampiran B.1 halaman 50.

1. Keadaan batas daya layan

Keadaan batas daya layan disyaratkan dalam perencanaan dengan dibatasi pada tegangan, deformasi dan lebar retak pada kondisi pembebanan layan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencananya.

2. Keadaan batas kekuatan (ultimit)

Keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan yaitu : untuk memastikan adanya kekuatan dan kestabilan jembatan yang memadai, baik yang sifatnya lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statistik mempunyai kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama masa layan jembatan. Pada keadaan batas ini, dapat terjadi kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktural, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih terjaga.

2.8 Desain Girder Baja Komposit

Allan, dkk. (2021) menjelaskan sebelum jembatan menjadi aksi komposit, pelat beton sebagai beban dan *girder* menahan berat sendiri, beban pekerja, pelat beton

dan peralatan. Kemudian, setelah menjadi aksi komposit, pelat beton menahan roda kendaraan dan sebagai penahan gaya aksial tekan dari momen kopel. Sedangkan *girder*, pada *flens* bawah penahan gaya aksial tarik dari momen kopel dan *flens* bawah sebagai dukungan dari *shear connector*. *Shear connector* berfungsi sebagai pengikat pelat beton dengan *girder*.

2.8.1 Perencanaan Kekuatan Struktur Pelat Lantai Beton Bertulang

Pelat lantai merupakan komponen jembatan yang memiliki fungsi utama untuk mendistribusikan beban sepanjang potongan melintang jembatan. Kekuatan lentur dari beton bertulang sebagai komponen jembatan direncanakan dengan cara *ultimate* atau cara perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor.

1. Kuat Lentur

Bagan alir perencanaan pelat lantai terhadap lentur lebih rinci dijelaskan pada Lampiran A.1.1 halaman 39. Pada penulangan pelat lantai diperlukan tulangan susut atau sering disebut dengan tulangan bagi. Fungsi dari tulangan susut atau tulangan bagi adalah menjaga kedudukan tulangan pokok supaya tidak berubah dari tempat semula pada saat pengecoran dilakukan. Jumlah tulangan diambil sebagai persentase dari tulangan utama dengan ketentuan sebagai berikut :

a. Tulangan pokok sejajar arah lalu lintas.

$$\text{Persentase} = \frac{5}{\sqrt{l}} \text{ (maksimal 50 \%, minimal 30 \%)} \dots\dots\dots(2.3)$$

b. Tulangan pokok tegak lurus arah lalu lintas

$$\text{Persentase} = \frac{1}{\sqrt{l}} \text{ (maksimal 67 \%, minimal 30 \%)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

l adalah jarak antar gelagar.

Jarak tulangan tidak boleh lebih dari 1,5 kali tebal pelat dan 450 mm.

2. Kuat Geser dan *Punching Shear*

Kekuatan pelat lantai terhadap geser harus ditentukan berdasarkan bidang kritis pelat, bidang kritis merupakan bidang kontak beban (roda truk) dengan pelat. Bidang kritis geser berada pada jarak *d/2* dari muka beban.

Kekuatan pelat lantai terhadap geser dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = \left(0,17 + \frac{0,3}{\beta}\right) \sqrt{f'c} U \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V_{n-\text{maks}} = 0,33 \sqrt{f'c} U \dots\dots\dots(2.6)$$

Tahanan geser nominal harus lebih kecil dari tahanan geser maksimum ($V_n \leq V_{n-\text{maks}}$).

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

U = Keliling penampang kritis geser (mm)

d_e = Tinggi geser efektif (mm)

$f'c$ = Tekan beton untuk keperluan desain (MPa)

V_n = Tahanan geser nominal (kN)

V_u = Gaya geser terfaktor (kN)

2.8.2 Perencanaan *Girder* Komposit

Unsur komposit dalam lentur terdiri dari gelagar baja dan lantai beton, tahanan geser pada permukaan antara lantai dan gelagar diadakan dengan hubungan mekanikal.

1. *Preliminary Design Girder*

Tebal pelat, lebar *flens* (b_{tf}) dan tebal flens (t_{tf}) harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$\frac{D}{t} \leq 150 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$b_{tf} \geq \frac{D}{6} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$t_{tf} \geq 1,1 \times t_w \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

D = Tinggi *Girder* (mm)

t_w = Tebal *Web* (mm)

b_{tf} = Lebar *flens* (mm)

t_{tf} = Tebal *flens* (mm)

2. Penentuan Lebar Efektif

Lebar efektif *slab* beton ditentukan dari nilai terkecil berikut ini :

$$L/5 \text{ atau } L/7 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$S \dots\dots\dots(2.12)$$

$$12 \times t_s \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

L = Panjang bentang (mm)

S = Jarak antar gelagar (mm)

t_s = Tebal Slab (mm)

3. Syarat Kelangsingan Profil

Syarat kelangsingan profil terdiri dari 2 jenis yaitu kompak dan tidak kompak. *Girder* baja yang digunakan termasuk kategori kompak apabila nilai kelangsingan sayap $\lambda_f < \lambda_p$ dan kelangsingan badan $\lambda_w < \lambda_p$, termasuk kategori tidak kompak apabila $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$:

- Persyaratan kelangsingan profil

Kelangsingan pelat badan (λ_w) dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\lambda_f = \frac{b}{2t} \dots\dots\dots(2.14)$$

Nilai maksimum kelangsingan sayap untuk penampang kompak dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_p = \frac{1}{\sqrt{J}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

λ_f = Kelangsingan sayap

λ_p = Kelangsingan pelat sayap

b_f = Lebar sayap

t_f = Tebal sayap

- Persyaratan kelangsingan badan

Kelangsingan pada pelat badan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\lambda_w = \frac{D}{t} \dots\dots\dots(2.16)$$

Kelangsingan pelat badan maksimum untuk penampang kompak dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_p = \frac{1}{\sqrt{f}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

λ_w = Kelangsingan badan

λ_p = Kelangsingan pelat badan

b_w = Lebar badan

t_w = Tebal badan

4. Momen Lentur

$$M_n = [M_p \cdot (1,07 - 0,7 \cdot \frac{D}{d})] \dots \dots \dots (2.18)$$

Syarat : $M_u \leq \phi M_n$

5. Gaya Geser

$$V_n = 0,58 f_y \times D \times t_w \dots \dots \dots (2.19)$$

Syarat : $V_u \leq \phi V_n$

2.8.3 Perencanaan *Shear Connector*

Fungsi dari *shear connector* adalah untuk menahan/menghindari terangkatnya pelat lantai beton sewaktu dibebani.

1. Perencanaan untuk geser memanjang

Gaya geser memanjang rencana per satuan panjang V_L , harus memenuhi :

$$V_L \leq \phi V_{LS} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$V_{LS} = 0,55 n V_{su} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi

n = jumlah penghubung geser persatuan panjang

V_{su} = kekuatan geser statik dari penghubung (N)

2. Perencanaan untuk geser dan tarik antar permukaan

- Gaya geser total rencana antar permukaan per satuan panjang pada Keadaan Batas Ultimit memenuhi :

$$V_L < \phi n \left(V - \frac{N}{\phi \sqrt{3}} \right) \dots \dots \dots (2.22)$$

- Ketentuan fatik harus terpenuhi untuk umur rencana struktur. Nilai gaya geser longitudinal rencana, V yang digunakan untuk perhitungan batas variasi geser harus diambil sesuai rumus berikut ini :

$$V = \sqrt{(V^2)} + \left(\frac{N}{3}\right)^2 \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi

n = jumlah penghubung geser persatuan panjang

V_{SU} = kekuatan geser statik dari penghubung (N)

N = tarik aksial rencana persatuan panjang pada keadaan batas ultimit (N/m)

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu referensi dasar ketika melaksanakan sebuah penelitian. Penelitian terdahulu memiliki fungsi untuk memperluas dan memperdalam teori yang akan dipakai dalam kajian penelitian yang akan dilakukan seperti pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Hasil Penelitian
1.	Analisis Balok Plate Girder Pada Jembatan Baja Girder Komposit Cindai Alus Kecamatan Martapura	Munawirin,Eka Purnamasari, Akhmad Gazali, Fathurrahman, Hendra Cahyadi, Robiatul Adawiyah (2021)	Berdasarkan hasil penelitian ini, jembatan mampu menampung berat beban yang diberikan, <i>plate girder</i> dalam menahan beban maksimum yang diberikan.
2.	Desain Girder Jembatan Sungai Terkul Menggunakan Struktur Komposit Berdasarkan Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus : Kelurahan	Alamsyah, Dede Ariyanti (2021)	Dari hasil penelitian, perhitungan momen lentur diperoleh $\phi M_n = 10549,47 \text{ kN}$ dimana nilai $\phi M_n > M_u = 8836,24 \text{ kN}$, sehingga gelagar komposit aman dalam menahan gaya lentur. Kemudian gaya geser diperoleh

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Penulis	Hasil Penelitian
2.	Terkul, Kecamatan Rupat)		$\phi V_n = 5313,6$ kN dimana nilai $\phi V_n > V_u = 838,7$ kN sehingga gelagar komposit aman dalam menahan gaya lentur.
3.	Penanganan Jembatan Pelat Girder yang Mengalami Defleksi yang Besar Setelah Pengecoran Pelat Lantai	Muttaqin Hasan, Mahlil dan Muhammad Jamil (2020)	Berdasarkan hasil penelitian, dilakukan analisis struktur dan diperoleh penyebab pelat girder mengalami defleksi yang besar dan tegangan berlebih (<i>over stress</i>) adalah karena kurangnya tinggi total penampang pelat girder.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

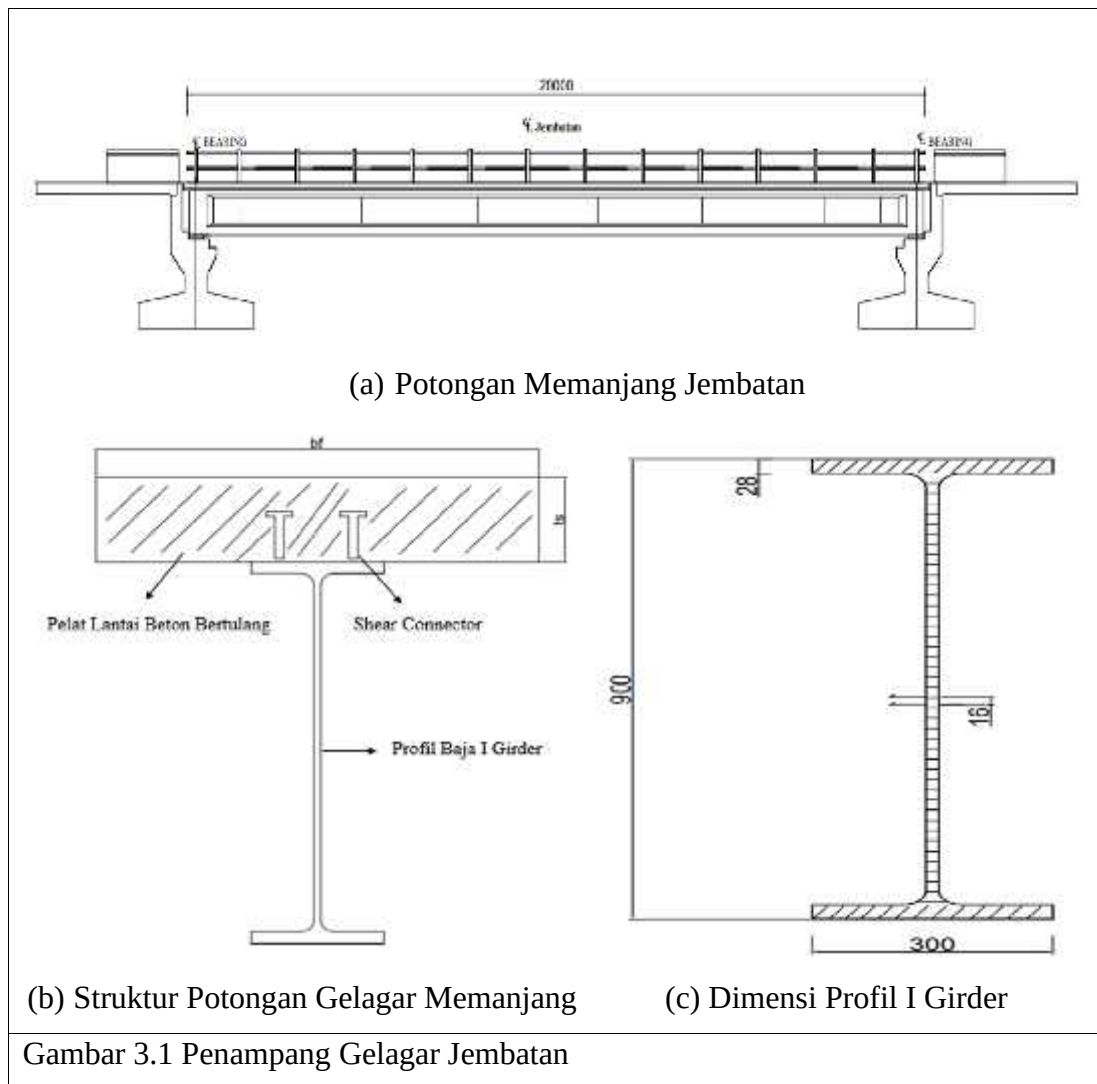
Metodologi penelitian ini terdiri dari analisis dan pemodelan struktur jembatan disertai proses pengumpulan data yang terdiri dari data sekunder. Data sekunder berupa Laporan Perencanaan Teknik (DED) Jembatan Nasional Provinsi Aceh (Paket-15/2021) dan Gambar Rencana. Adapun bagan alir penelitian dapat di lihat pada Lampiran A.1 halaman 37.

3.1 Objek dan Lokasi Penelitian

Objek tinjauan pada penelitian hanya difokuskan pada perencanaan struktur pelat lantai pada jembatan Alue Pange yang berada di ruas jalan Geumpang-Pameu dengan posisi jembatan berdasarkan koordinat pada Website PUSJATAN untuk Latitude : 4.750668 dan Longitude : 96.359399. Adapun peta lokasi penelitian dapat di lihat pada Lampiran A.2.1 halaman 41.

3.2 Data Perencanaan Jembatan

Jembatan Alue Pange merupakan tipe jembatan *girder* baja komposit yaitu berupa gelagar baja dan pelat beton. Jembatan ini direncanakan dengan panjang bentang 20 meter, lebar lantai kendaraan 8,0 meter dan trotoar pada masing-masing sisi kanan dan kiri selebar 1,0 meter, untuk mutu material yang digunakan yaitu pada beton sebesar 30 MPa dan pada tulangan baja 420 MPa, sedangkan modulus elastisitas beton sebesar 25.742,96 MPa dan baja 200.000 MPa. Untuk profil baja yang digunakan yaitu I.900.300.16.28. Data-data tersebut digunakan sebagai bahan atau acuan dalam perencanaan jembatan, karena parameter-parameter tersebut yang menentukan awal mulanya perencanaan, untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Lampiran B.8 halaman 53. Berikut ini akan dideskripsikan pada Gambar 3.1 di bawah ini :

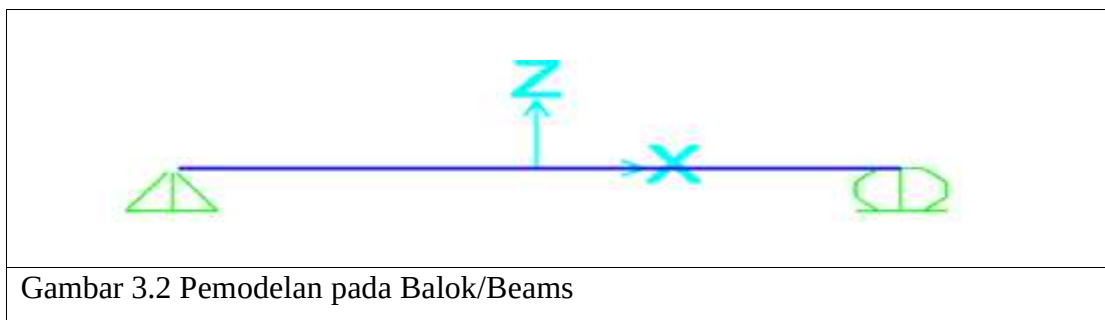


Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa jembatan komposit merupakan gabungan antara pelat beton dan gelagar berupa baja, untuk menggabungkan material beton dan baja maka digunakan alat penghubung atau biasanya disebut dengan *shear connector*.

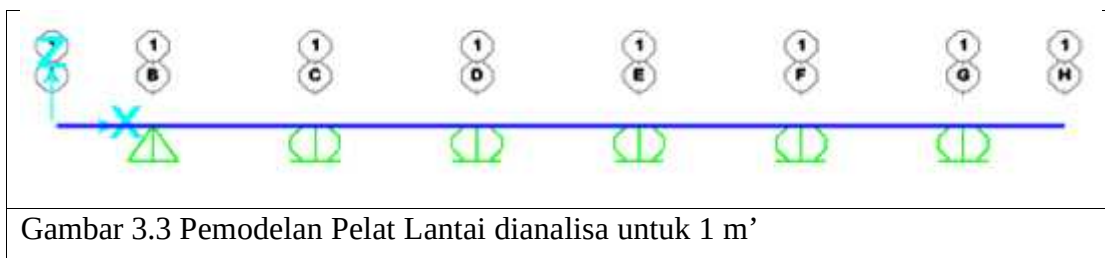
3.3 Pemodelan Struktur

Struktur yang ditinjau dibatasi untuk struktur bangunan atas (*upper structure*) yang terdiri dari gelagar komposit baja beton, sedangkan tiang sandaran, trotoar dan komponen beban mati/beban tetap seperti aspek yang berada di atasnya dianggap

sebagai beban. Pemodelan pada jembatan tersebut dapat dianalisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22. Komponen yang akan dimodelkan adalah *girder* baja komposit dan pelat lantai jembatan dengan tumpuan sendi pada sisi kiri jembatan dan rol pada sisi kanan, sedangkan pada perencanaan pelat lantai dimodelkan 1,60 meter jarak antar *girder* di sepanjang lebar kendaraan selebar 8 meter dengan tumpuan sendi dan rol serta lebar trotoar 1,0 meter pada sisi kiri dan kanan jembatan dengan ujung bebas (kantilever). Geometri struktur pelat lantai jembatan ditentukan berdasarkan arah sumbu koordinat global, yaitu arah sumbu X dan arah sumbu Z. Tahapan pemodelan struktur diawali dengan menentukan garis bantu (*grid lines*) yang berfungsi untuk memudahkan proses pemodelan struktur. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 3.2 di bawah ini :



Pada perencanaan pelat lantai dimodelkan secara terpisah yang dapat di lihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut :



3.4 Perhitungan Pembebanan

Pada perencanaan jembatan *girder* baja komposit beban dihitung dalam 2 kondisi yaitu perhitungan pelat jembatan yang dapat di lihat pada lampiran C.2 halaman 55 dan perhitungan *girder* baja komposit pada lampiran C.5 halaman 71.

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan menggunakan pedoman SNI (2016), merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian-bagian jembatan jalan raya. Beban-beban yang bekerja pada suatu jembatan berdasarkan Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI (2016) antara lain dikelompokkan menjadi :

1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri dan beban mati tambahan, yang diperhitungkan pada bangunan atas jembatan adalah berat gelagar, berat diafragma, berat pelat lantai, berat beton *barrier*, berat aspal, berat trotoar, dan berat *railing*. Perhitungan beban mati diperoleh dengan mengalikan volume beban dengan nilai berat jenis seperti yang tercantum pada Lampiran B.1 halaman 50.

2. Beban Hidup

Beban hidup yang dipakai dalam perencanaan jembatan ini adalah beban T yang merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan dan beban D merupakan beban jalur untuk gelagar yang dipergunakan untuk menghitung kekuatan gelagar jembatan. Beban D dihitung dengan menggunakan beban $q = 9,0 \text{ kN}$ dan besarnya beban garis P adalah $49,0 \text{ kN/m}$. Untuk beban T sebesar $112,5 \text{ kN}$.

3. Faktor Beban Dinamis

Pembebanan pada truk T faktor beban dinamis diambil sebesar 30% dengan Panjang bentang 20 meter. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Gambar FBD untuk beban T dan pembebanan lajur “D” dapat di lihat pada Lampiran A.5 halaman 49.

Beban-beban tersebut di input sesuai nilai perhitungan pada Lampiran C dan pada SAP2000 didefinisikan sebagai *load pattern* berupa beban mati gelagar, beban mati pelat, beban mati aspal awal, beban mati aspal *overlay*, beban *barrier*, beban *railing* dan beban trotoar. Lebih lanjut beban-beban pada *load pattern* tersebut kemudian dikelompokkan menjadi *load case* berupa MS, MA, TT dan TD.

3.5 Kombinasi Pembebanan

Tujuan dari perhitungan kombinasi pembebanan adalah untuk meninjau kemungkinan-kemungkinan muatan yang bekerja pada konstruksi jembatan, guna mengetahui kemungkinan tersebut dipakai beban pada kombinasi pembebanan terbesar. Beban jembatan pada aksi tetap terdiri dari beban sendiri dan beban mati tambahan, sedangkan beban lalu lintas terdiri dari beban T dan beban D dan beban dinamis diperoleh kombinasi beban sebagai berikut :

Kombinasi	Persamaan Kombinasi Pelat Lantai (Material Beton)	Persamaan Kombinasi Girder (Material Baja)
Kuat 1	1,3MS + 2MA + 1,8TT	1,1MS + 2MA + 1,8TD
Kuat 2	1,3MS + 2MA + 1,4TT	1,1MS + 2MA + 1,4TD
Kuat 3	1,3MS + 2MA	1,1MS + 2MA
Kuat 4	1,3MS + 2MA	1,1MS + 2MA
Kuat 5	1,3MS + 2MA	1,1MS + 2MA
Ekstrem	1,3MS + 2MA + 0,5TT	1,1MS + 2MA + 0,5TD
Layan 1	MS + MA + TT	MS + MA + TD
Layan 2	MS + MA + 1,3TT	MS + MA + 1,3TD
Layan 3	MS + MA + 0,8TT	MS + MA + 0,8TD
Layan 4	MS + MA	MS + MA
Fatik	0,75TT	0,75TD

Perbedaan kombinasi beban tersebut karena faktor beda material yang berpengaruh terhadap nilai γ_p . Pada beton nilai $\gamma_p = 1,3$ dan baja $\gamma_p = 1,1$.

3.6 Analisis Struktur

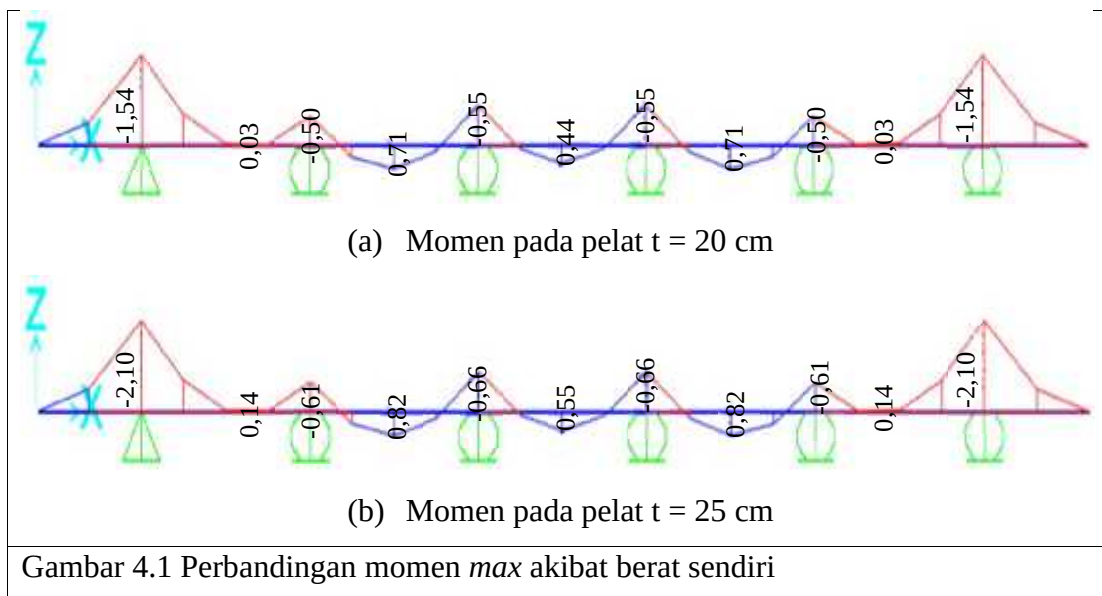
Berdasarkan input beban yang diperhitungkan pada pemodelan jembatan, maka berdasarkan kombinasi beban yang ditinjau diperoleh gaya dalam berupa momen, gaya geser dan lendutan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

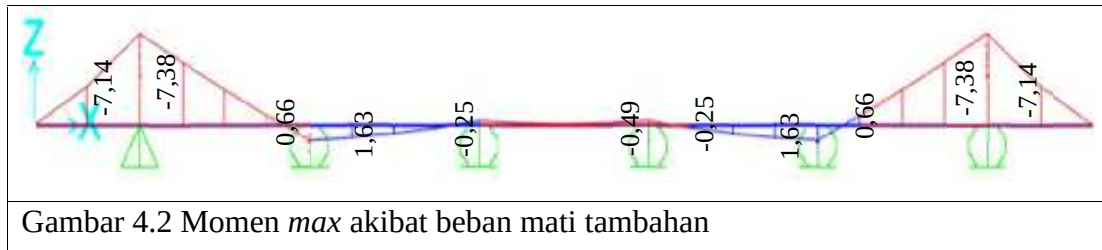
4.1 Hasil Perhitungan Pelat Lantai Jembatan

Perencanaan pelat lantai di desain berdasarkan beban yang bekerja pada pelat lantai tersebut, meliputi Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA) dan Beban Lalu Lintas Truk (TT) yang kemudian di hitung nilai kekuatannya untuk dapat menahan beban dan memberikan rasa aman dan nyaman pada pengguna jalan. Untuk mendapatkan hasil momen dari berat sendiri, beban mati tambahan dan beban lalu lintas truk pada pelat lantai digunakan program SAP2000 v22. Gambar hasil momen dari berat sendiri yang diperoleh dapat di lihat pada Gambar 4.1 di bawah ini :



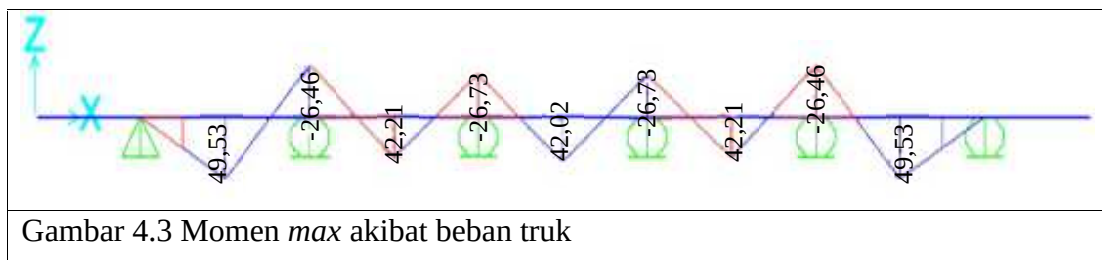
Momen yang digunakan untuk perencanaan adalah momen yang terbesar. Sehingga dari Gambar 4.1 diperoleh momen terbesar pada tumpuan dengan tebal pelat lantai $t = 20$ cm sebesar 1,54 kN/m dan pelat $t = 25$ cm sebesar 2,10 kN/m. Berdasarkan SNI 1725-2016 Standar Pembebanan untuk Jembatan, faktor beban untuk berat sendiri adalah 1,3.

Pada beban mati tambahan gambar dan perhitungan pembebanannya dapat di lihat pada Lampiran C.2 halaman 55, sedangkan hasil momen yang diperoleh dapat di lihat pada Gambar 4.2 di bawah ini :



Momen yang digunakan untuk perencanaan adalah momen yang terbesar. Sehingga dari Gambar 4.2 diperoleh momen terbesar pada tumpuan sebesar 7,38 kN/m. Berdasarkan SNI 1725-2016 Standar Pembebanan untuk Jembatan, faktor beban untuk beban mati tambahan adalah 2.

Untuk perhitungan pembebanan lalu lintas truk dapat di lihat pada Lampiran C.2 halaman 58, sedangkan momen yang dihasilkan dapat di lihat pada Gambar 4.3 di bawah ini :



Momen yang digunakan untuk perencanaan adalah momen yang terbesar. Sehingga dari Gambar 4.3 diperoleh momen terbesar sebesar 49,53 kN/m. Berdasarkan SNI 1725-2016 Standar Pembebanan untuk Jembatan, faktor beban untuk beban lalu lintas truk adalah 1,8.

Setelah terjadinya perubahan ketebalan pelat lantai dari pelat $t = 25$ cm menjadi pelat $t = 20$ cm, maka momen yang dihasilkan hanya berpengaruh pada berat sendiri pelat yaitu terjadi pengurangan momen *max*, sedangkan pada beban mati

tambahan dan beban lalu lintas truk menghasilkan nilai momen yang sama. Untuk lebih jelasnya rekapitulasi nilai momen *max* dapat di lihat pada Tabel 4.1 di bawah ini :

Tabel 4.1 Rekapitulasi Momen *max* pada Pelat Lantai

No.	Jenis Beban	Momen (kN/m)	
		Pelat (t) = 20 cm	Pelat (t) = 25 cm
1.	Berat Sendiri (MS)	1,54	2,10
2.	Beban Aspal Awal (MA)	0,13	0,13
3.	Beban Mati Tambahan (MA ₁)	7,38	7,38
4.	Beban Lalu Lintas Truk (TT)	49,53	49,53

Dari hasil momen-momen *max* tersebut, maka akan diperoleh persamaan dari kombinasi pembebanan akibat Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), Beban Aspal Awal (MA₁) dan Beban Lalu Lintas Truk (TT). Berikut ini persamaan kombinasi pembebanan pada pelat lantai dapat di lihat pada Tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.2 Momen ytb pada Pelat Lantai

Kombinasi Pembebanan	Persamaan Faktor Beban	Momen (kN.m/m)	
		t = 20 cm	t = 25 cm
Kuat I	$1,3.MS + 1,2.MA + 2.MA_1 + 1,8.TT$	74,81	75,54
Kuat II	$1,3.MS + 1,2.MA + 2.MA_1 + 1,4.TT$	61,94	62,67
Kuat III	$1,3.MS + 1,2.MA + 2.MA_1$	16,92	17,65
Kuat IV	$1,3.MS + 1,2.MA + 2.MA_1$	16,92	17,65
Kuat V	$1,3.MS + 1,2.MA + 2.MA_1$	16,92	17,65
Ekstrem	$1,3.MS + 1,2.MA + 2.MA_1 + 0,5.TT$	33,00	33,73
Layan I	$1,0.MS + 1,0.MA + 1,0.MA_1 + 1,0.TT$	41,21	41,77
Layan II	$1,0.MS + 1,0.MA + 1,0.MA_1 + 1,3.TT$	50,86	51,42
Layan III	$1,0.MS + 1,0.MA + 1,0.MA_1 + 0,8.TT$	34,78	35,34
Layan IV	$1,0.MS + 1,0.MA + 1,0.MA_1$	9,05	9,61
Fatik	$0,75.TT$	24,12	24,12

Dari tabel di atas maka diperoleh momen ultimit pada kombinasi Kuat I. Momen ultimit merupakan momen maksimum dari persamaan kombinasi akibat faktor beban, sehingga pada tebal pelat t = 20 cm sebesar 74,81 kN.m dan pelat t =

25 cm sebesar 75,54 kN.m. Pada perbandingan momen ultimit dari pelat $t = 25$ cm menjadi pelat $t = 20$ cm mengalami penurunan nilai momen maksimum akibat perubahan ketebalan pelat yang terjadi pada berat sendiri.

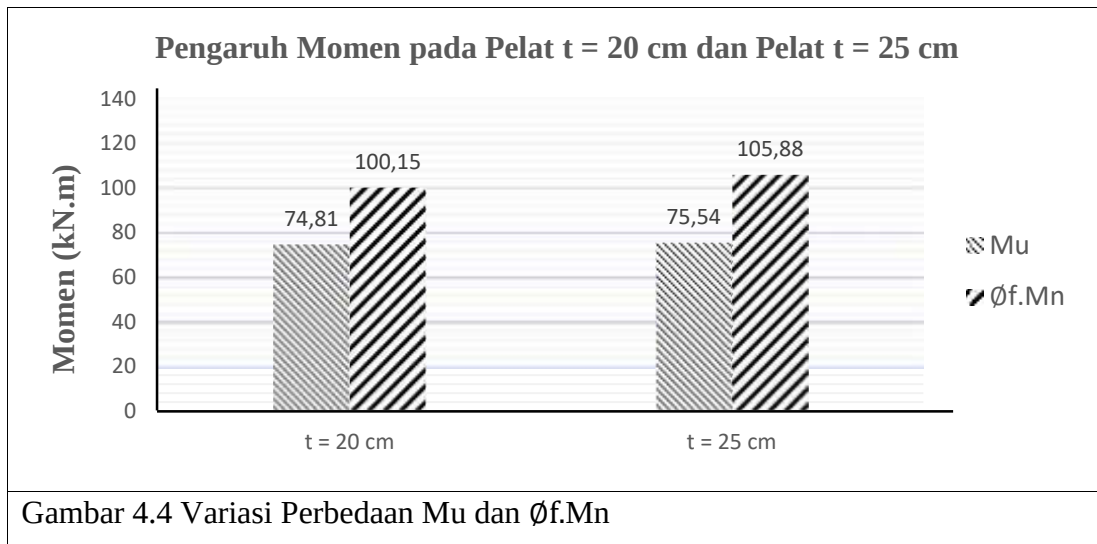
Momen ultimit digunakan untuk menghitung tulangan pelat, dimana tulangan pelat terdiri dari tulangan lentur, tulangan pembagi dan geser pada pelat (*punching shear*). Pada saat melakukan perhitungan, harus memenuhi dengan persyaratan yang telah ditentukan, sehingga akan didapatkan jumlah tulangan yang sesuai dengan persyaratan. Perhitungan tulangan lantai jembatan dapat di lihat pada Lampiran C.3 halaman 63, sedangkan hasil rekapitulasi perhitungan tersebut dapat di lihat pada Tabel 4.3 di bawah ini :

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Hasil Tulangan Pelat Lantai	Satuan/Unit	Variasi Ketebalan Pelat Lantai	
		Pelat $t = 20$ cm	Pelat $t = 25$ cm
M_u	kN.m	74,81	75,54
M_n	kN.m	111,28	117,64
$M_r = \phi \cdot M_n$	kN.m	100,15	105,88
M_{cr}	kN.m	27,61	43,13
$1,33 M_u$	kN.m	99,50	100,47
$1,2 M_{cr}$	kN.m	33,13	51,76
Syarat : $M_r \geq 1,33 M_u$ $M_r \geq 1,2 M_{cr}$		Memenuhi	Memenuhi
V_u	kN	263,25	263,25
V_n	kN	739,10	1144,86
$V_r = \phi \cdot V_n$	kN	603,43	858,65
Syarat : $V_u > V_r$		Memenuhi	Memenuhi
Tulangan Longitudinal	mm	D16-120	D16-150
Tulangan Pembagi	mm	D16-200	D16-200

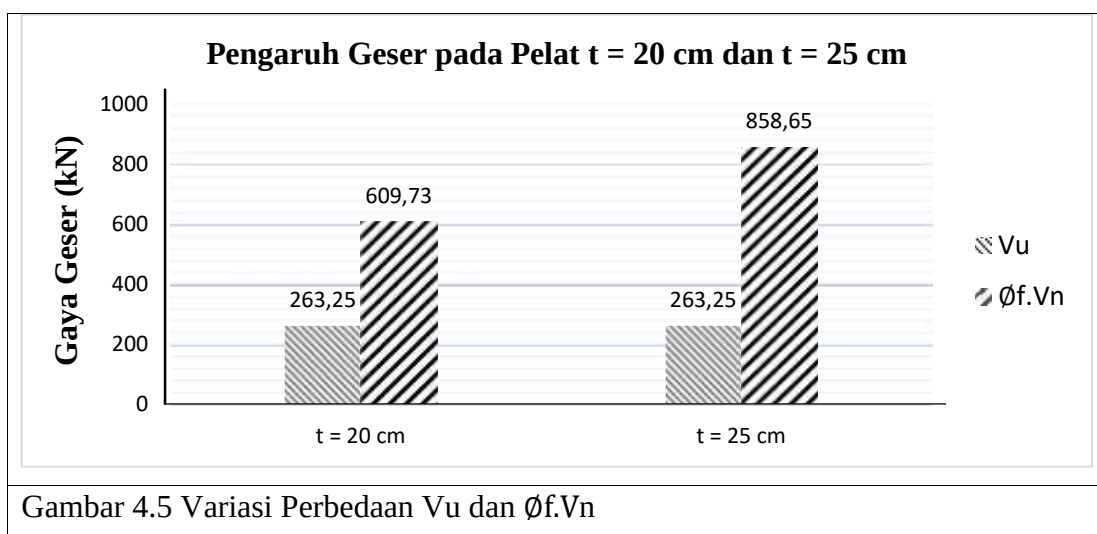
Dari hasil rekapitulasi perhitungan tulangan pelat lantai di atas, maka dapat disimpulkan bahwa setelah terjadinya perubahan ketebalan pelat lantai dari pelat $t = 25$ cm menjadi pelat $t = 20$ cm masih memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Akan tetapi untuk jumlah tulangan longitudinal sedikit terjadinya perubahan yaitu pada jarak tulangan dari jarak 150 mm berubah menjadi 120 mm. Untuk

perbandingan nilai M_u dan $\phi_f.M_n$ pada tebal pelat $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm dapat di lihat pada Gambar 4.4 di bawah ini :



Dari grafik di atas dapat diperoleh nilai M_u pada pelat $t = 20$ cm sebesar 74,81 kN.m dan pelat $t = 25$ cm sebesar 75,54 kN.m, sedangkan nilai $\phi_f.M_n$ pada pelat $t = 20$ cm sebesar 100,15 kN.m dan pelat $t = 25$ cm sebesar 105,88 kN.m. Pada pelat $t = 20$ cm nilai rasio kapasitas terhadap lentur sebesar $r = 1,339$ dan pada pelat $t = 25$ cm nilai rasio sebesar $r = 1,402$.

Perbandingan nilai gaya geser pada pelat (*punching shear*) dapat di lihat pada Gambar 4.5 di bawah ini :



Dari grafik di atas dapat diperoleh nilai V_u merupakan faktor akibat beban kendaraan truk sehingga pada pelat $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm menghasilkan nilai V_u sebesar 263,25 kN, untuk persamaannya dapat di lihat pada Lampiran C.2 halaman 65. Sedangkan nilai $\phi \cdot V_n$ pada pelat $t = 20$ cm sebesar 609,73 kN dan pelat $t = 25$ cm sebesar 858,65 kN. Pada pelat $t = 20$ cm nilai rasio kapasitas terhadap geser sebesar $r = 2,316$ dan pada pelat $t = 25$ cm nilai rasio sebesar $r = 3,262$.

4.2 Hasil Perhitungan Gaya Dalam Struktur *Girder* Baja Komposit

Berdasarkan analisa gaya dalam pada struktur *girder* baja komposit, maka diperoleh gaya dalam berupa momen (M), gaya geser (V) dan lendutan (Δ).

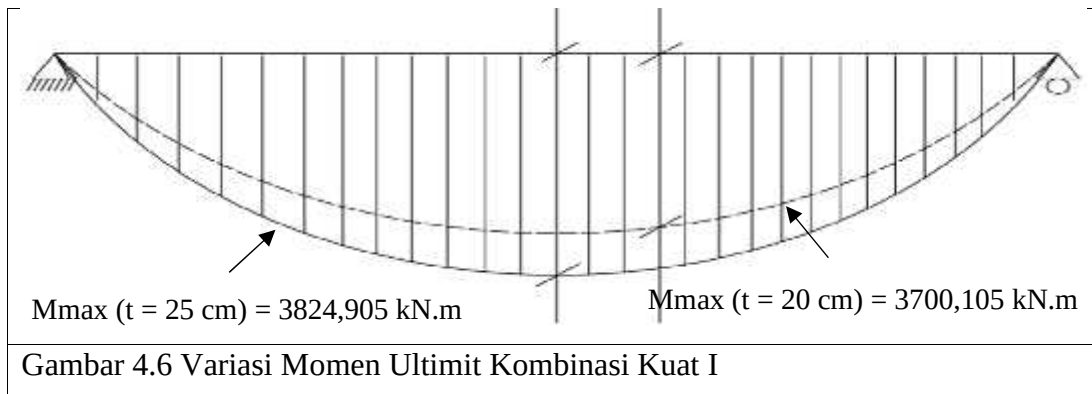
4.2.1 Momen Ultimit pada *Girder* Baja Komposit (M_u)

Pada saat perhitungan kapasitas penampang, diperlukan hasil dari momen ultimit yang didapat dari persamaan kombinasi pembebanan. Untuk menentukan persamaan kombinasi pembebanan tersebut digunakan gabungan antara material baja dan beton yang merupakan aksi komposit. Hasil persamaan kombinasi pembebanan tersebut akan diperoleh momen maksimum yang dapat di lihat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

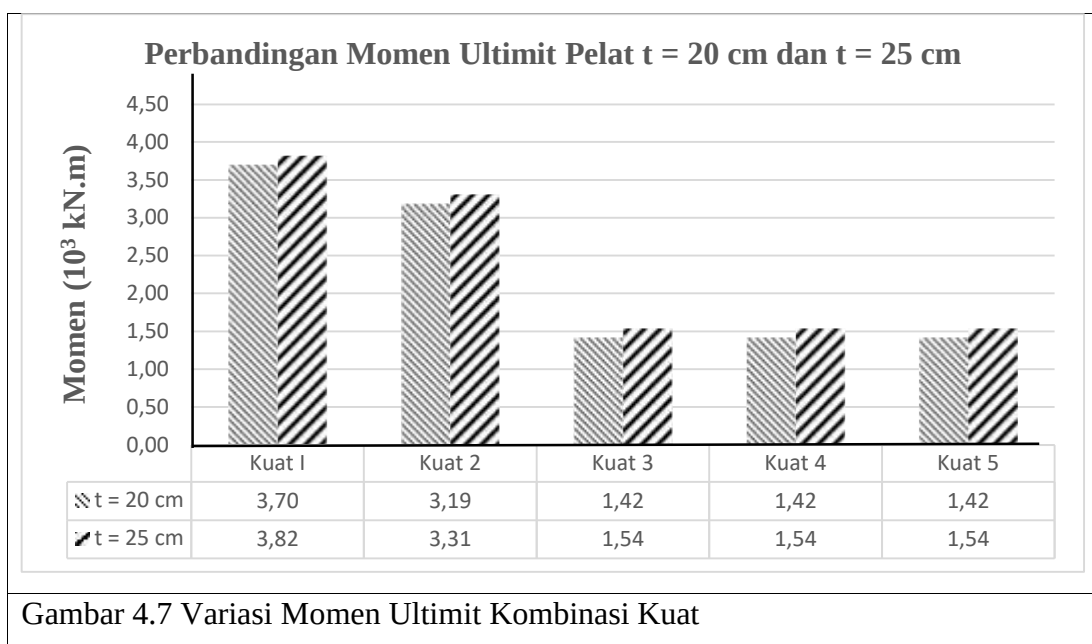
Tabel 4.4 Momen Pembebanan Baja Komposit

Kombinasi Pembebanan	Momen (kN.m)	
	Pelat $t = 20$ cm	Pelat $t = 25$ cm
Kuat I	3700,105	3824,905
Kuat II	3192,585	3317,385
Kuat III	1416,265	1541,065
Kuat IV	1416,265	1541,065
Kuat V	1416,265	1541,065
Ekstrem	2050,665	2175,465
Layan I	2195,716	2291,716
Layan II	2576,356	2672,356
Layan III	1941,956	2037,956
Layan IV	926,916	1022,916
Fatik	951,600	951,600

Dari hasil persamaan-persamaan kombinasi tersebut, maka diperoleh momen ultimit yaitu momen terbesar pada kombinasi Kuat I dan momen layan terbesar pada kombinasi Layan II. Pada persamaan kombinasi Kuat I dengan tebal pelat $t = 20$ cm diperoleh nilai $M_u = 3700,105$ kN.m dan pelat $t = 25$ cm nilai $M_u = 3824,905$ kN.m, Untuk perilaku momen ultimit dapat di lihat pada Gambar 4.6 di bawah ini :



Pada persamaan momen ultimit di atas digunakan untuk mengecek kekuatan dari struktur jembatannya. Persamaan kombinasi yang digunakan adalah momen maksimum antara kombinasi Kuat I, Kuat II, Kuat III, Kuat IV dan Kuat V. Untuk perbandingan nilai momen ultimit pada tebal pelat $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm lebih jelasnya akan dideskripsikan pada Gambar 4.7 di bawah ini :



Dari grafik di atas dapat dilihat nilai momen ultimit (M_u) pada tebal pelat lantai $t = 25$ cm lebih besar dibandingkan pelat $t = 20$ cm. Pada persamaan kombinasi Kuat III, Kuat IV dan Kuat V memiliki nilai momen ultimit yang sama besar, baik itu pada pelat $t = 20$ cm maupun pelat $t = 25$ cm. Hal ini dikarenakan pada kombinasi tersebut memiliki faktor beban yang sama.

4.2.2 Gaya Geser

Gaya geser yang diterima oleh *girder* akan didukung oleh bagian pelat badan. Keadaan yang menentukan adalah pada saat kondisi leleh dan tekuk lokal. Pelat badan termasuk penampang kompak sehingga mampu mencapai kondisi leleh tanpa mengalami tekuk lokal. Persyaratan kelangsingan badan agar kondisi leleh tercapai harus memenuhi syarat seperti penjelasan pada Lampiran C9. Halaman 94.

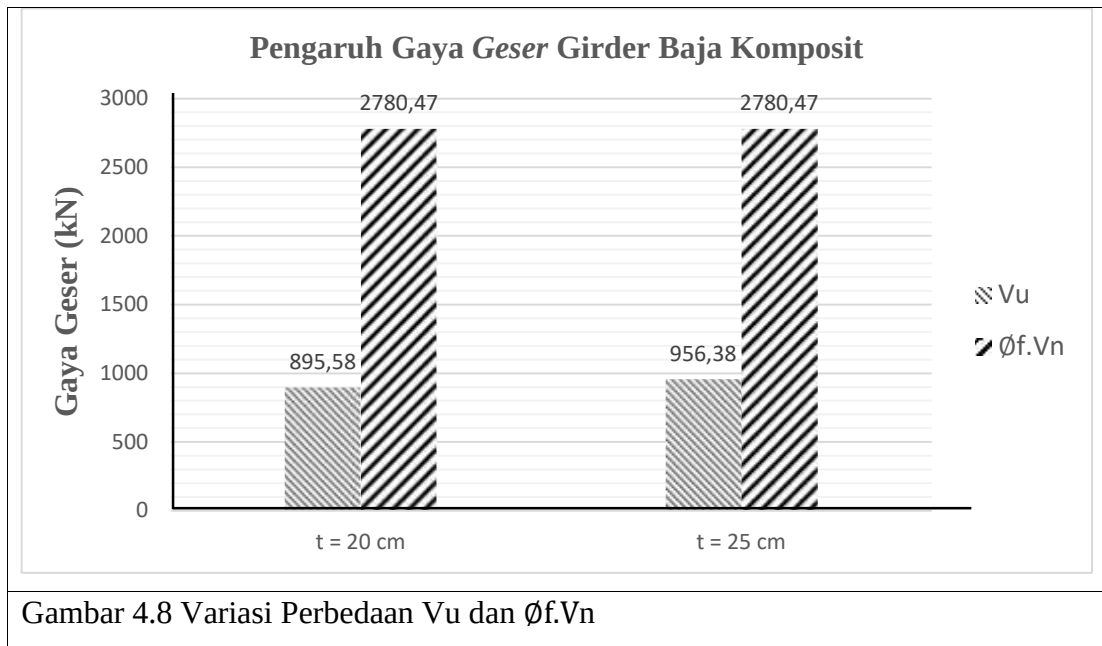
Gaya geser ultimit yang diperoleh akibat persamaan kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini :

Tabel 4.6 Gaya Geser Pembebanan Baja Komposit

Kombinasi Pembebanan	Gaya Geser (kN)	
	Pelat $t = 20$ cm	Pelat $t = 25$ cm
Kuat I	740,048	765,008
Kuat II	638,544	663,504
Kuat III	283,280	308,240
Kuat IV	283,280	308,240
Kuat V	283,280	308,240
Ekstrem	410,160	435,120
Layan I	439,160	458,360
Layan II	515,288	534,488
Layan III	388,408	407,608
Layan IV	185,400	204,600
Fatik	190,32	190,320

Pada Tabel 4.6 di atas merupakan hasil pembebanan pada persamaan kombinasi akibat gaya geser. Hasil gaya geser tersebut belum ditambahkan Faktor Beban Dinamis (FBD) pada truk, sedangkan pada gaya geser *girder* baja komposit terdapat penambahan Faktor Beban Dinamis (FBD) sehingga hasil analisis nilai gaya geser ultimit digunakan persamaan sesuai dengan Lampiran C.10 halaman 105.

Dari persamaan tersebut maka diperoleh nilai gaya geser ultimit pada pelat $t = 20$ cm sebesar $V_u = 895,58$ kN dan pelat $t = 25$ cm sebesar $V_u = 956,38$ kN yaitu persamaan menggunakan kombinasi Kuat I. Akibat gaya geser ultimit tersebut, maka diperoleh perbandingan antara nilai V_u dan $\phi_f.V_n$ seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 di bawah ini :



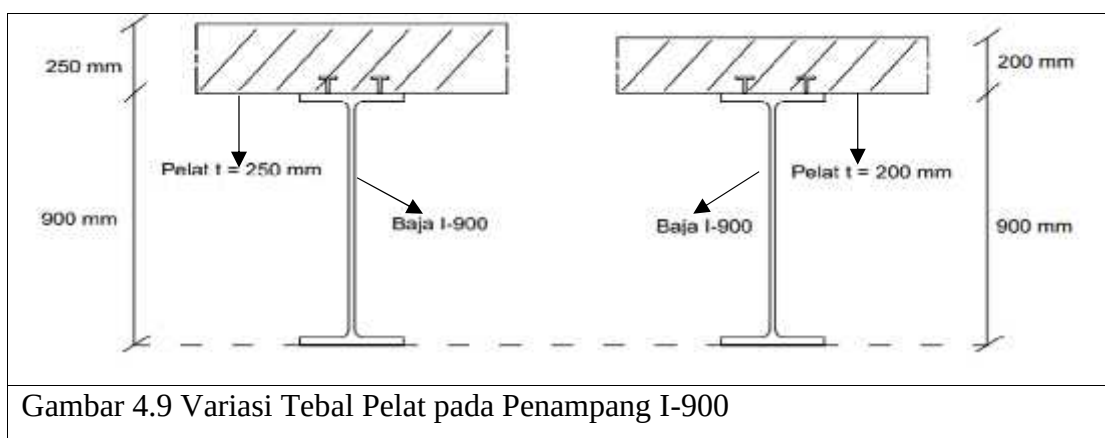
Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai dari $\phi_f.V_n$ untuk tebal pelat lantai $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm memiliki nilai yang sama besar yaitu sebesar 2780,47 kN, hal ini dikarenakan gaya geser nominal penampang di hitung antara tahanan tekuk geser terhadap tahanan leleh geser sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Untuk perhitungan nilai V_n pada *girder* baja komposit dapat dilihat pada Lampiran C.10 halaman 105. Pada pelat $t = 20$ cm nilai rasio kapasitas terhadap geser sebesar $r = 3,105$ dan pada pelat $t = 25$ cm nilai rasio sebesar $r = 2,907$. Maka, diperoleh nilai perbandingan kapasitas gesernya sebesar 6,4%.

4.3 Momen Nominal *Girder* Baja Komposit (M_n)

Untuk menentukan kuat lentur maka jenis penampang perlu ditinjau terlebih dahulu. Pada penelitian ini digunakan profil penampang I-900, dengan persyaratan

yang perlu dipenuhi untuk menentukan jenis penampang yaitu nilai kelangsingan sayap (*flange*) dan badan (*web*). Dengan mengetahui nilai tersebut maka dapat diketahui jenis penampangnya dan ditetapkan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai resistensi terhadap momen lentur yang bekerja.

Untuk perhitungan nilai yang diperoleh dalam mendapatkan hasil M_n , maka dapat dilihat pada Lampiran C.10 halaman 104. Berikut Gambar 4.9 perbandingan antara pelat $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm pada profil baja I-900 di bawah ini :

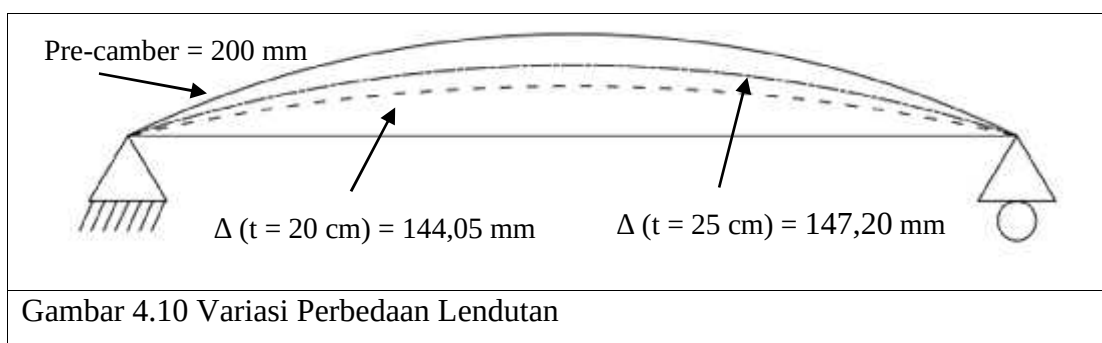


Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa pada ketebalan pelat $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm memiliki nilai M_u dan $\phi_f.M_n$ yang berbeda. Pada pelat $t = 20$ cm nilai $M_u = 3700,105$ kN.m dan $\phi_f.M_n = 4735,93$ kN.m sedangkan pada pelat $t = 25$ cm nilai $M_u = 3824,905$ kN.m dan $\phi_f.M_n = 5015,00$ kN.m. Pada pemeriksaan nilai rasio kapasitas terhadap lentur pada pelat $t = 20$ cm sebesar $r = 1,280$ dan pada pelat $t = 25$ nilai rasio sebesar $r = 1,311$. Maka, diperoleh nilai perbandingan kapasitas lenturnya sebesar 2,4%. Dari hasil tersebut, maka dapat disimpulkan setelah *re-design* ketebalan pelat menjadi $t = 20$ cm persyaratan dari kekuatan nominal penampang lebih besar daripada momen akibat beban terfaktor masih memenuhi syarat, sehingga penampang masih mampu menahan beban yang terjadi.

4.4 Lendutan pada Girder Baja Komposit

Dalam perencanaan jembatan akan diizinkan untuk melendut, akan tetapi untuk seberapa besar lendutan yang terjadi akan di kontrol sesuai dengan ketentuan

yang berlaku agar lendutan tersebut tidak menyebabkan kerusakan pada sebuah jembatan. Menurut kriteria desain jembatan standar 2017 menjelaskan bahwa lendutan maksimum pada beban lalu lintas tidak boleh melebihi $L/800$ untuk struktur sederhana di atas dua tumpuan. Maka dari itu, dalam kasus ini lendutan yang diizinkan pada beban lalu lintas tidak boleh melebihi 2,5 cm dengan pre-camber yang disyaratkan sebesar 20 cm. Untuk lebih jelasnya gambar lendutan dapat di lihat pada Gambar 4.10 di bawah ini :



Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa jembatan yang menerima beban akan mengalami lendutan pada gelagar berupa layan yang merupakan beban mati dan beban hidup, sehingga diberikan lawan lendut (camber). Pada persamaan kombinasi pembebanan, nilai lendutan maksimum terjadi pada kondisi Layan II. Setelah terjadinya perubahan ketebalan pada pelat $t = 20 \text{ cm}$ menghasilkan nilai lendutan sebesar $\Delta = 144,05 \text{ mm}$ sedangkan pada pelat $t = 25 \text{ cm}$ nilai lendutan sebesar $\Delta = 147,20 \text{ mm}$. Akibat lendutan yang terjadi tersebut, maka nilai lendutan masih dikategorikan aman untuk terjadinya lendutan pada jembatan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan pelat lantai jembatan setelah terjadinya perubahan ketebalan pelat lantai dari pelat $t = 25$ cm menjadi pelat $t = 20$ cm menghasilkan nilai rasio kapasitas struktur terhadap kombinasi beban maksimum yang terjadi pada pelat $t = 25$ cm sebesar $r = 1,402$ dan $r = 3,262$ dan pelat $t = 20$ cm sebesar $r = 1,339$ dan $r = 2,316$ berturut-turut untuk lentur dan geser.
2. Dari hasil perhitungan penampang *girder* baja komposit akibat dari perubahan ketebalan pelat lantai dari pelat $t = 25$ cm menjadi pelat $t = 20$ cm menghasilkan nilai rasio kapasitas struktur pada pelat $t = 25$ cm sebesar $r = 1,311$ dan $r = 2,907$ dan pelat $t = 20$ cm sebesar $r = 1,280$ dan $r = 3,105$ berturut-turut untuk lentur dan geser.
3. Dari hasil perhitungan lendutan pada *girder* baja komposit akibat dari perubahan ketebalan pelat lantai dari pelat $t = 25$ cm menjadi pelat $t = 20$ cm menghasilkan nilai lendutan $\Delta = 144,05$ mm dan $\Delta = 147,20$ mm berturut-turut untuk pelat $t = 20$ cm dan pelat $t = 25$ cm.
4. Setelah terjadinya perubahan ketebalan pelat lantai jembatan, terjadi penambahan tulangan pada perencanaan pelat lantai kendaraan dengan pelat $t = 20$ cm, akibat dari perubahan jarak tulangan yang semakin dekat yaitu pada perencanaan awal pelat $t = 25$ cm menggunakan tulangan D16-150 mm sedangkan pada pelat $t = 20$ cm menggunakan tulangan D16-120 mm.
5. Berdasarkan nilai rasio dan lendutan yang terjadi pada *girder* baja komposit setelah terjadinya perubahan ketebalan pelat lantai maka jembatan tersebut masih aman untuk memikul beban kerja.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian maka saran diperoleh sebagai berikut :

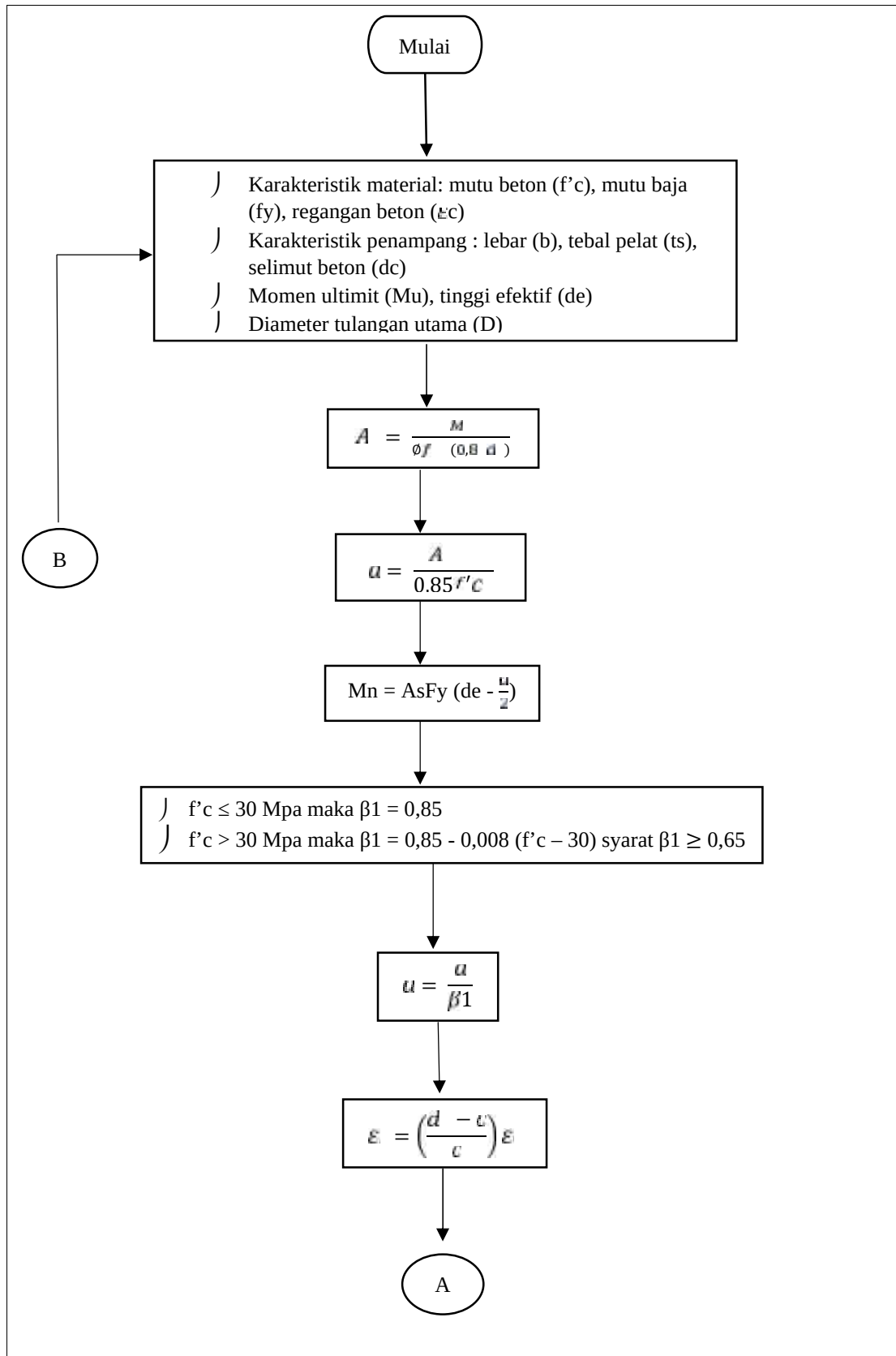
1. Pada penelitian ini, dapat dilanjutkan untuk perhitungan sambungan jembatan *girder* baja komposit.
2. Perhitungan anggaran biaya dapat dilakukan untuk melihat efesiensi dari *redesign* ketebalan pelat lantai kendaraan jembatan.

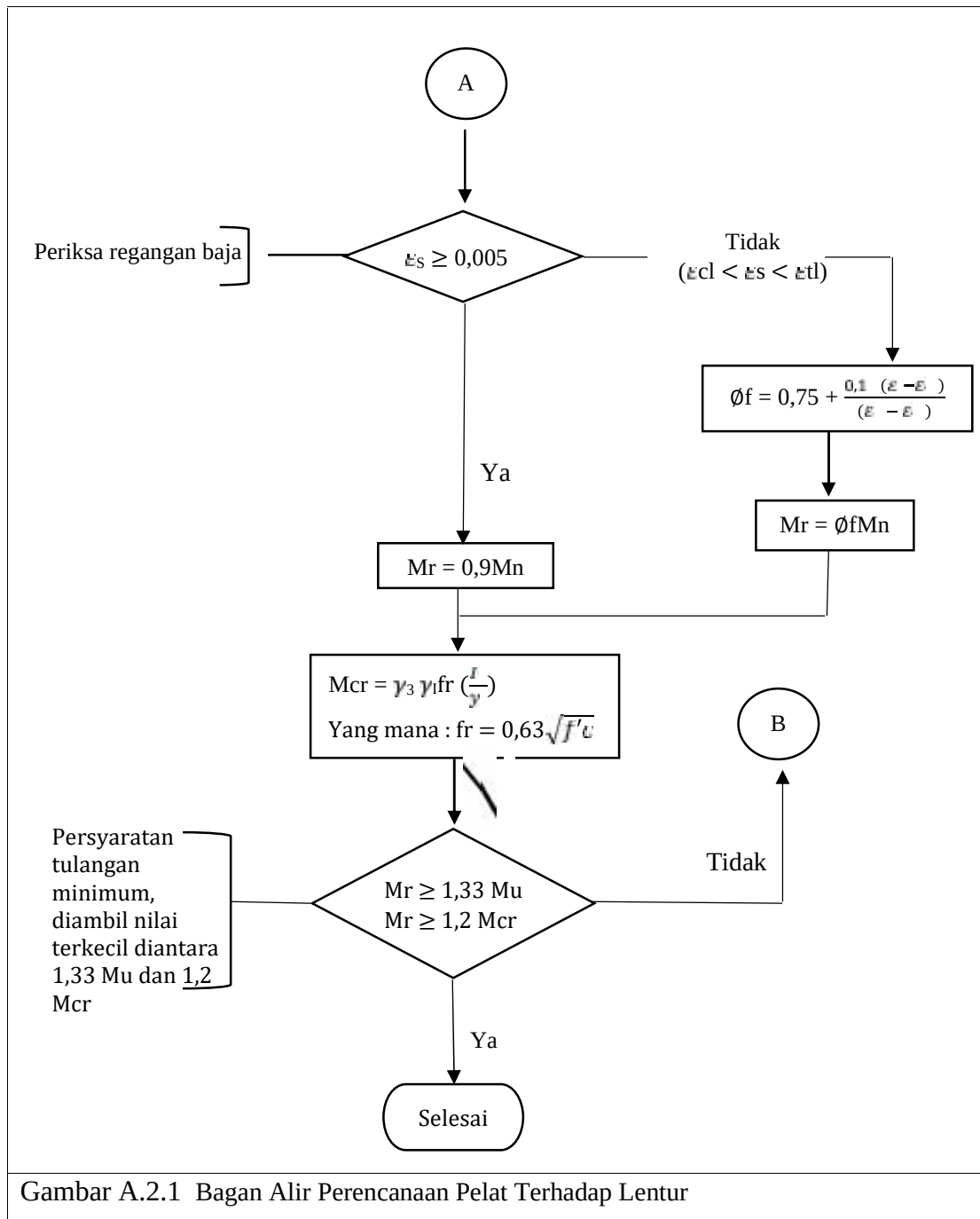
DAFTAR KEPUSTAKAAN

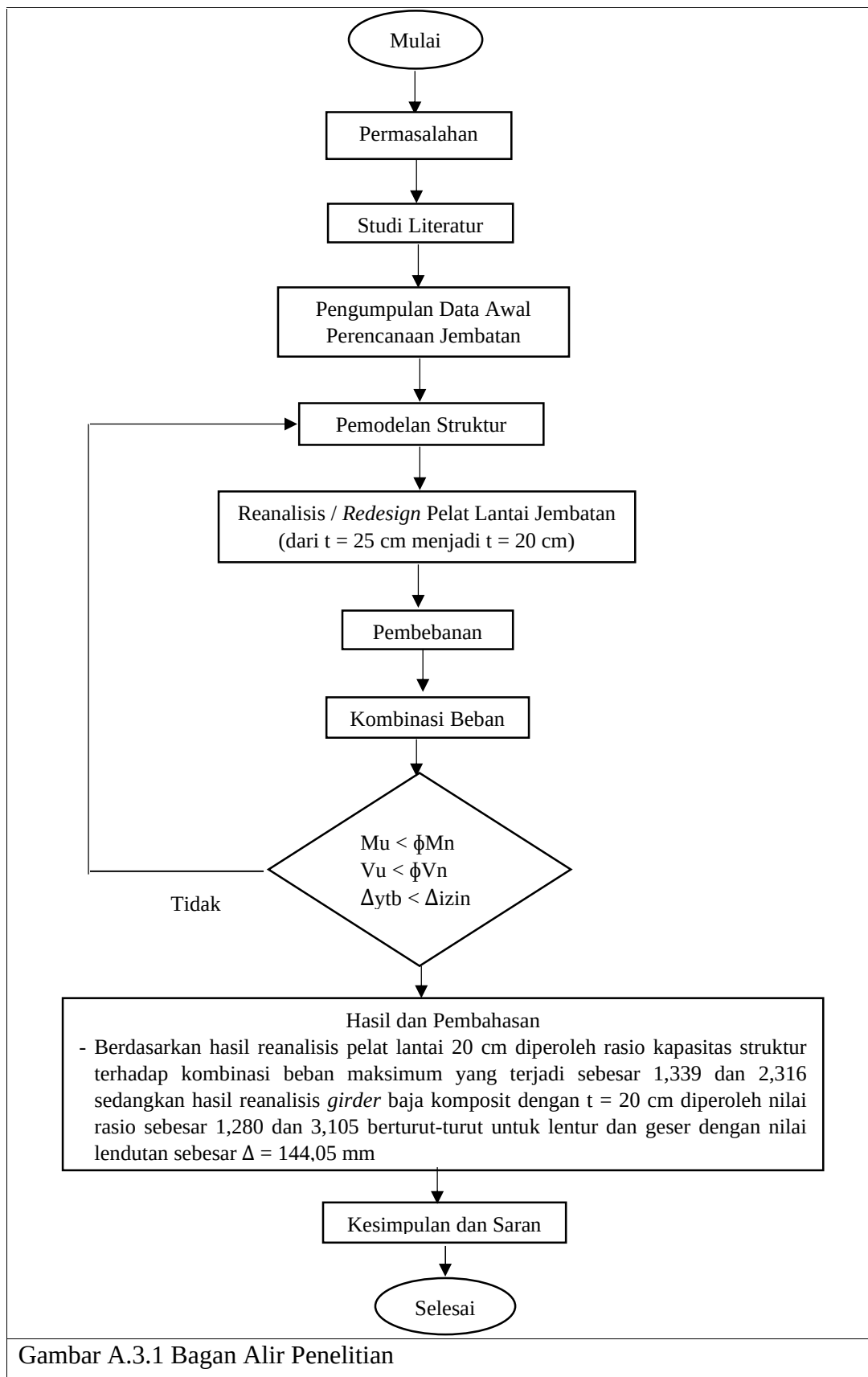
- Alamsyah, A. dan Ariyanti, D., 2021. *Desain Girder Jembatan Sungai Terkul Menggunakan Struktur Komposit Berdasarkan Pembebanan SNI 1725: 2016 (Studi Kasus: Kelurahan Terkul, Kecamatan Rupert)*. Dalam Seminar Nasional Industri dan Teknologi).
- Allan, S., Khadavi, K. dan Robby, P., 2021. *Tinjauan Ulang Jembatan Komposit Box Girder Baja-Beton (Steel Tub Girder) Geometrik Lengkung Horizontal (Studi Kasus: Jalan Layang Light Rail Transit Palembang P555-P558)* (Doktoral disertasi, Universitas Bung Hatta).
- Andekenro, A., 2019. *Perencanaan Struktur Jembatan Komposit Cihaurbeuti* (Disertasi Doktor, Universitas Siliwangi).
- Ardi, S., Taufik, T. dan Robby, P., 2021. *Perencanaan Ulang Jembatan Komposit Box Girder Baja (Composite Steel Tub Girder)* (Disertasi Doktor, Universitas Bung Hatta).
- Badan Standardisasi Nasional, 2004. *SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2005. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. RSNI T-03-2005. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2016. *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Hasan, M., Mahlil, M. dan Jamil, M., 2020. *Penanganan Jembatan Pelat Girder Yang Mengalami Defleksi Yang Besar Dan Tegangan Berlebih Setelah Pengecoran Pelat Lantai*. Jurnal Teknik Sipil.
- Hasudungan, HI, 2020. *Evaluasi Perhitungan Bangunan Atas Jembatan Komposit* (Disertasi Doktor, Universitas Medan Area).
- Ihsan, R., Idris, Y. dan Rozirwan, R., 2018. *Analisis Kinerja Struktur TAPERED Composite Plate Girder Studi Kasus Jembatan LRT (Light Rail Transit) Sungai Musi Palembang* (Disertasi Doktor, Universitas Sriwijaya).
- Irsyadillah, A., Idris, Y. dan Rozirwan, R., 2018. *Analisis Kinerja Struktur Composite Box Girder Studi Kasus Jembatan LRT (Light Rail Ttransit) Simpang Charitas Palembang* (Disertasi Doktor, Universitas Sriwijaya).
- Manu, I., Agus, 1995. *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. PT Mediatama Saptakarya, DPU.

- Munawirin, M., 2021. *Analisa Balok Plate Girder Pada Jembatan Baja Girder Komposit Cindai Alus Kecamatan Martapura* (Disertasi Doktor, Universitas Islam Kalimantan MAB).
- Perencanaan Teknik Jembatan*, Dit BinteK, Ditjen Bina Marga, 2010.
- Purnomo, T. Y., Krisnawati, L. D., dan Purnomo, Y. C. S, 2018. *Kajian Jembatan Kecamatan Sendang (Ruas Jalan Tugu–Pabyongan) Kabupaten Tulungagung Dengan Metode Komposit* . Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil.
- Putra, S., Syukri, S., dan Mahyar, H, 2017. *Perencanaan gelagar baja pada jembatan desa buket linteung kecamatan langkahan kabupaten aceh utara*. Jurnal Sipil Sains Terapan
- Setiobudi, A., 2014. *Tinjauan Pelaksanaan Jembatan Beton Pratekan Air Simpang Kijang Km 63-64 Jurusan Palembang-Kayuagung*. Jurnal Media Teknik.
- Shapiyah, S., 2021. *Perancangan Jembatan I Girder Dan Truss Dengan Sistem Komposit Bentang 110 Meter Kabupaten Lahat Sumatera Selatan* (Disertasi Doktor, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S, 2007. *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset
- Zulkarnaen, MP, 2021. *Perencanaan Struktur Atas Jembatan Baja Pelat Girder Pada Jembatan Karay Kabupaten Bulungan* (Disertasi Doktor, Universitas Muhammadiyah Malang).

LAMPIRAN A





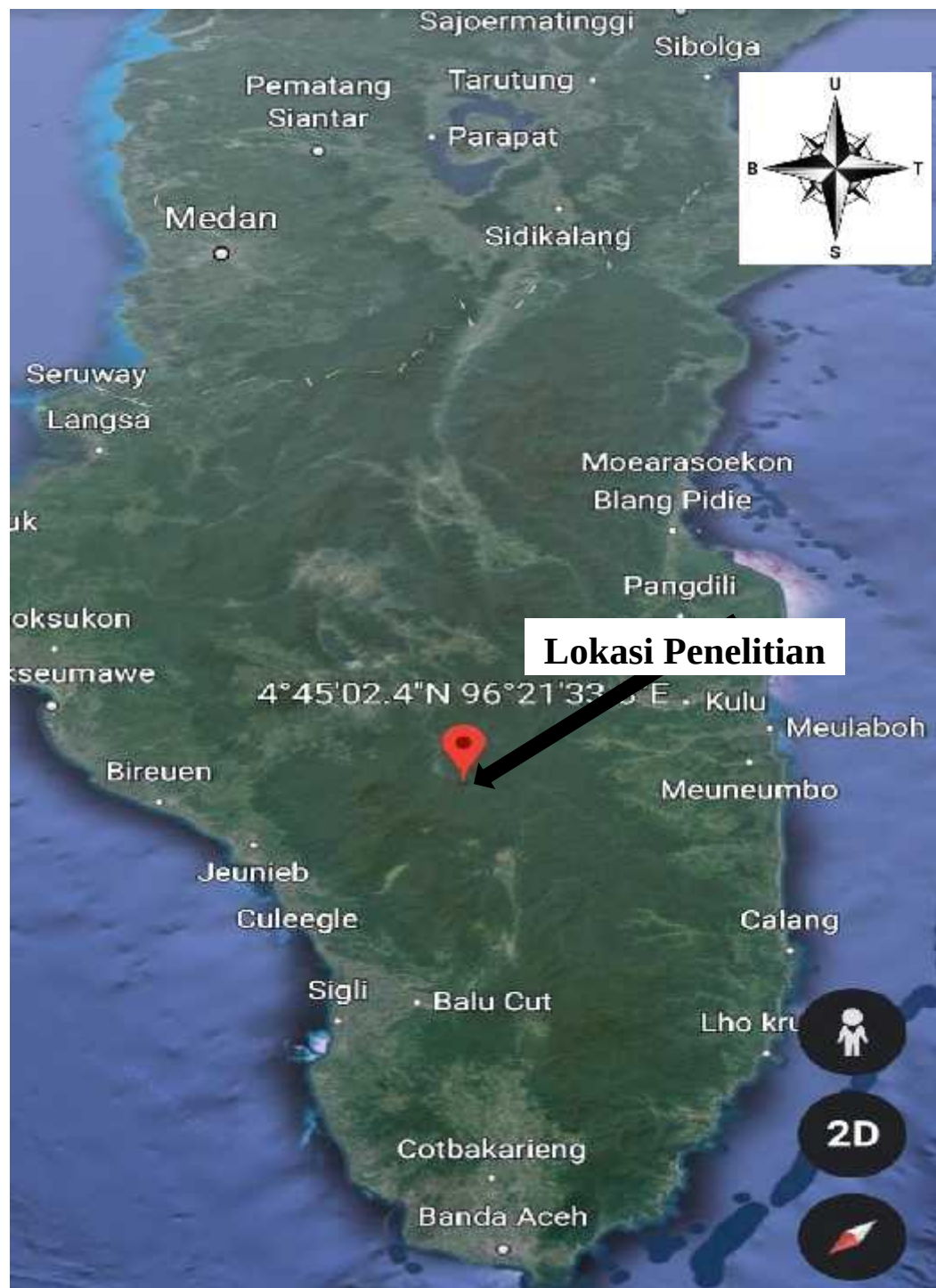


Gambar A.3.1 Bagan Alir Penelitian



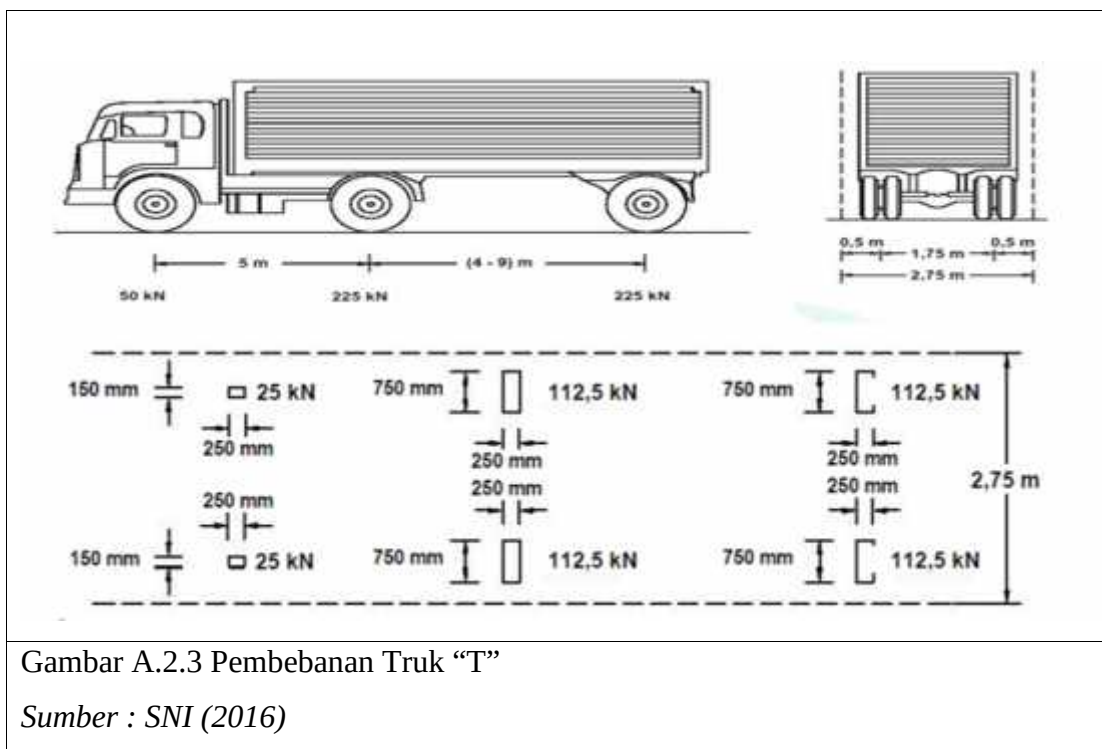
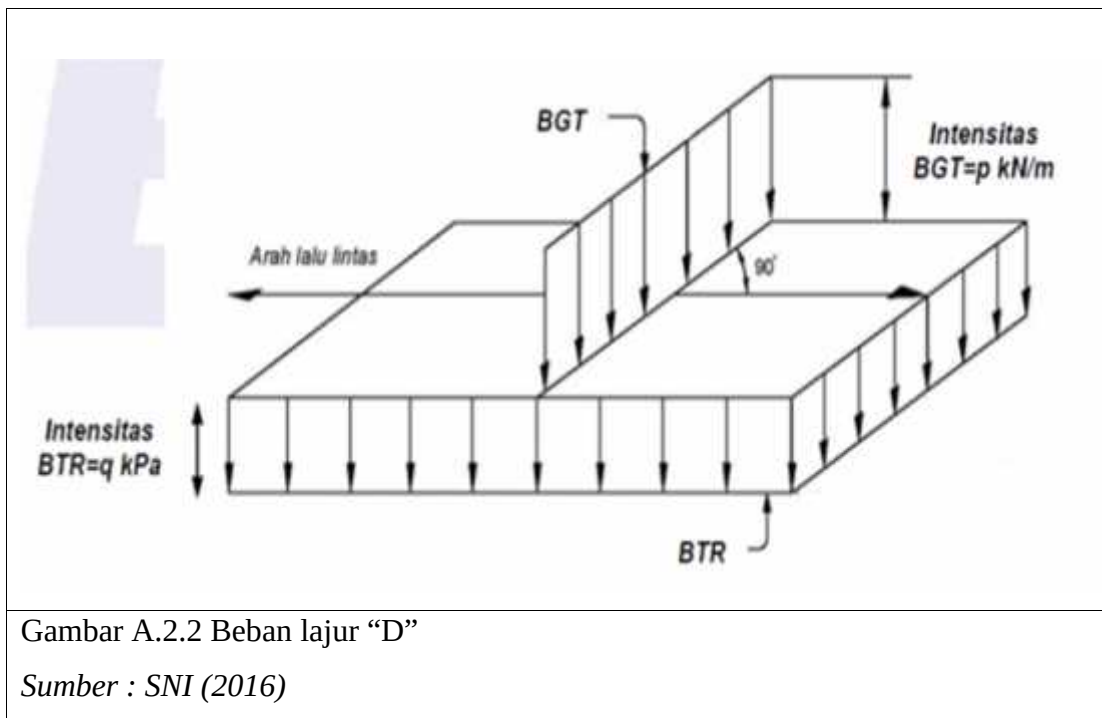
Gambar A.3.2 Peta Provinsi Aceh

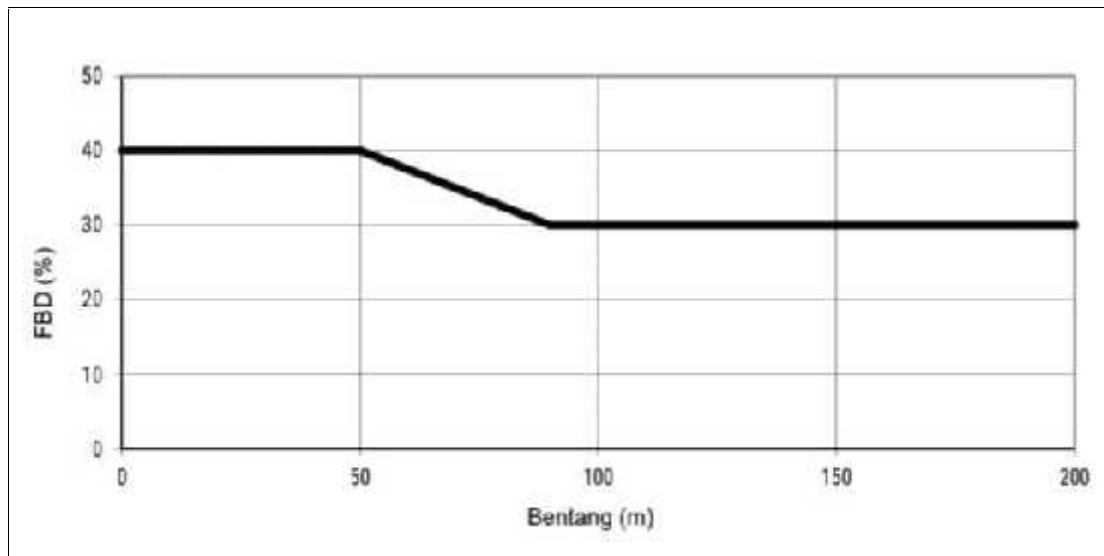
Sumber : <https://aceh.bpk.go.id/peta-wilayah/2023> (akses, tanggal 12 April 2023)



Gambar A.3.3 Peta Lokasi Objek Penelitian

Sumber : *Google Earth* (2023)





Gambar A.2.4 Faktor beban dinamis untuk beban T dan pembebanan lajur “D”
Sumber : SNI (2016)

LAMPIRAN B

Tabel B.2.1 Kombinasi Pembebanan Jembatan

Kondisi Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EWS	EWL	BF	EUN	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_F	1,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TS}	γ_{TS}	-	-	-
Kuat II	γ_F	1,40	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TS}	γ_{TS}	-	-	-
Kuat III	γ_F	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TS}	γ_{TS}	-	-	-
Kuat IV	γ_F	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_F	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TS}	γ_{TS}	-	-	-
Ekstrem I	γ_F	γ_{TS}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_F	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TS}	γ_{TS}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TS}	γ_{TS}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-

Catatan: - γ_F dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} , tergantung beban yang ditinjau, γ_{TS} adalah faktor beban hidup kondisi gempa.

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.2.2 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2245
2	Besi tuang	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal	22,0	2245
6	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton $f'c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
	Beton $35 < f'c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras	11,0	1125

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.2.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_M)			
	Keadaan Batas Layan (γ_M^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_M^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.2.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_M)			
	Keadaan Batas Layan (γ_M^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_M^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.2.5 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_T)	
		Keadaan Batas Layan (γ_T^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_T^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.2.6 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_I)	
		Keadaan Batas Layan (γ_I^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_I^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder	1,00	2,00
	Baja		

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.2.7 Faktor Kepadatan Lajur

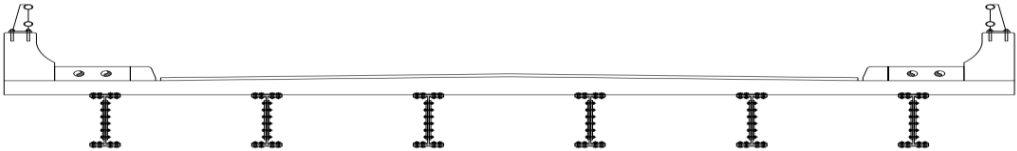
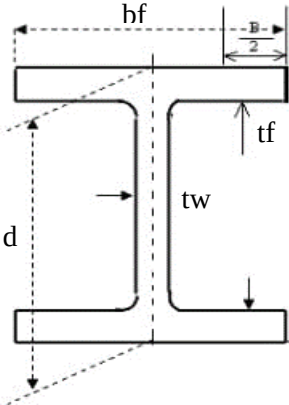
Jumlah lajur yang dibebani	Faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

Sumber : SNI (2016)

Tabel B.3.1 Data Perencanaan Jembatan

Data yang ditinjau	Nilai	Satuan
a. Properties Penampang		
Tinggi gelagar (d)	900	mm
Lebar sayap atas (bc)	300	mm
Lebar sayap bawah (bt)	300	mm
Tebal pelat badan (tw)	16	mm
Tebal sayap atas (tc)	28	mm
Tebal sayap bawah (tt)	28	mm
Tinggi pelat badan (D)	844	mm
Panjang gelagar (Lb)	20000	mm
Lebar efektif beton (bs)	1600	mm
Tebal pelat (ts)	200	mm
Tebal aspal awal (ta)	50	mm
Tebal aspal <i>overlay</i> (ta ₁)	40	mm
b. Mutu Material		
Mutu beton (f'c)	30	Mpa
Tegangan leleh baja (fy)	355 Mpa	Mpa
Modulus elastisitas beton (Ec)	$4700 \sqrt{f'c} \text{ M}$	Mpa
Modulus elastisitas baja (Es)	200000 Mpa	Mpa
Rasio modulus (n)	$\frac{E}{E_s} = 7,77$	
c. Specific Gravity		
Berat jenis beton (γ)	24	kN/m ³
Berat jenis aspal (γ)	22,4	kN/m ³
Berat jenis baja (γ)	78,50	kN/m ³

Lampiran C.1 Data Awal DED

KETERANGAN	SIMBOL	NILAI	SATUAN
Data Konstruksi			
			
Tebal pelat lantai jembatan (Tinjauan 1)	h	0,20	meter
Tebal pelat lantai jembatan (Tinjauan 2)	h	0,25	meter
Tebal lapisan aspal awal	t_a	0,05	meter
Tebal lapisan aspal <i>overlay</i>	t_{a1}	0,04	meter
Lebar lantai kendaraan	b_1	8,00	meter
Lebar trotoar	b_2	1,00	meter
Panjang bentang jembatan	L	20,00	meter
Jarak antar <i>girder</i>	s	1,60	meter
Profil I Girder			
			
Tinggi <i>girder</i>	d	0,90	meter
Lebar sayap atas	b_c	0,30	meter
Lebar sayap bawah	b_t	0,30	meter
Tebal pelat badan (<i>web</i>)	t_w	0,016	meter
Tebal sayap atas	t_c	0,028	meter
Tebal sayap bawah	t_t	0,028	meter
Mutu Tulangan			
Tegangan leleh tulangan	f_y	420	MPa
Modulus elastisitas baja	E_s	200.000	MPa
Mutu Beton Pelat Lantai			
Kuat tekan beton	f'_c	30	MPa
Modulus elastisitas beton	E_c	25.742,96	MPa
Berat Isi Material / <i>Spesific Gravity</i>			
Berat jenis beton	γ_c	24	kN/m ³
Berat jenis aspal	γ_a	22,4	kN/m ³
Berat jenis baja	γ_s	78,50	kN/m ³

Lampiran C.2 Perhitungan Pembebanan Pelat Lantai

Pengaruh beban mati yang bekerja pada pelat dek dihitung berdasarkan lebar pelat strip selebar 1000 mm.

1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri sudah terhitung secara otomatis oleh program, dengan berat jenis beton sebagai berikut :

$$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

2. Beban Mati Tambahan (MA)

a. Beban beton *barrier*

$$\text{Berat jenis beton } (\gamma_c) = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Luas } \textit{barrier} \text{ (Ab)} = 0,293 \text{ m}^2$$

$$\text{Lebar efektif (b)} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Beban } \textit{barrier} \text{ (W}_{br}) = \gamma_c \cdot A_b \cdot b$$

$$W_{br} = 7,03 \text{ kN}$$

b. Beban aspal

- Beban aspal awal

$$\text{Berat jenis aspal } (\gamma_a) = 22,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Tebal aspal (ta)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar efektif (b)} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Beban aspal (W}_a) = \gamma_a \cdot t_a \cdot b$$

$$W_a = 1,12 \text{ kN/m}$$

- Beban aspal *overlay*

$$\text{Berat jenis aspal } (\gamma_{a1}) = 22,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Tebal aspal (ta}_1) = 0,04 \text{ m}$$

$$\text{Lebar efektif (b)} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Beban aspal (W}_{a1}) = \gamma_{a1} \cdot t_{a1} \cdot b$$

$$W_{a1} = 0,9 \text{ kN/m}$$

c. Beban trotoar

$$\text{Berat jenis beton } (\gamma_c) = 24 \text{ kN/m}^3$$

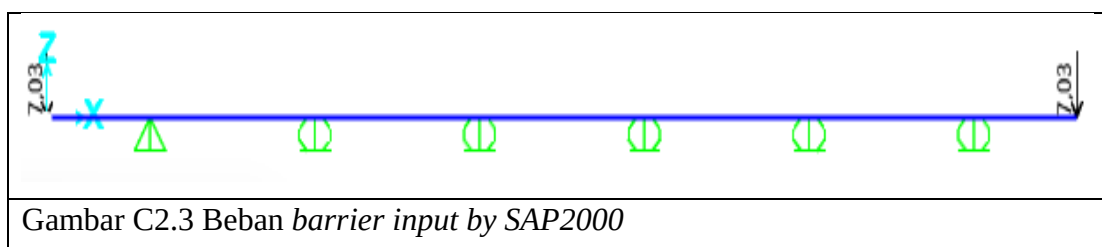
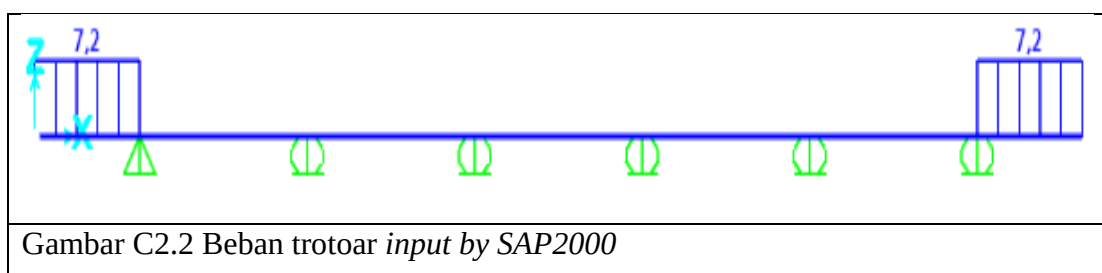
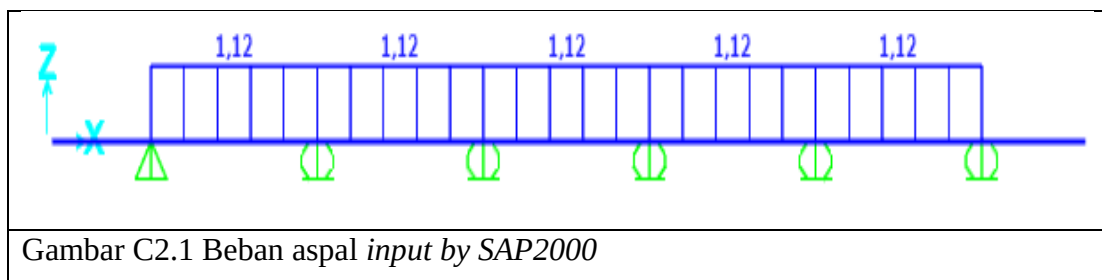
$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi trotoar (htr)} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Lebar efektif (b)} &= 1,00 \text{ m} \\
 \text{Beban trotoar (W}_{tr}\text{)} &= \gamma c. \text{ htr.b} \\
 W_{tr} &= 7,20 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

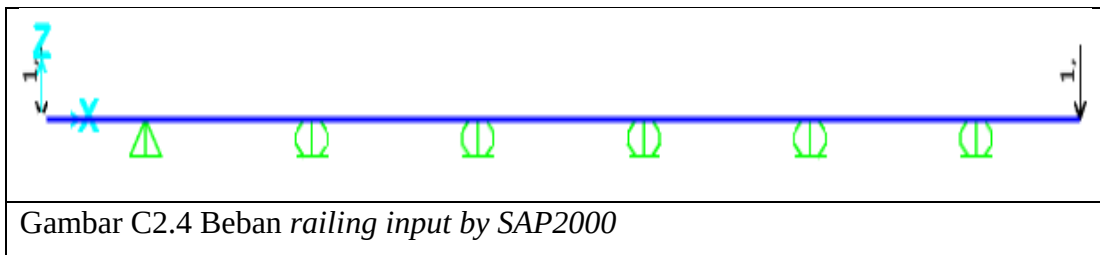
d. Beban *railing*

$$\text{Beban } railing \quad W_{rl} = 1 \text{ kN}$$

Tabel C2.1 Rekapitulasi beban-beban yang di input ke dalam SAP2000

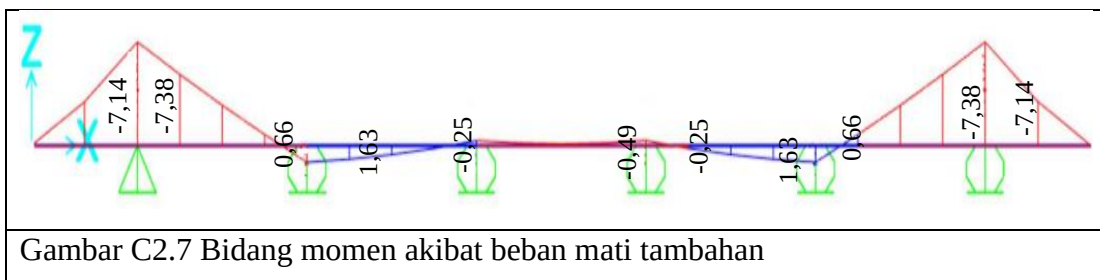
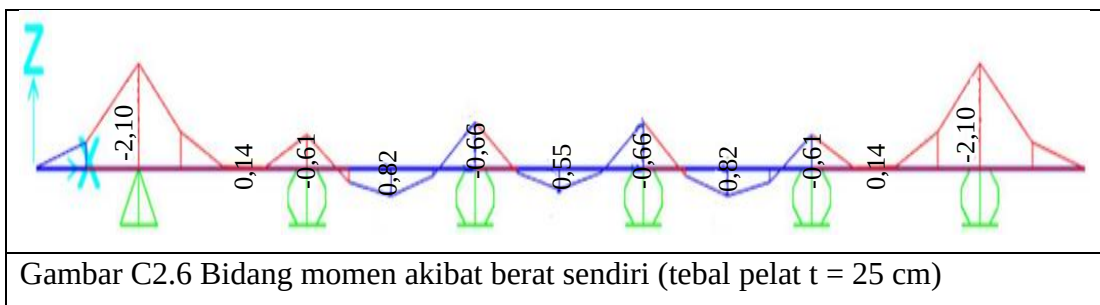
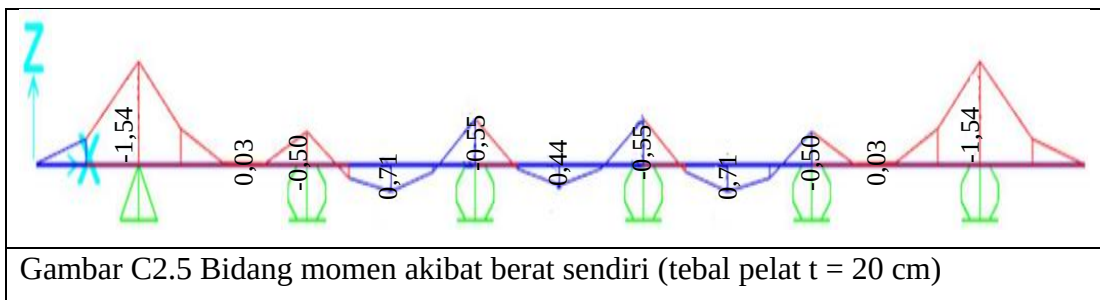
Jenis Beban	Nilai Beban	Simbol/Satuan
Berat sendiri	<i>Input otomatis by SAP2000</i>	kN/m ³
Beban <i>barrier</i>	7,03	kN
Beban aspal awal	1,12	kN/m
Beban aspal <i>overlay</i>	0,90	kN/m
Beban trotoar	7,20	kN/m
Beban <i>railing</i>	1,00	kN



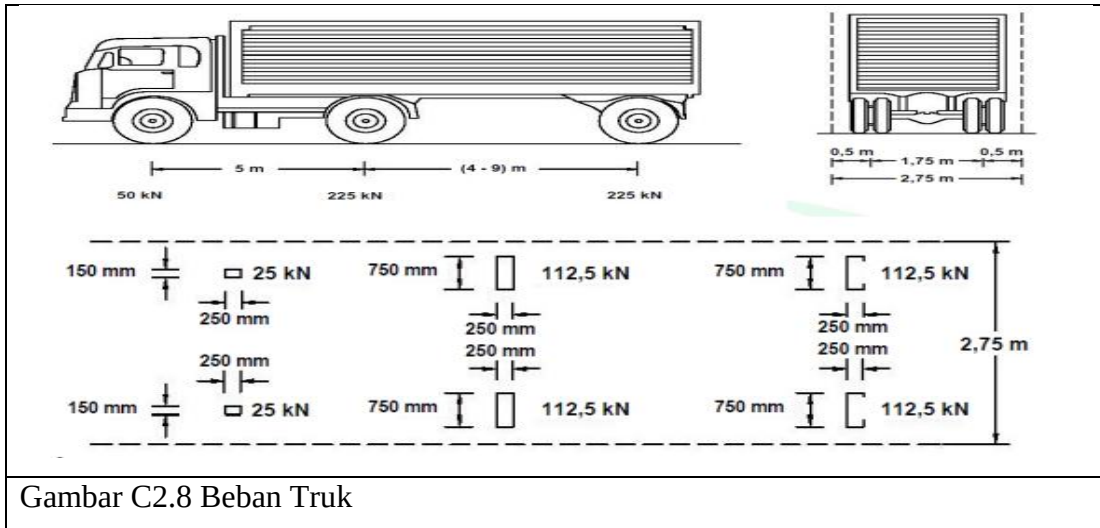


Tabel C2.2 Rekapitulasi hasil momen input beban dari SAP2000

Jenis Beban	Nilai Momen	Simbol/Satuan
Momen akibat berat sendiri (MS)		
- Tebal pelat $t = 20$ cm	1,54	kN.m
- Tebal pelat $t = 25$ cm	2,10	kN.m
Momen akibat beban aspal awal (M_{MA})	0,13	kN.m
Momen akibat beban mati tambahan (M_{MA1})	7,38	kN.m

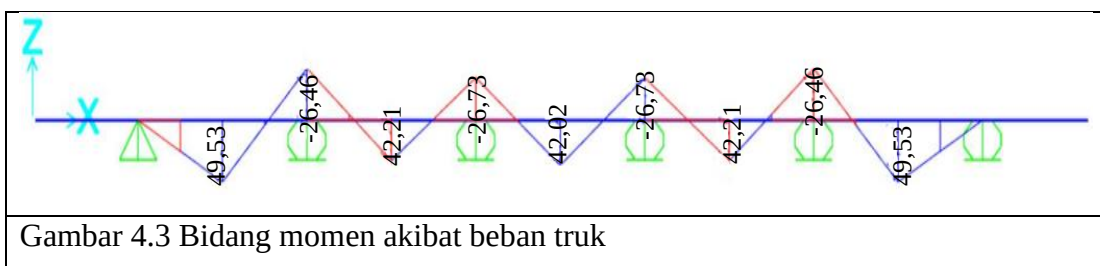


3. Beban Lalu Lintas Truk (TT)



Dalam perencanaan pelat lantai digunakan beban roda truk terbesar yaitu roda tengah atau roda belakang.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban 1 roda (P}_1\text{)} &= 112,5 \text{ kN} \\
 \text{Faktor pembesaran dinamis (FBD)} &= 0,3 \\
 \text{Beban (P}_{T1}\text{)} &= P_1 \cdot (1 + \text{FBD}) \\
 &= 146,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Berdasarkan hasil analisis didapatkan momen envelop akibat beban truk sebagai berikut :

$$M_{\text{Truk}} = 49,53 \text{ kN.m}$$

Untuk mendapatkan momen rencana akibat beban truk, momen envelop akibat beban truk dibagi dengan lebar strip ekuivalen sebagai berikut :

$$M_{TT} = \frac{M_{TRUK}}{W}$$

$$= \frac{49,53}{1,54} = 32,16 \text{ kN.m}$$

Dari hasil momen pembebanan-pembebanan tersebut, maka diperoleh persamaan kombinasi pembebanan pelat lantai jembatan sebagai berikut :

• **Persamaan kombinasi pembebanan tebal pelat lantai t = 20 cm**

Kuat I $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1} + 1,8.M_{TT}$

$$= 1,3 (1,54) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) + 1,8 (32,16)$$

$$= 74,81 \text{ kN.m}$$

Kuat II $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1} + 1,4.M_{TT}$

$$= 1,3 (1,54) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) + 1,4 (32,16)$$

$$= 61,94 \text{ kN.m}$$

Kuat III $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1}$

$$= 1,3 (1,54) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38)$$

$$= 16,92 \text{ kN.m}$$

Kuat IV $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1}$

$$= 1,3 (1,54) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38)$$

$$= 16,92 \text{ kN.m}$$

Kuat V $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1}$

$$= 1,3 (1,54) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38)$$

$$= 16,92 \text{ kN.m}$$

Ekstrem $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1} + 0,5.M_{TT}$

$$= 1,3 (1,54) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) + 0,5 (32,16)$$

$$= 33,00 \text{ kN.m}$$

Layan I $M_U = 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1} + 1,0.M_{TT}$

$$= 1,0 (1,54) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) + 1,0 (32,16)$$

$$= 41,21 \text{ kN.m}$$

Layan II	Mu	$= 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1} + 1,3.M_{TT}$ $= 1,0 (1,54) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) + 1,3 (32,16)$ $= 50,86 \text{ kN.m}$
Layan III	Mu	$= 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1} + 0,8.M_{TT}$ $= 1,0 (1,54) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) + 0,8 (32,16)$ $= 34,78 \text{ kN.m}$
Layan IV	Mu	$= 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1}$ $= 1,0 (1,54) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38)$ $= 9,05 \text{ kN.m}$
Fatik	Mu	$= 0,75.M_{TT}$ $= 0,75 (32,16)$ $= 24,12 \text{ kN.m}$

• **Persamaan kombinasi pembebanan tebal pelat lantai t = 25 cm**

Kuat I	M _U	$= 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1} + 1,8.M_{TT}$ $= 1,3 (2,10) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) + 1,8 (32,16)$ $= 75,54 \text{ kN.m}$
Kuat II	M _U	$= 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1} + 1,4.M_{TT}$ $= 1,3 (2,10) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) + 1,4 (32,16)$ $= 62,67 \text{ kN.m}$
Kuat III	M _U	$= 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1}$ $= 1,3 (2,10) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38)$ $= 17,65 \text{ kN.m}$
Kuat IV	M _U	$= 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1}$ $= 1,3 (2,10) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38)$ $= 17,65 \text{ kN.m}$
Kuat V	M _U	$= 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1}$

$$\begin{aligned}
&= 1,3 (2,10) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) \\
&= 17,65 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Ekstrem $M_U = 1,3.M_{MS} + 1,2.M_{MA} + 2.M_{MA1} + 0,5.M_{TT}$

$$\begin{aligned}
&= 1,3 (2,10) + 1,2 (0,13) + 2 (7,38) + 0,5 (32,16) \\
&= 33,73 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Layan I $M_U = 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1} + 1,0.M_{TT}$

$$\begin{aligned}
&= 1,0 (2,10) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) + 1,0 (32,16) \\
&= 41,77 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Layan II $M_u = 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1} + 1,3.M_{TT}$

$$\begin{aligned}
&= 1,0 (2,10) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) + 1,3 (32,16) \\
&= 51,42 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Layan III $M_u = 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1} + 0,8.M_{TT}$

$$\begin{aligned}
&= 1,0 (2,10) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) + 0,8 (32,16) \\
&= 35,34 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Layan IV $M_u = 1,0.M_{MS} + 1,0.M_{MA} + 1,0.M_{MA1}$

$$\begin{aligned}
&= 1,0 (2,10) + 1,0 (0,13) + 1,0 (7,38) \\
&= 9,61 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Fatik $M_u = 0,75.M_{TT}$

$$\begin{aligned}
&= 0,75 (32,16) \\
&= 24,12 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Tabel C2.3 Rekapitulasi kombinasi pembebanan

Kombinasi Pembebanan	Momen (kN.m/m)	
	t = 20 cm	t = 25 cm
Kombinasi Kuat I	74,81	75,54
Kombinasi Kuat II	61,94	62,67
Kombinasi Kuat III	16,92	17,65
Kombinasi Kuat IV	16,92	17,65
Kombinasi Kuat V	16,92	17,65
Kombinasi Ekstrem	33,00	33,73

Tabel C2.3 Rekapitulasi kombinasi pembebanan (Lanjutan)

Kombinasi Pembebanan	Momen (kN.m/m)	
	t = 20 cm	t = 25 cm
Kombinasi Layan I	41,21	41,77
Kombinasi Layan II	50,86	51,42
Kombinasi Layan III	34,78	35,34
Kombinasi Layan IV	9,05	9,61
Kombinasi Fatik	24,12	24,12

Lampiran C.3 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

- **Pelat lantai $t = 200 \text{ mm}$**

1. Tulangan Lentur

Lebar efektif pelat (b)	= 1000 mm
Tebal pelat (ts)	= 200 mm
Inersia penampang (Ig)	= $\frac{b \cdot ts^3}{12} = 666.666.666,67 \text{ mm}^4$
Titik berat penampang (yt)	= $\frac{ts}{2} = 100 \text{ mm}$
Tinggi efektif (de)	= 172 mm
Mutu beton (f'_c)	= 30 Mpa $f'_c \leq 30$, maka $\beta_1 = 0,85$
Faktor modifikasi kepadatan beton (λ)	= 1
Mutu tulangan (fy)	= 420 MPa
Modulus elastisitas (Es)	= 200.000 MPa
Momen terfaktor (Mu)	= 74,81 kN.m
Faktor reduksi lentur (ϕ)	= 0,9
Luas tulangan yang dibutuhkan (A_{sreq})	= $\frac{Mu}{\phi \cdot fy \cdot (0,85 \cdot de)} = 1353,69 \text{ mm}^2$
Jarak antar tulangan (s)	= 120 mm
Diameter tulangan (D)	= 16 mm
Luas tulangan yang digunakan (A_{suse})	= $\frac{b}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1674,67 \text{ mm}^2$

Cek luas tulangan $= A_{suse} \geq A_{sreq}$

$= 1674,67 \text{ mm}^2 \geq 1353,70 \text{ mm}^2 \dots (\text{OK})$

Tinggi blok tekan ekivalen (a)	= $\frac{A_{suse} \cdot fy}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 27,58 \text{ mm}$
Momen nominal (Mn)	= $A_{suse} \cdot fy \cdot (de - \frac{a}{2}) = 111,28 \text{ kN.m}$
Jarak dari serat tekan	
Terluar ke sumbu netral (c)	= $\frac{a}{\beta_1} = 32,45 \text{ mm}$
Regangan ultimit beton (ϵ_c)	= 0,003

$$\begin{aligned}
\text{Cek regangan baja } (\varepsilon_s) &= \left(\frac{de-c}{c} \right) \cdot \varepsilon_c = 0,01 \\
\text{Regangan leleh } (\varepsilon_y) &= \frac{f_y}{E_s} = 0,0021 \\
\text{Cek under reinforcement} &= \varepsilon_s \geq \varepsilon_y \\
&= 0,01 \geq 0,0021 \dots\dots\dots (\text{OK}) \\
\text{Momen tahanan } (M_r) &= \phi_f \cdot M_n = 100,15 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Syarat tulangan minimum :

Tulangan yang digunakan harus memenuhi salah satu syarat dibawah ini :

$$\text{Tegangan retak beton } (f_r) = 0,63 \cdot \sqrt{f'_c} = 3,45 \text{ Mpa}$$

Variabel faktor retak lentur (γ_1) = 1,6 dan (γ_3) = 0,75

$$\text{Momen retak penampang } (M_{cr}) = \gamma_3 \cdot \gamma_1 \cdot f_r \cdot \left(\frac{I_g}{y_t} \right) = 27,61 \text{ kN.m}$$

$$1,33 M_u = 99,50 \text{ kN.m}$$

$$1,2 M_{cr} = 33,13 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cek tulangan minimum} &= M_r \geq \min (1,2 M_{cr}, 1,33 M_u) \\
&= 100,15 \geq \min (33,13, 99,50) \dots\dots\dots (\text{OK})
\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan utama D16-120

2. Tulangan Pembagi

Untuk tulangan pokok yang dipasang tegak lurus arah lalu lintas, tulangan pembagi ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\frac{110}{\sqrt{S}} \leq 67\%, \quad \text{dimana} \quad \frac{110}{\sqrt{1,6}} = 86,96\%$$

Maka gunakan persentase tulangan 67%

$$\begin{aligned}
A_s &= A_{s_{req}} \cdot 0,67 \\
&= 1353,70 \cdot 0,67 \\
&= 906,97 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jarak antar tulangan (s) = 200 mm

Diameter tulangan (D) = 16 mm

Luas tulangan yang digunakan ($A_{s_{used}}$) = $\frac{b}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1004,80 \text{ mm}^2$

Cek tulangan pembagi : $A_{s_{used}} \geq A_s$

$1004,80 \geq 906,98 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots(\text{OK})$

Maka, digunakan tulangan pembagi D16-200

3. Geser pada Pelat (*Punching Shear*)

Dimensi bidang kontak truk

Panjang (P) = 750 mm

Lebar (L) = 250 mm

Tinggi efektif pelat (d_e) = 172 mm

Dimensi penampang kritis b_0 = $P + d_e = 922 \text{ mm}$

d_0 = $L + d_e = 422 \text{ mm}$

Rasio panjang terhadap

lebar (β_c) = $\frac{b_0}{d_0} = 2,18$

Keliling geser kritis (U) = $2 \cdot (b_0 + d_0) = 2688 \text{ mm}$

Faktor reduksi geser (ϕ_v) = 0,75

Beban truk (TT) = 112,5 kN

Faktor beban hidup (LF) = 1,8

Faktor beban dinamis (FBD) = 0,3

Gaya geser terfaktor (V_u) = $LF \cdot (1 + FBD) \cdot TT = 263,25 \text{ kN}$

Kuat geser nominal pelat (V_n) = $(0,17 + \frac{0,33}{\beta_c}) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot U \cdot d_e = 812,98 \text{ kN}$

Syarat geser nominal pelat $V_n \leq 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot U \cdot d_e$

$812,98 \leq 835,67 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{OK})$

Maka nilai geser pelat yang digunakan :

$V_n = 812,98 \text{ kN}$

$V_r = \phi_v \cdot V_n = 609,73 \text{ kN}$

Kontrol terhadap geser yang bekerja

$V_u \leq V_r$

$$263,25 \text{ kN} \leq 609,73 \text{ kN} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

- **Pelat lantai $t = 250 \text{ mm}$**

1. Tulangan Lentur

Lebar efektif pelat (b) = 1000 mm

Tebal pelat (ts) = 250 mm

Inersia penampang (I_g) = $\frac{b \cdot t_s^3}{12} = 1.302.083.333,33 \text{ mm}^4$

Titik berat penampang (yt) = $\frac{t_s}{2} = 125 \text{ mm}$

Tinggi efektif (de) = 220 mm

Mutu beton (f'_c) = 30 Mpa $f'_c \leq 30$, maka $\beta_1 = 0,85$

Faktor modifikasi kepadatan

beton (λ) = 1

Mutu tulangan (f_y) = 420 MPa

Modulus elastisitas (E_s) = 200.000 MPa

Momen terfaktor (M_u) = 75,54 kN.m

Faktor reduksi lentur (ϕ_f) = 0,9

Luas tulangan yang dibutuhkan ($A_{s_{req}}$) = $\frac{M_u}{\phi_f \cdot f_y \cdot (0,85 \cdot d_e)} = 1068,67 \text{ mm}^2$

Jarak antar tulangan (s) = 150 mm

Diameter tulangan (D) = 16 mm

Luas tulangan yang digunakan ($A_{s_{use}}$) = $\frac{b}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1339,73 \text{ mm}^2$

Cek luas tulangan = $A_{s_{use}} \geq A_{s_{req}}$

$$= 1339,73 \text{ mm}^2 \geq 1068,67 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Tinggi blok tekan ekivalen (a) = $\frac{A_{s_{use}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 22,07 \text{ mm}$

Momen nominal (M_n) = $A_{s_{use}} \cdot f_y \cdot (d_e - \frac{a}{2}) = 117,58 \text{ kN.m}$

Jarak dari serat tekan

Terluar ke sumbu netral (c) = $\frac{a}{\beta_1} = 25,96 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
\text{Regangan ultimit beton } (\epsilon_c) &= 0,003 \\
\text{Cek regangan baja } (\epsilon_s) &= \left(\frac{d_e - c}{c} \right) \cdot \epsilon_c = 0,02 \\
\text{Regangan leleh } (\epsilon_y) &= \frac{f_y}{E_s} = 0,0021 \\
\text{Cek } under \text{ reinforcement} &= \epsilon_s \geq \epsilon_y \\
&= 0,02 \geq 0,0021 \dots\dots\dots (OK) \\
\\
\text{Momen tahanan } (M_r) &= \phi_f \cdot M_n = 105,82 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Syarat tulangan minimum :

Tulangan yang digunakan harus memenuhi salah satu syarat dibawah ini :

$$\text{Tegangan retak beton } (f_r) = 0,63 \cdot \sqrt{f'_c} = 3,45 \text{ Mpa}$$

Variabel faktor retak lentur (γ_1) = 1,6 dan (γ_3) = 0,75

$$\text{Momen retak penampang } (M_{cr}) = \gamma_3 \cdot \gamma_1 \cdot f_r \cdot \left(\frac{I_g}{y_t} \right) = 43,13 \text{ kN.m}$$

$$1,33 M_u = 100,47 \text{ kN.m}$$

$$1,2 M_{cr} = 51,76 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cek tulangan minimum} &= M_r \geq \min (1,2 M_{cr}, 1,33 M_u) \\
&= 105,88 \geq \min (51,76, 100,47) \dots\dots\dots (OK)
\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan utama D16-150

2. Tulangan Pembagi

Untuk tulangan pokok yang dipasang tegak lurus arah lalu lintas, tulangan pembagi ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\frac{110}{\sqrt{S}} \leq 67\%, \quad \text{dimana } \frac{110}{\sqrt{1,6}} = 86,96\%$$

Maka gunakan persentase tulangan 67%

$$\begin{aligned}
A_s &= A_{s_{req}} \cdot 0,67 \\
&= 1068,67 \cdot 0,67
\end{aligned}$$

$$= 716,01 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak antar tulangan (s)} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan yang digunakan (A}_{\text{used}}) = \frac{b}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1004,80 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek tulangan pembagi : } A_{\text{used}} \geq A_s$$

$$1004,80 \geq 716,01 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Maka, digunakan tulangan pembagi D16-200

3. Geser pada Pelat (*Punching Shear*)

Dimensi bidang kontak truk

$$\text{Panjang (P)} = 750 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (L)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif pelat (de)} = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi penampang kritis (b}_0) = P + de = 970 \text{ mm}$$

$$d_0 = L + de = 470 \text{ mm}$$

Rasio panjang terhadap

$$\text{lebar } (\beta_c) = \frac{b_o}{d_o} = 2,06$$

$$\text{Keliling geser kritis (U)} = 2 \cdot (b_o + d_o) = 2880 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor reduksi geser } (\phi_v) = 0,75$$

$$\text{Beban truk (TT)} = 112,5 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor beban hidup (LF)} = 1,8$$

$$\text{Faktor beban dinamis (FBD)} = 0,3$$

$$\text{Gaya geser terfaktor (Vu)} = LF \cdot (1 + FBD) \cdot TT = 263,25 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat geser nominal pelat (Vn)} = (0,17 + \frac{0,33}{\beta_c}) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot U \cdot de = 1144,86 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat geser nominal pelat } V_n \leq 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot U \cdot de$$

$$1144,86 \leq 1145,22 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Maka nilai geser pelat yang digunakan :

$$V_n = 1144,86 \text{ kN}$$

$$V_r = \phi_v \cdot V_n = 858,65 \text{ kN}$$

Kontrol terhadap geser yang bekerja

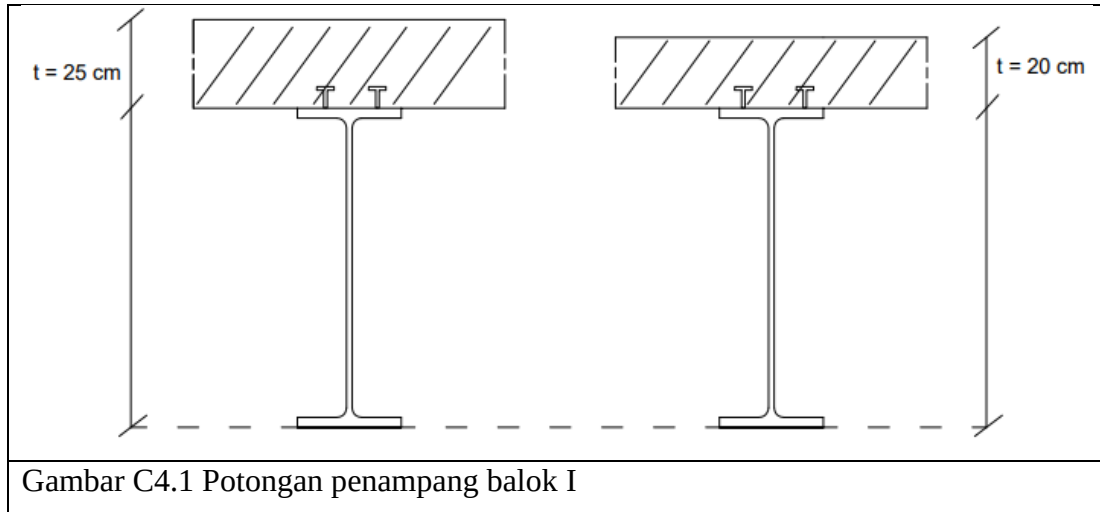
$$V_u \leq V_r$$

$$263,25 \text{ kN} \leq 858,65 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Tabel C3.1 Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat

Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai	Satuan/ Unit	Variasi Ketebalan Pelat Lantai	
		t = 20 cm	t = 25 cm
Inersia penampang (I_g)	mm ⁴	666.666.666,67	1.302.083.333,33
Titik berat penampang (y_t)	mm	100	125
Tinggi efektif (d_e)	mm	172	220
Momen ultimit (M_u)	kN.m	74,81	75,54
Luas tulangan dibutuhkan	mm ²	1353,69	1068,67
Luas tulang digunakan	mm ²	1674,67	1339,73
Syarat : $A_{s_{use}} \geq A_{s_{req}}$		seimbang	seimbang
Tinggi blok tekan (a)	mm	27,58	22,07
Momen nominal (M_n)	kN.m	111,28	117,58
Momen tahanan (M_r)	kN.m	100,15	105,82
Momen retak penampang (M_{cr})	kN.m	27,61	43,13
1,33 M_u	kN.m	99,50	100,47
1,2 M_{cr}	kN.m	33,13	51,76
Syarat : $M_r \geq 1,33M_u$ $M_r \geq 1,2M_{cr}$		seimbang	seimbang
Gaya geser terfaktor (V_u)	kN	263,25	263,25
Kuat geser nominal (V_n)	kN	812,98	1144,86
$V_r = \phi \cdot V_n$	kN	609,73	858,65
Syarat : $V_u > V_r$		seimbang	seimbang
Tulangan Longitudinal	mm	D16-120	D16-150
Tulangan Pembagi	mm	D16-200	D16-200

Lampiran C.4 Lebar Efektif Pelat Lantai



- **Untuk tebal pelat lantai $t = 20$ cm**

$$t_s = 0,20 \text{ m}$$

Lebar efektif pelat (Be) diambil nilai terkecil dari :

$$L/4 = 5,00 \text{ m}$$

$$s = 1,60 \text{ m}$$

$$12 \times t_s = 2,40 \text{ m}$$

Maka diambil lebar efektif pelat lantai (Be) = 1,60 m

- **Untuk tebal pelat lantai $t = 25$ cm**

$$t_s = 0,25 \text{ m}$$

Lebar efektif pelat (Be) diambil nilai terkecil dari :

$$L/4 = 5,00 \text{ m}$$

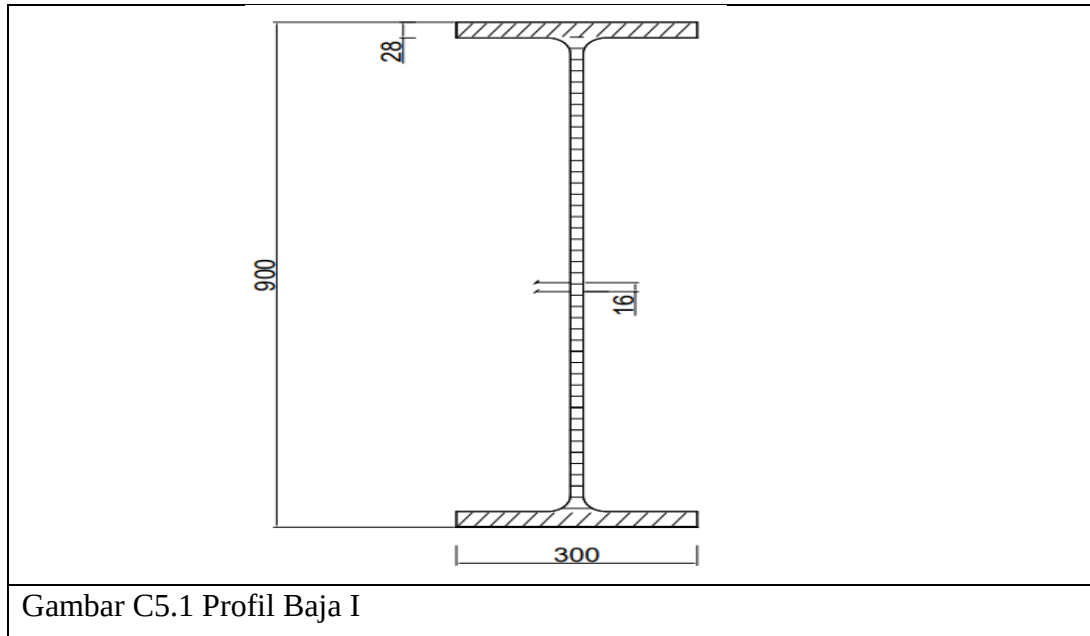
$$s = 1,60 \text{ m}$$

$$12 \times t_s = 3,00 \text{ m}$$

Maka diambil lebar efektif pelat lantai (Be) = 1,60 m

Lampiran C.5 Perhitungan *Section Properties* Model Struktur

1. Data penampang pada saat menahan berat sendiri gelagar



Tabel C5.1 Titik Berat dan Momen Inersia Penampang

No	Dimensi		Luas Penampang (A)	Jumlah Penampang	Jarak Thdp Alas Sumbu Y	Statis Momen	Inersia Momen	Inersia Momen Bidang	Inersia Momen Total
	b	h				(A . y)	(A . y ²)		
	(m)	(m)	(m ²)		(m)	(m ³)	(m ⁴)		(m ⁴)
1	0,300	0,028	0,0084	1	0,014	0,0001	0,0000	0,00000	0,000
2	0,016	0,844	0,0135	1	0,450	0,0061	0,0027	0,00080	0,004
3	0,300	0,028	0,0084	1	0,872	0,0073	0,0064	0,00000	0,006
Σ			0,0303			0,0135	0,0091	0,0008	0,0099

a. Letak titik berat

$$- y_b = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{0,0135}{0,0303} = 0,45 \text{ m}$$

$$- y_a = d - y_b = 0,9 - 0,45 = 0,45 \text{ m}$$

b. Momen inersia terhadap alas I *Girder*

$$\begin{aligned} I_b &= \Sigma(A \cdot y^2) + \Sigma I_o \\ &= 0,0091 + 0,0008 \\ &= 0,0099 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

c. Momen inersia terhadap titik berat I *Girder*

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - A \cdot y_b^2 \\ &= 0,0099 - 0,0303 \cdot 0,45^2 \\ &= 0,003996326 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

d. Modulus penampang bagian atas

$$S_a = \frac{I_x}{y_a} = 0,0089 \text{ m}^3$$

e. Modulus penampang bagian bawah

$$S_b = \frac{I_x}{y_b} = 0,0089 \text{ m}^3$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka diperoleh rangkuman sebagai berikut :

$$\text{Luas penampang (A}_g\text{)} = 0,0303 \text{ m}^2$$

$$\text{Titik berat penampang (}\gamma_g\text{)} = 0,45 \text{ m}$$

Titik berat sayap atas ke permu-

$$\text{kaan atas (}\gamma_c\text{)} = (\gamma_g) = 0,45 \text{ m}$$

Titik berat sayap bawah ke per-

$$\text{mukaan atas (}\gamma_t\text{)} = d - \gamma_g = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Inersia penampang (I}_g\text{)} = 0,003996326 \text{ m}^4$$

Modulus elastis penampang non

$$\text{komposit (Ss}_{\text{top}}\text{)} = 0,0089 \text{ m}^3$$

Modulus elastis penampang non

$$\text{komposit (Ss}_{\text{bot}}\text{)} = 0,0089 \text{ m}^3$$

- **Pelat lantai $t = 200 \text{ mm}$**

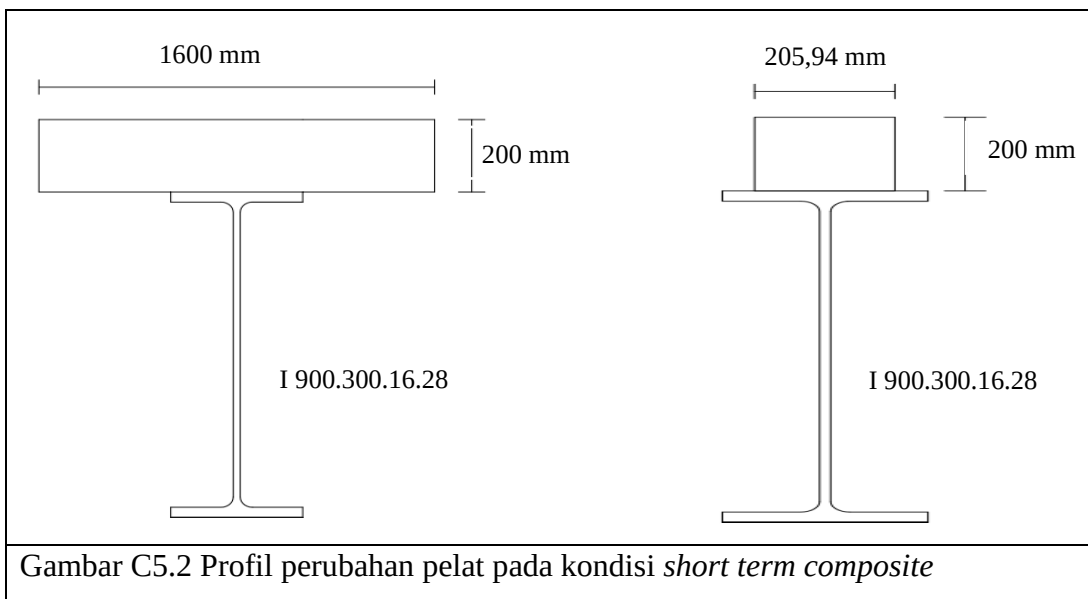
2. Kondisi *short term composite* (I Girder + Pelat Beton)

- a. Hitung nilai perbandingan modulus (n)

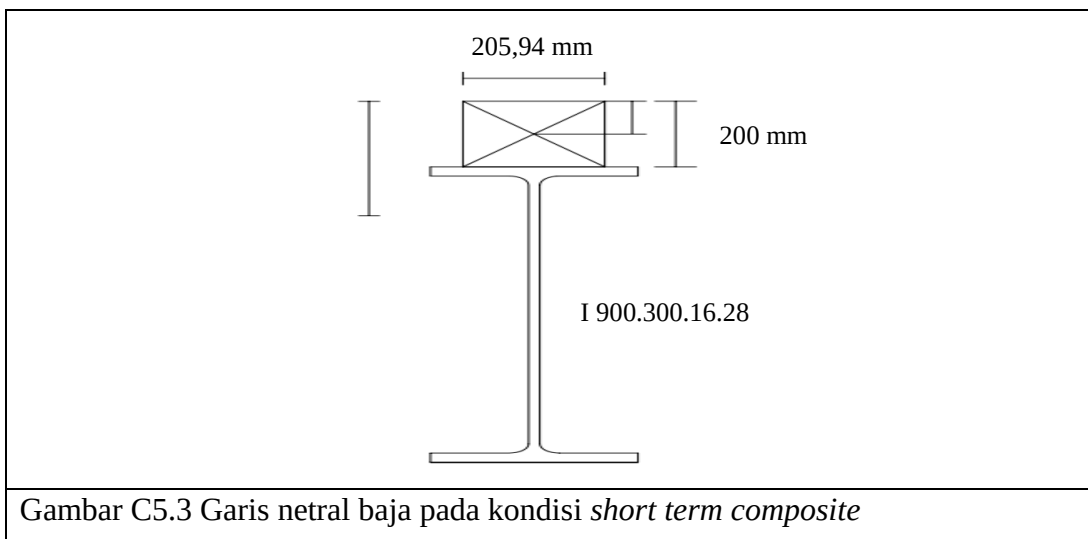
$$n = \frac{E_s}{E_c} = 7,77$$

- b. Transformasikan panjang pelat beton ke penampang baja

$$\frac{\text{Lebar balok}}{n} = \frac{1600}{7,77} = 205,94 \text{ mm}$$



- c. Menghitung letak garis netral (statis momen terhadap sisi atas)

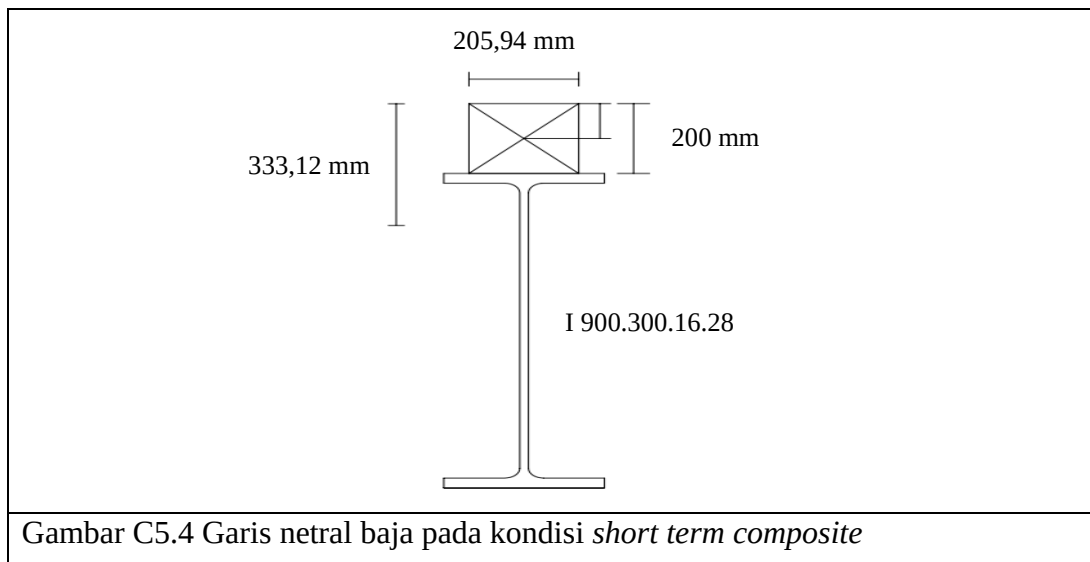


Tabel C5.2 Perhitungan titik berat penampang

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	A.y (mm)
Pelat Beton	= 200 x 205,94 = 41.188	= 0,5 x 200 = 100	= 41.188 x 100 = 4.118.800
I 900.300.16. 28	= 30.300	= (0,5 x 900) + 200 = 650	= 30.300 x 650 = 19.695.000
Jumlah	= 71.488		= 23.813.800

$$\gamma = \frac{\sum A.y}{\sum A} = \frac{23.813.800}{71.488} = 333,116047 \text{ mm}$$

d. Menghitung momen inersia pada kondisi *short term composite*



Gambar C5.4 Garis netral baja pada kondisi *short term composite*

C5.3 Perhitungan momen inersia penampang komposit

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	Io	d	Io+A.d ²
Pelat Beton	41.188	100	137293333	233,116	2375576589
I 900.300.16.28	30.300	650	3996326000	316,884	7038913813
Itr					9414490403

Dari hasil perhitungan tersebut maka diperoleh rangkuman sebagai berikut :

Lebar efektif kondisi *short term-*

$$\text{composite (bef}_n\text{)} = \frac{bs}{n} = 205,94 \text{ mm}$$

Titik berat penampang ke serat-

atas pelat beton (γ_{cn}) $= 0,333116047 \text{ m}$

Titik berat penampang ke serat-

atas gelagar (γ_{cgn}) $= \gamma_{cn} - t_s = 0,1331 \text{ m}$

Titik berat penampang ke serat-

bawah (γ_{tn}) $= d + t_s - \gamma_{cn} = 0,7669 \text{ m}$

Inersia penampang kondisi *short*

term composite (I_n) $= 0,0094144904 \text{ m}^4$

Modulus penampang kondisi

short term composite (S_{n_top}) $= \frac{I_n}{\gamma_{cn}} = 28.261.893,940 \text{ mm}^3$

Modulus penampang kondisi

short term composite (S_{n_bot}) $= \frac{I_n}{\gamma_{tn}} = 12.276.290,789 \text{ mm}^3$

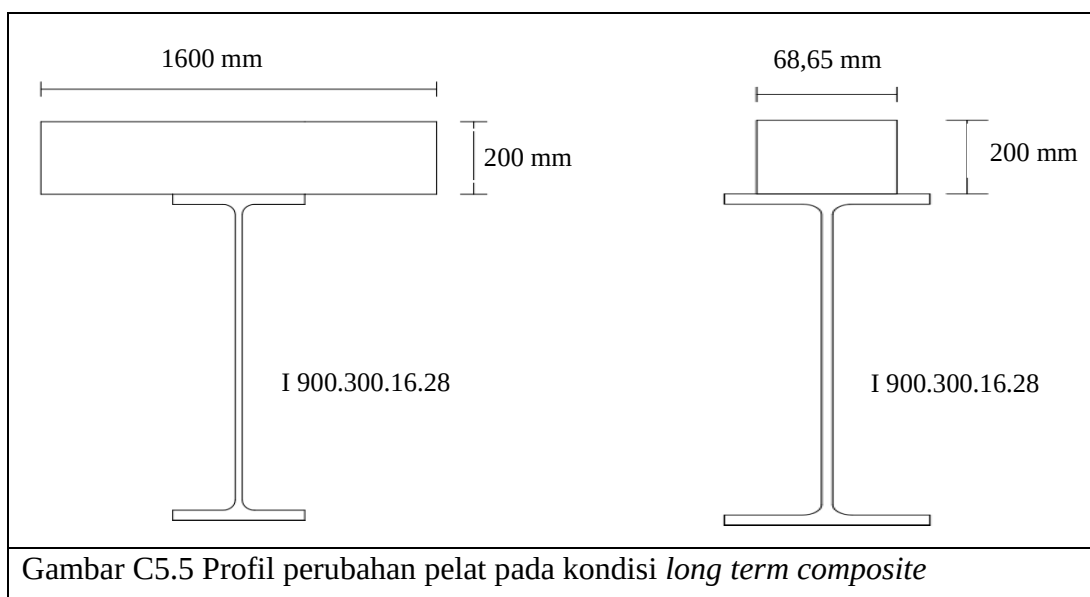
3. Kondisi *long term composite* (I Girder + Pelat Beton)

a. Hitung nilai perbandingan modulus (n)

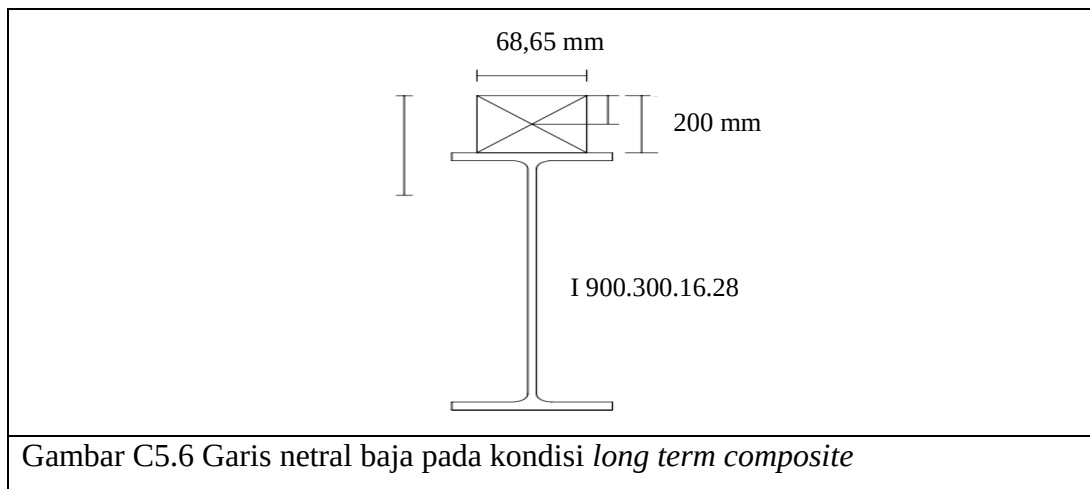
$$n = \frac{E_s}{E_c} = 7,77$$

b. Transformasikan panjang pelat beton ke penampang baja

$$\frac{\text{Lebar balok}}{3n} = \frac{1600}{68,64} = 68,65 \text{ mm}$$



- c. Menghitung letak garis netral (statis momen terhadap sisi atas)

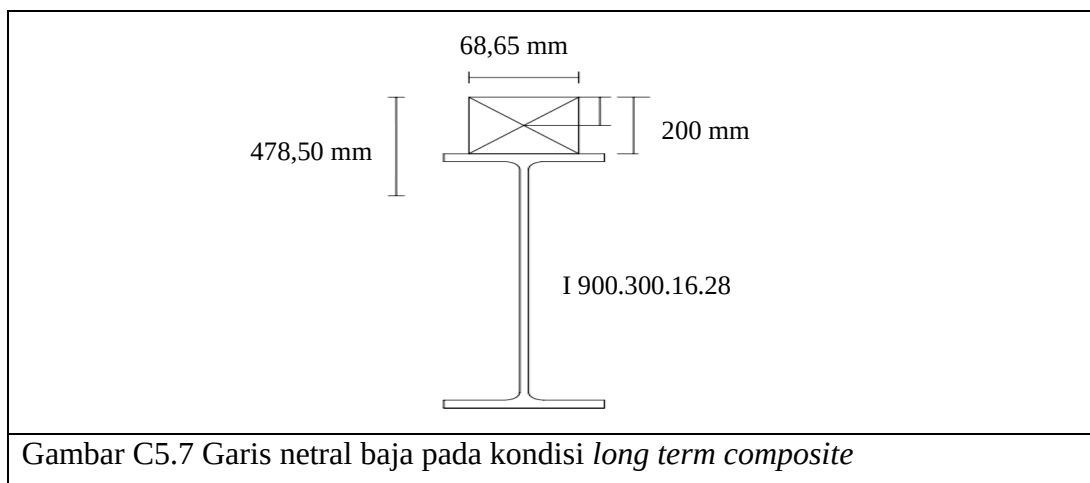


Tabel C5.4 Perhitungan titik berat penampang

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	A.y
Pelat Beton	13.730	100	1.373.000
I 900.300.16.28	30.300	650	19.695.000
Jumlah	44.030		21.068.000

$$\gamma = \frac{\sum A.y}{\sum A} = \frac{21.068.000}{44.030} = 478,491937 \text{ mm}$$

- d. Menghitung momen inersia pada kondisi *long term composite*



C5.5 Perhitungan momen inersia penampang komposit

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	Io	d	Io+A.d ²
Pelat Beton	13730	100	45766666,67	378,492	2375576589
I 900.300.16.28	30300	650	3996326000	171,508	4887600972
Itr					6900274531

Dari hasil perhitungan tersebut maka diperoleh rangkuman sebagai berikut :

$$3n = 23$$

Lebar efektif kondisi *long term-*

$$composite (b_{ef3n}) = \frac{bs}{3n} = 68,65 \text{ mm}$$

Titik berat penampang ke serat-

$$atas beton (\gamma_{c3n}) = 0,478491937 \text{ m}$$

Titik berat penampang ke serat-

$$atas gelagar (\gamma_{cg3n}) = \gamma_{c3n} - t_s = 0,28 \text{ m}$$

Titik berat penampang ke serat-

$$bawah (\gamma_{t3n}) = d + t_s - \gamma_{cg3n} = 0,62151 \text{ m}$$

Inersia penampang kondisi *long-*

$$term composite (I_{3n}) = 0,0069002745 \text{ m}^4$$

Modulus penampang kondisi

$$long term composite (S_{3_top}) = \frac{I_{3n}}{\gamma_{c3n}} = 14.420.879,42 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang kondisi

$$long term composite (S_{3_bot}) = \frac{I_{3n}}{\gamma_{t3n}} = 11.102.469,86 \text{ mm}^3$$

- **Pelat lantai tebal t = 250 mm**

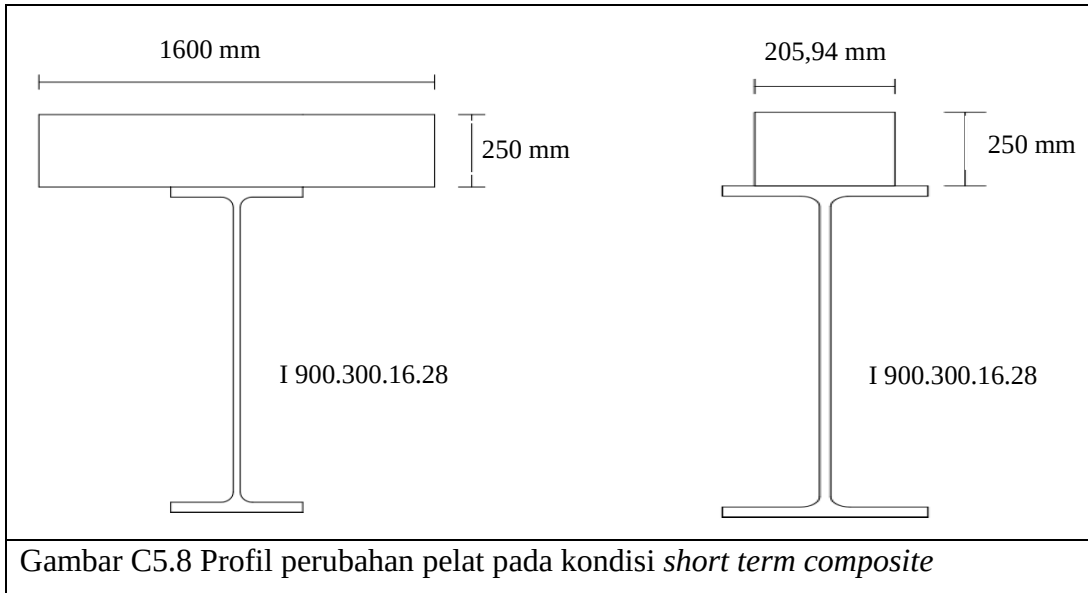
2. Kondisi *short term composite* (I Girder + Pelat Beton)

a. Hitung nilai perbandingan modulus (n)

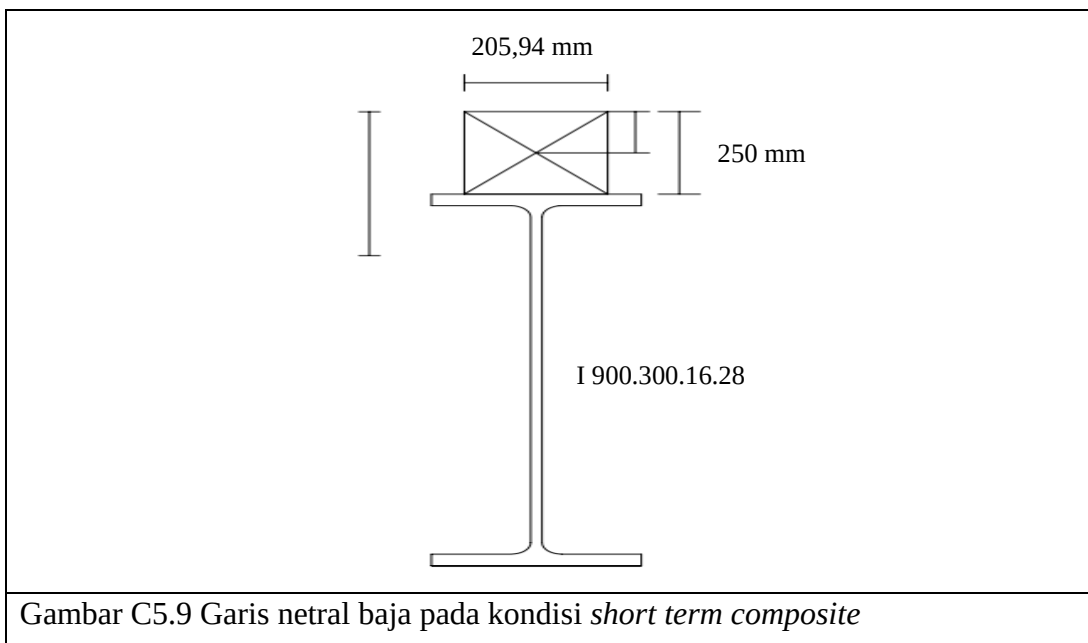
$$n = \frac{Es}{Ec} = 7,77$$

- b. Transformasikan panjang pelat beton ke penampang baja

$$\frac{\text{Lebar balok}}{n} = \frac{1600}{7,77} = 205,94 \text{ mm}$$



- c. Menghitung letak garis netral (statis momen terhadap sisi atas)

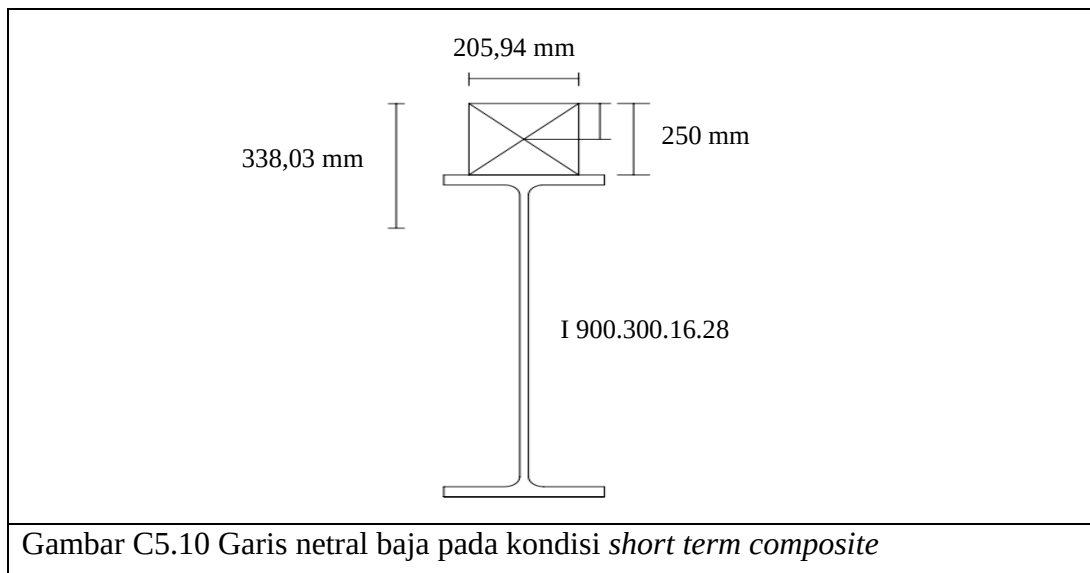


Tabel C5.6 Perhitungan titik berat penampang

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	A.y
Pelat Beton	51.458	125	6.435.625
I 900.300.16.28	30.300	700	21.210.000
Jumlah	81.785		27.645.625

$$\gamma = \frac{\sum A.y}{\sum A} = \frac{27645625}{81785} = 338,028061 \text{ mm}$$

d. Menghitung momen inersia pada kondisi *short term composite*



C5.7 Perhitungan momen inersia penampang komposit

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	Io	d	Io+A.d ²
Pelat Beton	51458	125	268151042	213,028	2604589507
I 900.300.16.28	30300	700	3996326000	361,972	7966343636
Itr					10571000000

Dari hasil perhitungan tersebut maka diperoleh rangkuman sebagai berikut :

Lebar efektif kondisi *short term*-

$$composite (b_{ef_n}) = \frac{bs}{n} = 205,94 \text{ mm}$$

$$\text{Titik berat penampang ke serat-atas pelat beton } (\gamma_{cn}) = 0,338043367 \text{ m}$$

$$\text{Titik berat penampang ke serat-atas gelagar } (\gamma_{cgn}) = \gamma_{cn} - t_s = 0,088 \text{ m}$$

$$\text{Titik berat penampang ke serat-bawah } (\gamma_{tn}) = d + t_s - \gamma_{cn} = 0,8120 \text{ m}$$

$$\text{Inersia penampang kondisi } short \text{ term composite } (I_n) = 0,010571504 \text{ m}^4$$

$$\text{Modulus penampang kondisi } short \text{ term composite } (S_{n_top}) = \frac{I_n}{\gamma_{cn}} = 31.272.626,627 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus penampang kondisi } short \text{ term composite } (S_{n_bot}) = \frac{I_n}{\gamma_{tn}} = 13.019.788,952 \text{ mm}^3$$

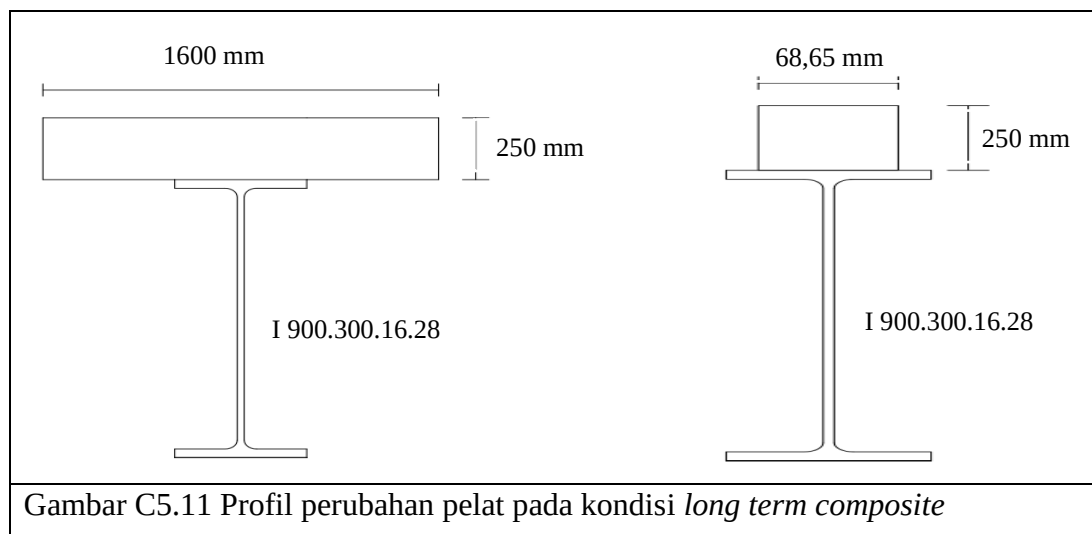
3. Kondisi *long term composite* (I Girder + Pelat Beton)

a. Hitung nilai perbandingan modulus (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 7,77$$

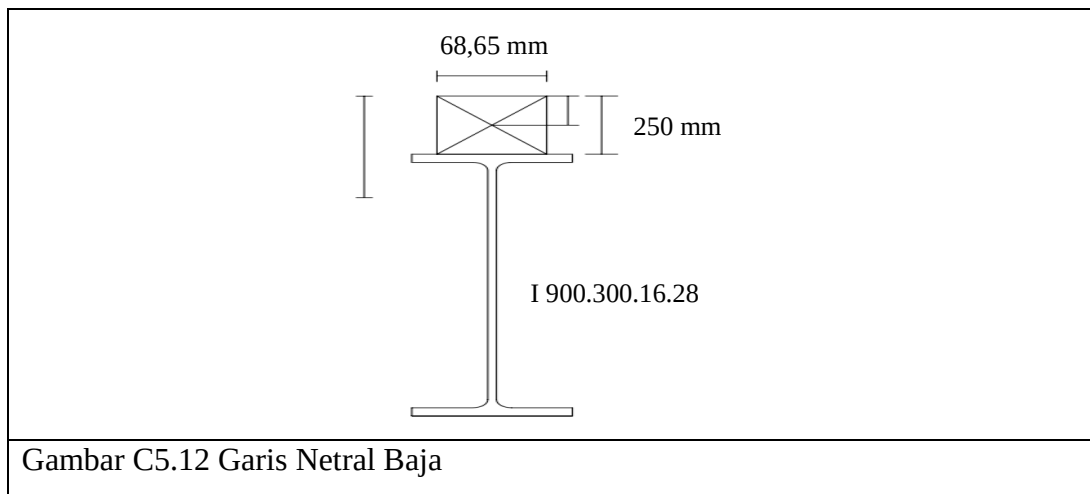
b. Transformasikan panjang pelat beton ke penampang baja

$$\frac{\text{Lebar balok}}{3n} = \frac{1600}{68,64} = 68,65 \text{ mm}$$



Gambar C5.11 Profil perubahan pelat pada kondisi *long term composite*

- c. Menghitung letak garis netral (statis momen terhadap sisi atas)

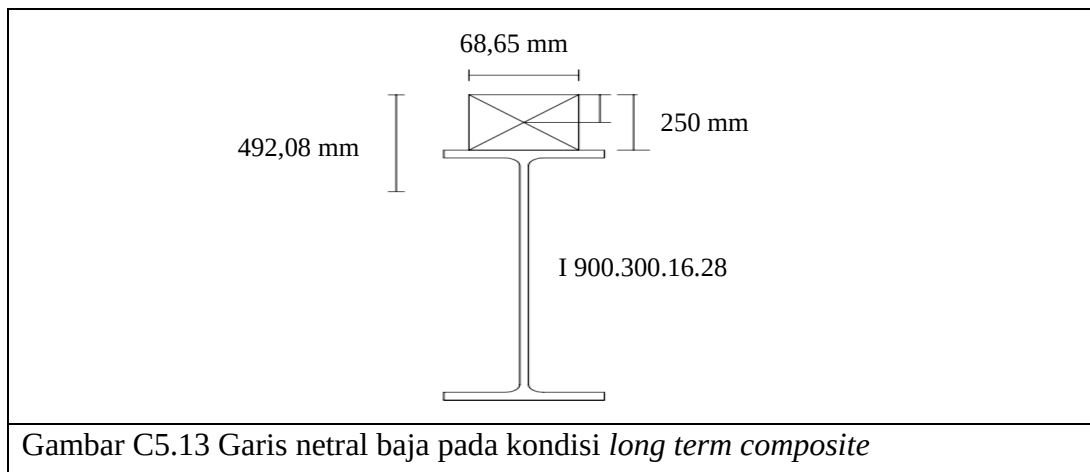


Tabel C5.8 Perhitungan titik berat penampang

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	A.y
Pelat Beton	17.162,5	125	2.145.312,5
I 900.300.16.28	30.300	700	21.210.000
Jumlah	47.462,5		23.355.312,5

$$\gamma = \frac{\sum A.y}{\sum A} = \frac{23355312,5}{47462,5} = 492,079273 \text{ mm}$$

- d. Menghitung momen inersia pada kondisi *long term composite*



C5.9 Perhitungan momen inersia penampang komposit

Segmen	Luas Transformasi (A) (mm)	Lengan Momen (y) (mm)	Io	d	Io+A.d ²
Pelat Beton	17162,5	125	89388021	367,070	2401986716
I 900.300.16.28	30300	700	3996326000	207,921	5306226169
I _{tr}					7708212885

Dari hasil perhitungan tersebut maka diperoleh rangkuman sebagai berikut :

$$3n = 23$$

Lebar efektif kondisi *long term-*

$$composite (b_{ef_{3n}}) = \frac{bs}{3n} = 68,65 \text{ mm}$$

Titik berat penampang ke serat-

$$atas beton (\gamma_{c3n}) = 0,492100867 \text{ m}$$

Titik berat penampang ke serat-

$$atas gelagar (\gamma_{cg3n}) = \gamma_{c3n} - t_s = 0,24 \text{ m}$$

Titik berat penampang ke serat-

$$bawah (\gamma_{t3n}) = d + t_s - \gamma_{cg3n} = 0,65790 \text{ m}$$

Inersia penampang kondisi *long-*

$$term composite (I_{3n}) = 0,007708312 \text{ m}^4$$

Modulus penampang kondisi

$$long term composite (S_{3_top}) = \frac{I_{3n}}{\gamma_{c3n}} = 15.664.089,45 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang kondisi

$$long term composite (S_{3_bot}) = \frac{I_{3n}}{\gamma_{t3n}} = 11.716.555,95 \text{ mm}^3$$

Lampiran C.6 Resume perhitungan lebar efektif pelat dan *section properties*

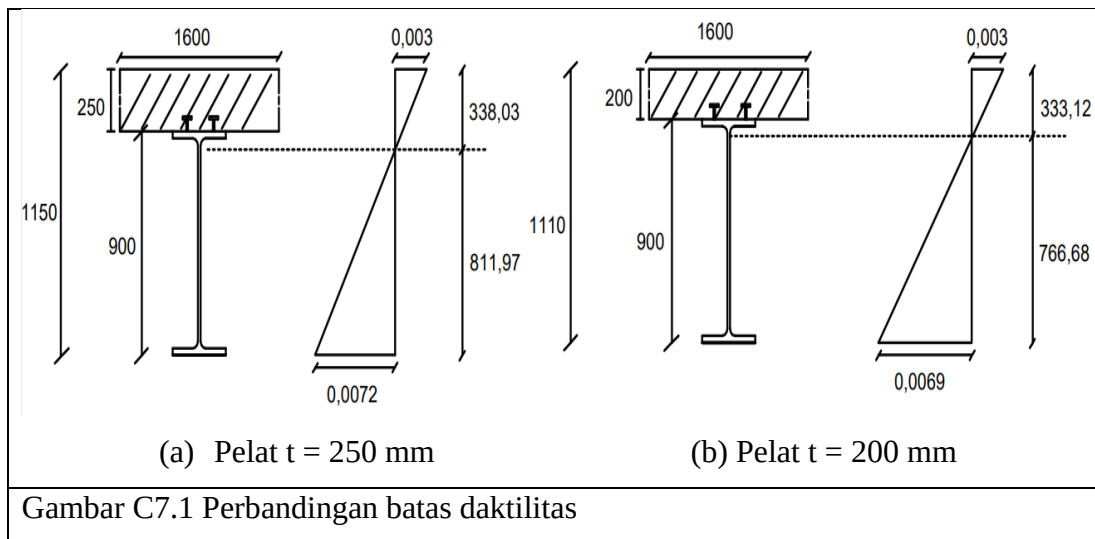
Tabel C6.1 Resume pada keadaan *short term composite*

Indikator	Simbol	Satuan	Pelat Lantai	
			t = 200 mm	t = 250 mm
Lebar efektif	b_{ef_n}	mm	205,94	205,94
Titik berat penampang	γ_{cn}	m	0,333116047	0,338043367
	γ_{cgn}	m	0,1331	0,088
	γ_{tn}	m	0,7669	0,8120
Inersia penampang	In	m ⁴	0,0094144904	0,010571504
Modulus penampang	Sn_top	mm ³	28.261.893,940	31.272.626,627
	Sn_bot	mm ³	12.276.290,789	13.019.788,952

Tabel C6.2 Resume pada keadaan *long term composite*

Indikator	Simbol	Satuan	Pelat Lantai	
			t = 200 mm	t = 250 mm
Lebar efektif	$b_{ef_{3n}}$	mm	68,65	68,65
Titik berat penampang	γ_{c3n}	m	0,478491937	0,492100867
	γ_{cg3n}	m	0,28	0,24
	γ_{t3n}	m	0,62151	0,65790
Inersia penampang	I_{3n}	m ⁴	0,0069002745	0,007708312
Modulus penampang	S _{3_top}	mm ³	14.420.879,42	15.664.089,45
	S _{3_bot}	mm ³	11.102.469,86	11.716.555,95

Lampiran C.7 Perhitungan Daktilitas



• Pelat $t = 250$ mm

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{a} = \frac{\varepsilon_u}{b}$$

$$\frac{0,003}{338,03} = \frac{\varepsilon_u}{811,97}$$

$$338,03 \varepsilon_u = 2,43591$$

$$\varepsilon_u = 0,0072 \text{ mm}$$

Nilai daktilitas :

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0,0072}{0,002} = 3,60$$

• Pelat $t = 200$ mm

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{a} = \frac{\varepsilon_u}{b}$$

$$\frac{0,003}{333,12} = \frac{\varepsilon_u}{766,68}$$

$$333,12 \varepsilon_u = 2,30064$$

$$\varepsilon_u = 0,0069 \text{ mm}$$

Nilai daktilitas :

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0,0069}{0,002} = 3,45$$

Lampiran C.8 Perhitungan Beban Gaya Dalam

A. Beban Mati

1. Beban mati gelagar (W_g)

$$A_g = 0,0303 \text{ m}^2$$

$$\gamma_s = 78,50 \text{ kN/m}^3$$

$$W_g = A_g \cdot \gamma_s = 2,38 \text{ kN/m}$$

2. Beban diafgragma (W_{dp})

$$Lb = 20 \text{ m}$$

$$V_{dp} = 0,00828 \text{ m}^3$$

$$n_{dp} = 3$$

$$W_{dp} = V_{dp} \cdot \frac{n_{dp}}{Lb} \cdot \gamma_s = 0,0975 \text{ kN/m}$$

Total beban mati gelagar + diafgragma (W_{MS})

$$W_{MS} = 2,48 \text{ kN/m}$$

3. Beban mati pelat (W_s)

- Tebal pelat $t = 200 \text{ mm}$

$$t_s = 0,20 \text{ m}$$

$$b_s = 1,60 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$W_s = b_s \cdot t_s \cdot \gamma_c = 7,68 \text{ kN/m}$$

- Tebal pelat $t = 250 \text{ mm}$

$$t_s = 0,25 \text{ m}$$

$$b_s = 1,60 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$W_s = b_s \cdot t_s \cdot \gamma_c = 9,60 \text{ kN/m}$$

4. Beban mati aspal awal (W_a)

$$b_s = 1,60 \text{ m}$$

$$t_a = 0,05 \text{ m}$$

$$\gamma_a = 22,4 \text{ kN/m}^3$$

$$W_a = b_s \cdot t_a \cdot \gamma_a = 1,79 \text{ kN/m}$$

5. Beban mati aspal overlay (W_{a1})

$$b_s = 1,60 \text{ m}$$

$$t_a = 0,04 \text{ m}$$

$$\gamma_a = 22,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\mathbf{W_{a1}} = b_s \cdot t_{a1} \cdot \gamma_a = 1,43 \text{ kN/m}$$

6. Beban *barrier*

$$n_b = 2$$

$$n_g = 6$$

$$W_b = 8,4 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{W_{br}} = W_b \cdot \frac{n_b}{n_g} = 2,80 \text{ kN/m}$$

7. Beban *railing*

$$n_{rl} = 2$$

$$n_g = 6$$

$$W_r = 1 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{W_{rl}} = W_r \cdot \frac{n_{rl}}{n_g} = 0,33 \text{ kN/m}$$

8. Beban trotoar

$$n_t = 2$$

$$n_g = 6$$

$$W_t = 6,07 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{W_{tr}} = W_t \cdot \frac{n_t}{n_g} = 2,02 \text{ kN/m}$$

Total beban mati tambahan ($\mathbf{W_{MA}}$)

$$\mathbf{W_{MA}} = \mathbf{W_a} + \mathbf{W_{br}} + \mathbf{W_{rl}} + \mathbf{W_{tr}} = 6,95 \text{ kN/m}$$

Total beban aspal awal ($\mathbf{W_{MA1}}$)

$$\mathbf{W_{MA1}} = \mathbf{W_{a1}} = 1,43 \text{ kN/m}$$

Note : untuk mempermudah perhitungan, berat diafragma diasumsikan terbagi merata di atas gelagar.

B. Beban Hidup

1. Beban lajur “D” (TD)

Panjang bentang jembatan (L) = 20 m

$L < 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa}$

$L > 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 (0,5 + 15 / L) \text{ kPa}$

Karena $L < 30 \text{ m}$, maka nilai $q = 9,0$

Beban merata pada balok (BTR) = $9,0 \text{ kN/m}^2$

Beban garis (P) = $49,00 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (DLA) = $40,00\%$

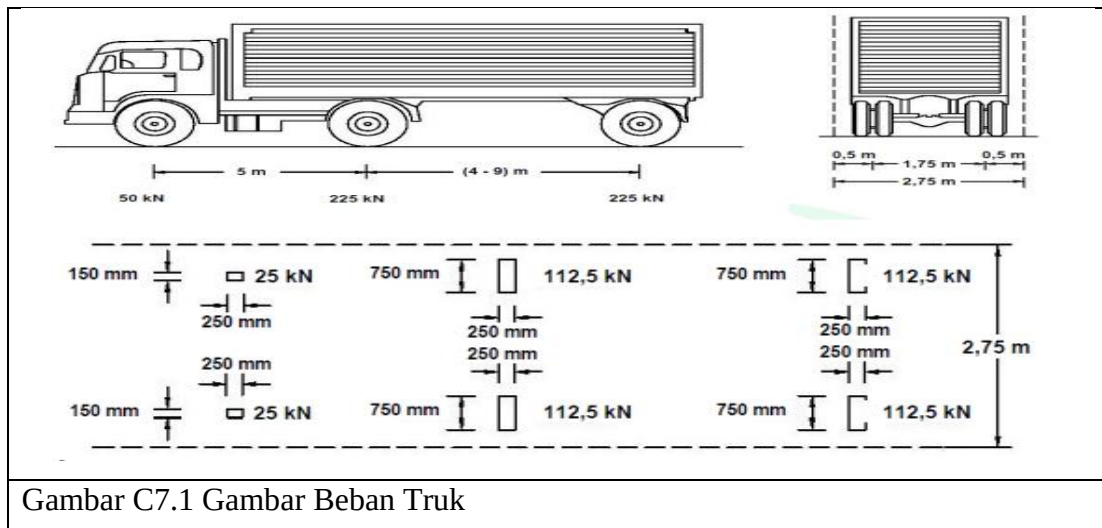
Beban terpusat pada balok (BGT) = $P * (1 + \text{DLA}) = 68,60 \text{ kN/m}$

2. Beban truk “T” (TT)

Beban truk “T” (P) = 500 kN

Faktor beban dinamis (FBD) = $30,00\%$

* Beban truk (T) yang disyaratkan SNI 1725:2016 adalah 500 kN



Terbagi dalam 3 sumbu as roda truk :

Beban As 1 $P1 = 50 \text{ kN}$

$PT1 = P1 * (1 + \text{FBD})$

$= 65 \text{ kN}$

Karena, $TTB > 5\%TTB$

Maka diambil gaya rem $TTB = 41,667 \text{ kN}$

Gaya rem tersebut didistribusikan ke setiap joint pertemuan balok lantai jembatan.

Jumlah *joint* (n) = 30

Gaya rem pada setiap joint = $TTB / n = 1,3889 \text{ kN}$

4. Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)

Trotoar pada jembatan yang lebarnya $> 60 \text{ cm}$ maka harus direncanakan terhadap beban pejalan kaki sebesar 5 kPa .

Lebar 1 trotoar (b) = $1,00 \text{ m}$

Intensitas beban pada trotoar (q) = 5 kN/m^2

Distribusi beban pejalan kaki (Q_{TP}) = 5 kN/m^2

Lampiran C.9 Gaya Dalam pada Jembatan

- Untuk pelat lantai $t = 200 \text{ mm}$

Momen akibat beban mati gelagar +

$$\text{diafragma } (M_{MS_g}) = \frac{1}{8} \cdot W_{MS} \cdot L_b^2 = 123,80 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen akibat berat pelat dek } (M_{MS_s}) = \frac{1}{8} \cdot W_S \cdot L_b^2 = 384,00 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban mati tambahan

$$(M_{MA}) = \frac{1}{8} \cdot W_{MA} \cdot L_b^2 = 347,43 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban mati aspal awal

$$(M_{MA1}) = \frac{1}{8} \cdot W_{MA1} \cdot L_b^2 = 71,68 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen akibat beban hidup } (M_{\max}) = 1268,80 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen akibat beban hidup } (M_{TSF}) = 808,85 \text{ kN.m}$$

Geser akibat beban mati gelagar

$$(V_{MS_g}) = \frac{1}{2} \cdot W_{MS} \cdot L_b = 24,76 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat berat pelat dek } (V_{MS_s}) = \frac{1}{2} \cdot W_S \cdot L_b = 76,80 \text{ kN}$$

Geser akibat beban mati tambahan

$$(V_{MA}) = \frac{1}{2} \cdot W_{MA} \cdot L_b = 69,49 \text{ kN}$$

Geser akibat beban mati aspal awal

$$(V_{MA1}) = \frac{1}{2} \cdot W_{MA1} \cdot L_b = 14,34 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat beban hidup } (V_{\max}) = 269,03 \text{ kN}$$

Dari gaya-gaya tersebut, maka diperoleh persamaan kombinasi pembebanan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kuat I} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) + 1,8(M_{\max}) \\ &= 3700,105 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat II} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) + 1,4(M_{\max}) \\ &= 3192,585 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat III} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) \\ &= 1416,265 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kuat IV} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) \\
&= 1416,265 \text{ kN.m} \\
\text{Kuat V} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) \\
&= 1416,265 \text{ kN.m} \\
\text{Ekstrem} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) + 0,5(M_{MAX}) \\
&= 2050,665 \text{ kN.m} \\
\text{Layan I} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) + 1(M_{MAX}) \\
&= 2195,716 \text{ kN.m} \\
\text{Layan II} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) + 1,3(M_{MAX}) \\
&= 2576,356 \text{ kN.m} \\
\text{Layan III} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) + 0,8(M_{MAX}) \\
&= 1941,956 \text{ kN.m} \\
\text{Layan IV} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) \\
&= 926,916 \text{ kN.m} \\
\text{Fatik} &= 0,75 M_{MAX} \\
&= 951,600 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

- **Untuk pelat lantai $t = 250 \text{ mm}$**

Momen akibat beban mati gelagar +

$$\text{diafragma } (M_{MS_g}) = \frac{1}{8} \cdot W_{MS} \cdot L_b^2 = 123,80 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen akibat berat pelat dek } (M_{MS_s}) = \frac{1}{8} \cdot W_s \cdot L_b^2 = 480,00 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban mati tambahan

$$(M_{MA}) = \frac{1}{8} \cdot W_{MA} \cdot L_b^2 = 347,43 \text{ kN.m}$$

Momen akibat beban mati aspal awal

$$(M_{MA1}) = \frac{1}{8} \cdot W_{MA1} \cdot L_b^2 = 71,68 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen akibat beban hidup } (M_{max}) = 1268,80 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momen akibat beban hidup } (M_{TSF}) = 808,85 \text{ kN.m}$$

Geser akibat beban mati gelagar

$$(V_{MS_g}) = \frac{1}{2} \cdot W_{MS} \cdot L_b = 24,76 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat berat pelat dek } (V_{MS_s}) = \frac{1}{2} \cdot W_S \cdot L_b = 96,00 \text{ kN}$$

Geser akibat beban mati tambahan

$$(V_{MA}) = \frac{1}{2} \cdot W_{MA} \cdot L_b = 69,49 \text{ kN}$$

Geser akibat beban mati aspal awal

$$(V_{MA1}) = \frac{1}{2} \cdot W_{MA1} \cdot L_b = 14,34 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat beban hidup } (V_{max}) = 269,03 \text{ kN}$$

Dari gaya-gaya tersebut, maka diperoleh persamaan kombinasi pembebanan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kuat I} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) + 1,8(M_{MAX}) \\ &= 3824,905 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat II} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) + 1,4(M_{MAX}) \\ &= 3317,385 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat III} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) \\ &= 1541,065 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat IV} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) \\ &= 1541,065 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat V} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) \\ &= 1541,065 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ekstrem} &= 1,1(M_{MS_g}) + 1,3(M_{MS_s}) + 2(M_{MA}) + 1,2(M_{MA1}) + 0,5(M_{MAX}) \\ &= 2175,465 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Layan I} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) + 1(M_{MAX}) \\ &= 2291,716 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Layan II} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) + 1,3(M_{MAX}) \\ &= 2672,356 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Layan III} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) + 0,8(M_{MAX}) \\ &= 2037,956 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Layan IV} &= 1(M_{MS_s}) + 1(M_{MS_g}) + 1(M_{MA}) + 1(M_{MA1}) \\ &= 1022,916 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Fatik} = 0,75 M_{MAX}$$

$$= 951,600 \text{ kN.m}$$

Dari persamaan-persamaan tersebut, maka diperoleh momen maksimum pada kombinasi Kuat I dan Layan II yang dapat dilihat dibawah ini :

- Tebal pelat $t = 200 \text{ mm}$

$$Mu_{ultimit} = 3700,105 \text{ kN.m}$$

$$Mu_{layan} = 2576,356 \text{ kN.m}$$

- Tebal pelat $t = 250 \text{ mm}$

$$Mu_{ultimit} = 3824,905 \text{ kN.m}$$

$$Mu_{layan} = 2672,356 \text{ kN.m}$$

Lampiran C.10 Pemeriksaan Batasan Penampang

Penampang harus diperiksa untuk memastikan stabilitas profil yang digunakan memenuhi persyaratan. Stabilitas diperiksa berdasarkan rasio ketebalan lebar terhadap tebal sayap dan pelat badan yang dihitung sebagai berikut :

Batas Penampang Pelat Sayap

Rasio lebar terhadap tebal sayap atas	$\frac{bc}{2tc} = 5,36$
Rasio lebar terhadap tebal sayap bawah	$\frac{bt}{2tt} = 5,36$
Batasan minimal lebar sayap	$\frac{D}{6} = 140,67 \text{ mm}$
Batasan minimal tebal sayap	$1,1_{tw} = 17,6 \text{ mm}$
Momen inersia sayap atas terhadap sumbu vertikal	$I_{yc} = \frac{tc.bc^3}{12} = 63000000 \text{ mm}^4$
Momen inersia sayap bawah terhadap sumbu vertikal	$I_{yt} = \frac{tt.bt^3}{12} = 63000000 \text{ mm}^4$
Cek Proporsionalitas Pelat Sayap	$\frac{bc}{2tc} \leq 12 \quad \dots\dots \text{ (OK)}$
	$\frac{bt}{2tt} \leq 12 \quad \dots\dots \text{ (OK)}$
	$bc \geq \frac{D}{6} \quad \dots\dots \text{ (OK)}$
	$bt \geq \frac{D}{6} \quad \dots\dots \text{ (OK)}$
	$tc \geq 1,1_{tw} \quad \dots\dots \text{ (OK)}$
	$tt \geq 1,1_{tw} \quad \dots\dots \text{ (OK)}$
	$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_{yt}} \leq 10 \quad \dots\dots \text{ (OK)}$

Batasan Rasio Kelangsingan Pelat Badan

Rasio tinggi terhadap tebal pelat badan $\frac{D}{tw} = 52,75$

Cek Proporsionalitas Pelat Badan $\frac{D}{tw} \leq 150 \dots\dots$ (OK)

Maka, dikategorikan sebagai penampang tidak langsing

Klasifikasi Penampang

$F_{yf} = F_y = 355 \text{ Mpa}$

Cek kuat leleh penampang $F_{yf} \leq 480 \text{ Mpa} \dots\dots$ (OK)

Lampiran C.11 Pemeriksaan Komponen

- **Tebal pelat $t = 200 \text{ mm}$**

1. **Constructibility**

1.1 **Akibat Lentur**

1.1.1 **Pelat sayap atas**

Momen yang terjadi pada saat konstruksi :

$$M_{MS_g} = 123,80 \text{ kN.m}$$

$$M_{MS_s} = 384,00 \text{ kN.m}$$

Tegangan pada sayap atas :

$$f_{bu1} = \frac{(1,25M_{MS_g} + 1,3M_{MS_s}) \cdot \gamma_c}{I_g} = 73,64 \text{ Mpa}$$

Penentuan tegangan lateral sayap

$$D_c = \frac{D}{2} = 422 \text{ mm} ; d_s = 0$$

$$F_{yc} = F_y = 355 \text{ Mpa}$$

Untuk *constructibility* nilai faktor *web load shedding* (R_b) adalah 1

$$R_b = 1$$

Panjang tak terkekang (L_b) = 5000 mm

Jari-jari girasi efektif untuk tekuk torsi lateral (r_t)

$$r_t = \frac{bc}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c \cdot t_w}{bc \cdot t_c})}} = 76,91 \text{ mm}$$

Hitung batasan panjang tanpa *bracing* (L_p) untuk mencapai tahanan lentur nominal :

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E_s}{F_{yc}}} = 1825,51 \text{ mm}$$

Hitung batas panjang tidak terkekang (L_r) untuk mencapai leleh nominal awal pada kedua pelat sayap :

$$L_r = \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{Es}{F_{yc}}} = 5732,09 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor modifikasi momen (C}_b\text{)} = 1$$

Tegangan tekuk torsi lateral elastis

$$\text{sayap yang ditinjau (F}_{cr}\text{)} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot Es}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} = 466,57 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar pelat dek kantilever (L}_{ovh}\text{)} = 1250 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (ts)} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Berat pelat (P}_{ovh}\text{)} = L_{ovh} \cdot ts \cdot \gamma_c = 6,0 \text{ kN/m}$$

Kombinasi kuat I beban lateral (beban mati) :

$$P_{Kuat1_DL} = \frac{L_{ovh}}{D} \cdot (1,3 \cdot P_{ovh}) = 11,55 \text{ kN/m}$$

$$\text{Momen lentur lateral (M}_{KUAT1_DL}\text{)} = \frac{P_{kuat1_DL} \cdot L_b^2}{12} = 24,07 \text{ kN.m}$$

$$\text{Tegangan lentur lateral sayap atas (f}_l\text{)} = \frac{M_{kuat1_DL}}{\left(\frac{t_c \cdot b \cdot c^2}{6}\right)} = 57,30 \text{ MPa}$$

$$\text{Cek batasan tegangan lateral sayap} = f_l \leq 0,6 \cdot F_{yc}$$

$$= 57,31 \leq 213 \text{ MPa} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

a. Periksa tahanan nominal leleh pada sayap atas

Tegangan pada sayap atas

$$f_{bu1} = 73,64 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor reduksi untuk lentur (}\phi f\text{)} = 0,9$$

Untuk penampang dengan material yang sejenis, maka :

$$\text{Faktor penampang hibrid (R}_h\text{)} = 1$$

Nominal leleh sayap

$$\phi f \cdot R_h \cdot F_y = 319,50 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} + f_l \leq \phi f \cdot R_h \cdot F_y$$

$$130,95 \leq 319,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_1 = \frac{f_{bu1} + f_l}{\phi \cdot R_h \cdot F_y} = 0,41$$

b. Periksa tahanan lentur pada sayap atas

- Tahanan tekuk lokal

Hitung rasio kelangsingan pelat sayap tekan (λ_f) :

$$\lambda_f = \frac{b_c}{2 \cdot t_c} = 5,36$$

Hitung batas rasio kelangsingan untuk pelat sayap tekan kompak (λ_{pf}) :

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E_s}{F_{yc}}} = 9,02$$

Jika $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ ($5,36 \leq 9,02$) Pelat sayap tekan kompak

Maka tahanan tekuk lokal pada sayap atas adalah

$$F_{ncFLB} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 355 \text{ MPa}$$

- Tahanan tekuk torsi lateral

D_c adalah ketinggian pelat badan dalam tekan

$$D_c = \gamma_c - t_c = 422 \text{ mm}$$

Jika $L_p < L_b \leq L_r$ maka :

$$C_b = 1$$

$$F_{yr} = 0,7 \cdot F_{yc} = 248,5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} F_{ncLTB} &= C_b \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \\ &= 268,52 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahanan lentur pada sayap atas gunakan nilai F_{nc} terkecil dari 2 kondisi, sehingga :

$$F_{nc} = \min(F_{ncFLB}, F_{ncLTB}) = 268,52 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} = 73,64 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} + \frac{1}{3} f_l = 92,74 \text{ MPa}$$

$$\phi \cdot F_{nc} = 241,67 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi \cdot F_{nc}$$

$$92,74 \leq 241,67 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_2 = \frac{f_{bu1} + \frac{1}{3} f_l}{\phi \cdot F_{nc}} = 0,38$$

1.1.2 Pelat sayap bawah

Tegangan pada sayap bawah :

$$f_{bu2} = \frac{(1,25M_{MS-g} + 1,3M_{MS-s}) \cdot \gamma_t}{I_g} = 73,64 \text{ MPa}$$

Pelat sayap tarik harus memenuhi persamaan berikut :

$$f_{yt} = f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\phi_f \cdot R_h \cdot F_{yt} = 319,50 \text{ MPa}$$

$$f_{bu2} + f_l \leq \phi_f \cdot R_h \cdot F_{yt}$$

$$130,95 \leq 319,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_3 = \frac{f_{bu2} + f_l}{\phi_f \cdot R_h \cdot F_{yt}} = 0,41$$

1.1.3 Pelat badan (web)

$$f_{bu3} \leq \phi_f F_{crw}$$

$$\text{Tekuk lentur koefisien (k)} = \frac{9}{\left(\frac{Dc^2}{D}\right)} = 36$$

$$\text{Tahanan tekuk di badan (F}_{crw}) = \frac{0,9 \cdot E_s \cdot k}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} = 2328,79 \text{ MPa}$$

Akan tetapi, nilai F_{crw} tidak boleh lebih besar dari :

$$F_{yw} = F_y = 355 \text{ MPa}$$

$$R_h \cdot F_{yc} = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{yw}}{0,7} = 507,14 \text{ MPa}$$

Maka tahanan tekuk di badan adalah :

$$F_{crw} = \min (F_{crw}, R_h \cdot F_{yc}, \frac{F_{yw}}{0,7}) = 355 \text{ MPa}$$

$$\phi_f \cdot F_{crw} = 319,50 \text{ MPa}$$

Periksa ketahanan lentur di badan

$$f_{bu3} \leq \phi_f \cdot F_{crw}$$

$$f_{bu3} = f_{bu1} = 73,64 \text{ MPa}$$

$$73,64 \leq 319,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_4 = \frac{f_{bu3}}{\phi_f \cdot F_{crw}} = 0,23$$

1.2 Akibat Geser

Tahanan geser harus memenuhi persamaan di bawah ini :

$$V_u \leq \phi_v \cdot V_{cr}$$

Jarak antara pengaku transversal untuk panel ujung dengan atau tanpa pengaku longitudinal tidak boleh melebihi $1,5D$.

Jarak antar pengaku transversal di tumpuan (d_o) = 550 mm

$$d_o \leq 1,5 \cdot D$$

$$1,5 \cdot D = 1266 \text{ mm}$$

koefisien tekuk geser :

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_o}{D}\right)^2} = 16,77$$

- Hitung gaya geser pada saat konstruksi

$$V_u = 1,25V_{MS_g} + 1,3V_{MS_s}$$

$$V_u = 130,79 \text{ kN}$$

- Hitung gaya geser plastis (V_p)

$$V_p = 0,58F_{yw} \cdot d \cdot t_w$$

$$V_p = 2780,47 \text{ kN}$$

- Hitung rasio antara tahanan tekuk geser terhadap tahanan leleh geser (C)

$$C = 1 \quad \text{jika} \quad \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot k}{F_{yw}}}$$

$$52,75 \leq 108,878$$

- Nilai geser nominal pada penampang adalah (V_n) :

$$V_{cr} = C \cdot V_p = 2780,47 \text{ kN}$$

$$V_n = V_{cr} = 2780,47 \text{ kN}$$

$$\phi_v = 1,0$$

$$\phi_v \cdot V_n = 2780,47 \text{ kN}$$

$$V_u \leq \phi_v \cdot V_n$$

$$130,79 \leq 2780,47 \text{ kN}$$

$$\text{Rasio}_5 = \frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = 0,05$$

2. Kondisi Batas Layan

2.1 Pelat sayap atas

Tegangan pada pelat sayap atas :

$$f_{bu4} = \frac{1,0(MMS_g + MMS_s)\gamma c}{I_g} + \frac{1,0(MMA).\gamma c g 3n}{I 3n} + \frac{1,3(Mmax).\gamma c g n}{I n}$$

$$f_{bu4} = 94,52 \text{ MPa}$$

$$R_h = 1$$

$$0,95.R_h.F_{yc} = 337,25 \text{ MPa}$$

$$f_{bu4} \leq 0,95.R_h.F_{yc}$$

$$\text{Rasio}_6 = \frac{f_{bu4}}{0,95.R_h.F_{yc}} = 0,28$$

2.2 Pelat sayap bawah

Tegangan pada pelat sayap bawah :

$$f_{bu5} = \frac{1,0(MMS_g + MMS_s)\gamma t}{I_g} + \frac{1,0(MMA).\gamma t 3n}{I 3n} + \frac{1,3(Mmax).\gamma t n}{I n}$$

$$f_{bu5} = 222,83 \text{ MPa}$$

$$f_{bu5} + \frac{f_l}{2} = 251,48 \text{ MPa}$$

$$0,95.R_h.F_{yt} = 337,25 \text{ MPa}$$

$$f_{bu5} + \frac{f_l}{2} \leq 0,95.R_h.F_{yt}$$

$$251,48 \leq 337,25 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_7 = \frac{f_{bu5} + \frac{f_l}{2}}{0,95.R_h.F_{yt}} = 0,75$$

2.3 Pelat badan (web)

Tegangan pada pelat badan (web) :

$$D_{cn} = \gamma_{cgn} - t_c = 105,10 \text{ mm}$$

$$D_{c3n} = \gamma_{cg3n} - t_c = 252 \text{ mm}$$

$$f_{bu_web} = \frac{1,0(MMS_g + MMS_s)Dc}{I_g} + \frac{1,0(MMA).Dc 3n}{I 3n} + \frac{1,3(Mmax).Dcn}{I n}$$

$$f_{bu_web} = 84,65 \text{ MPa}$$

$$k = 36$$

$$F_{crw} = \frac{0,9.Es.k}{\left(\frac{D}{tw}\right)^2} = 2328,79 \text{ MPa}$$

$$F_{crwb} = R_h.F_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{fy}{0,7} = 507,14 \text{ MPa}$$

$$f_{bu_web} \leq F_{crwb}$$

$$84,65 \leq 355 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_8 = \frac{f_{bu_web}}{F_{crwb}} = 0,24$$

2.4 Pelat beton

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$0,6.f'_c = 18 \text{ MPa}$$

Tegangan dek pada kondisi Kombinasi Layan II

$$f_{bu_s} = \frac{1,0MMA.\gamma c3n}{I3n.3.n} + \frac{1,3Mmax.\gamma cn}{In.n} = 8,55 \text{ MPa}$$

Periksa tegangan pada pelat :

$$f_{bu_s} \leq 0,6.f'_c$$

$$8,55 \leq 18 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_9 = \frac{f_{bu_s}}{0,6.f'_c} = 0,47$$

3. Kondisi Batas Fatik

Untuk kombinasi beban fatik, nilai FBD adalah 0,15

$$FBD_F = 0,15$$

$$\text{Fraksi pada jalur tunggal } (\rho) = 0,85$$

$$\text{Jumlah truk per hari (LHR)} = 10000$$

$$\text{Jumlah truk per hari pada jalur tunggal (LHR}_{sl}) = \rho.LHR = 8500$$

Kategori desain untuk beban induksi fatik : Kategori B

$$\text{Konstanta (A)} = 39,3.10^{11} \text{ MPa}^3$$

$$\text{Siklus per lintasan truk (n)} = 1$$

$$\text{Batas ambang konstan amplitudo } (\Delta F_{TH}) = 110 \text{ MPa}$$

$$75 \text{ Tahun LHR}_{sl} (\text{LHR}_{sl75}) = 1120$$

Jika LHR_{sl} besar dari 75 Tahun LHR_{sl} maka gunakan kombinasi Fatik I

$$LHR_{sl} \geq LHR_{sl75}$$

$$8500 \geq 1120$$

Untuk kombinasi Fatik I,

$$\Delta F_n = \Delta F_{TH} = 110 \text{ MPa}$$

$$M_{u_{Fatik}} = (1 + FBD_F) \cdot 1,75 M_{TSF} = 1627,81 \text{ kN.m}$$

$$f_{bu_{Fatik}} = \frac{M_{u_{Fatik}} \cdot \gamma_{cgn}}{I_n} = 23,02 \text{ MPa}$$

$$\gamma \Delta F = f_{bu_{Fatik}} = 23,02 \text{ MPa}$$

$$\gamma \Delta F \leq \Delta F_n$$

$$Rasio_{10} = \frac{\gamma \Delta F}{\Delta F_n} = 0,21$$

4. Kondisi Batas Ultimit

4.1 Lentur

Penampang komposit pada jembatan lurus yang memenuhi persyaratan berikut dapat dikualifikasikan sebagai penampang komposit kompak.

- a. Kuat leleh minimum pelat sayap tidak boleh lebih dari 480 MPa

$$F_{yf} \leq 480 \text{ MPa}$$

$$355 \leq 480 \text{ MPa} \dots\dots (\text{OK})$$

- b. Rasio pelat

$$\frac{D}{t_w} \leq 150$$

$$\frac{D}{t_w} = 52,75$$

$$52,75 \leq 150 \dots\dots (\text{OK}) \text{ Pelat badan (web) tidak langsing}$$

- c. Penampang memenuhi batas kelangsingan pelat badan

$$2 \cdot \frac{D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f'_{c}}}$$

Penentuan nilai D_{cp} ditentukan setelah posisi sumbu netral plastis sudah didapatkan.

Penentuan sumbu netral plastis

$$\text{Lebar sayap tekan (} b_c \text{)} = 300 \text{ mm}$$

Tebal sayap tekan (t_c)	= 28 mm
Lebar sayap tarik (b_t)	= 300 mm
Tebal sayap tarik (t_t)	= 28 mm
Tinggi pelat badan (D)	= 844 mm
Tebal pelat badan (t_w)	= 16 mm
Gaya tekan pelat (P_s)	= $0,85 \cdot f'_c \cdot b_s \cdot t_s = 8160$ kN
Gaya aksial di tulangan atas pelat (P_{rt})	= 0 kN
Gaya aksial di tulangan bawah pelat (P_{rb})	= 0 kN
Gaya aksial pada sayap atas (P_c)	= $b_c \cdot t_c \cdot F_{yc} = 2982,00$ kN
Gaya aksial pada pelat badan bawah (P_w)	= $D \cdot t_w \cdot F_{yw} = 4793,92$ kN
Gaya aksial pada sayap bawah (P_t)	= $b_t \cdot t_t \cdot F_{yt} = 2982,00$ kN

Kasus I

$$P_t + P_w = 7775,92 \text{ kN}$$

$$P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt} = 11.142,00 \text{ kN}$$

Kasus II

$$P_t + P_w + P_c = 10.757,92 \text{ kN}$$

$$P_s + P_{rb} + P_{rt} = 8160 \text{ kN}$$

Karena kasus II memenuhi persyaratan maka PNA berada pada pelat sayap atas. Untuk semua penampang komposit dalam lentur positif dimana PNA tidak berada di pelat badan (w_{eb}), maka D_{cp} harus diambil sama dengan nol.

$$D_{cp} = 0$$

$$\text{Sehingga, } 2 \cdot \frac{D_{cp}}{t_w} = 0$$

$$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f'_{tc}}} = 307$$

$$2 \cdot \frac{D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f'_{tc}}}$$

$$0 \leq 307 \dots \dots \text{ (OK)}$$

Karena semua persyaratan di atas memenuhi, maka penampang dikualifikasikan sebagai penampang komposit kompak, sehingga lentur penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$D_p \leq 0,42D_t$$

Jarak dari sumbu netral plastis ke sisi atas elemen dimana sumbu netral plastis berada (γ).

$$\gamma_{PNA} = \left(\frac{tc}{2}\right)\left(\frac{P_w + P_t - P_s}{P_c} + 1\right) = 12,20 \text{ mm} \quad (\text{Dari pelat sayap atas})$$

Jarak dari sisi atas dek beton ke sumbu netral penampang komposit pada momen plastis (D_p).

$$D_p = t_s + \gamma_{PNA} = 212,20 \text{ mm}$$

Ketinggian total penampang komposit (D_t)

$$D_t = d + t_s = 1100 \text{ mm}$$

$$0,42D_t = 462 \text{ mm}$$

$$D_p \leq 0,42D_t \quad (212,20 \text{ mm} \leq 462 \text{ mm}) \dots\dots\dots(\text{OK})$$

- **Hitung Kapasitas Momen Plastis (M_p)**

$$\text{Jarak titik berat sayap bawah ke PNA } (d_t) = \frac{tt}{2} + D + t_c - \gamma_{PNA} = 873,80 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak titik berat sayap atas ke PNA } (d_c) = \frac{tc}{2} - \gamma_{PNA} = 1,80 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak titik berat pelat ke PNA } (d_s) = \frac{ts}{2} + \gamma_{PNA} = 112,20 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak titik berat pelat badan ke PNA } (d_w) = \frac{D}{2} + t_c - \gamma_{PNA} = 437,80 \text{ mm}$$

$$d_{rt} = 0 \text{ mm}$$

$$d_{rb} = 0 \text{ mm}$$

Untuk PNA yang berada pada kasus II, momen plastis dapat dihitung sebagai berikut:

$$M_p = \left(\frac{P_c}{2tc}\right) \cdot \gamma_{PNA}^2 + (t_c - \gamma_{PNA})^2 + (P_s \cdot d_s + P_{rt} \cdot d_{rt} + P_{rb} \cdot d_{rb} + P_w \cdot d_w + P_t \cdot d_t)$$

$$M_p = 5628,18 \text{ kN.m}$$

Untuk penampang kompak dan momen lentur positif, penampang harus diperiksa terhadap momen nominal penampang, seperti pada persamaan di bawah ini :

$$M_u \leq \phi_f \cdot M_n$$

$$\text{Momen nominal penampang } (M_n) = [M_p \cdot (1,07 - 0,7 \cdot \frac{D_p}{D_t})] = 5262,14 \text{ kN.m}$$

$$M_{u_ultimit} = 3700,105 \text{ kN.m}$$

Momen Nominal Penampang Terfaktor (ϕM_n)

$$\phi f_y M_n = 4735,93 \text{ kN.m}$$

$$M_{u_ultimit} + \frac{1}{3} f_l S_{xt} \leq \phi f_y M_n$$

$$\text{Rasio}_{11} = \frac{M_{u_ultimit} + \frac{1}{3} f_l S_{xt}}{\phi f_y M_n} = 0,78$$

4.2 Geser

Tahanan geser harus memenuhi persyaratan berikut ini :

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

- Hitung gaya geser pada saat ultimit

$$FBD_T = 0,3$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,1 V_{MS_g} + 1,3 V_{MS_s} + 2 V_{MA} + (1 + FBD_T) 1,8 V_{max} \\ &= 895,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Hitung gaya geser plastis (V_p)

$$V_p = 0,58 f_y D \cdot t_w = 2780,47 \text{ kN}$$

- Hitung rasio antara tahanan tekuk geser terhadap tekanan leleh geser (C)

$$\text{Koefisien tekuk geser untuk pelat badan (k)} = 16,77$$

$$C_1 = 1 \quad \text{jika} \quad \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot k}{F_{yw}}}$$

Nilai geser nominal pada penampang adalah (V_n) :

$$V_{cr} = C_1 \cdot V_p = 2780,47 \text{ kN}$$

$$V_n \text{ C} = 1 = 2780,47 \text{ kN}$$

$$\phi_v = 1$$

$$\phi_v V_n = 2780,47 \text{ kN}$$

- Periksa gaya geser yang terjadi dengan tahanan nominal geser :

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$\text{Rasio}_{12} = \frac{V_u}{\phi_v V_n} = 0,32$$

- **Tebal pelat $t = 250 \text{ mm}$**

1. **Constructibility**

1.1 **Akibat Lentur**

1.1.1 **Pelat sayap atas**

Momen yang terjadi pada saat konstruksi :

$$M_{MS_g} = 123,80 \text{ kN.m}$$

$$M_{MS_s} = 480,00 \text{ kN.m}$$

Tegangan pada sayap atas :

$$f_{bu1} = \frac{(1,25M_{MS_g} + 1,3M_{MS_s}) \cdot \gamma_c}{I_g} = 87,69 \text{ Mpa}$$

Penentuan tegangan lateral sayap

$$D_c = \frac{D}{2} = 422 \text{ mm} ; d_s = 0$$

$$F_{yc} = F_y = 355 \text{ Mpa}$$

Untuk *constructibility* nilai faktor *web load shedding* (R_b) adalah 1

$$R_b = 1$$

Panjang tak terkekang (L_b) = 5000 mm

Jari-jari girasi efektif untuk tekuk torsi lateral (r_t)

$$r_t = \frac{bc}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{D_c \cdot t_w}{bc \cdot t_c})}} = 76,91 \text{ mm}$$

Hitung batasan panjang tanpa *bracing* (L_p) untuk mencapai tahanan lentur nominal :

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E_s}{F_{yc}}} = 1825,51 \text{ mm}$$

Hitung batas panjang tidak terkekang (L_r) untuk mencapai leleh nominal awal pada kedua pelat sayap :

$$L_r = \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{Es}{F_{yc}}} = 5732,09 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor modifikasi momen (C}_b\text{)} = 1$$

Tegangan tekuk torsi lateral elastis

$$\text{sayap yang ditinjau (F}_{cr}\text{)} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot Es}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} = 466,57 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar pelat dek kantilever (L}_{ovh}\text{)} = 1250 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (ts)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Berat pelat (P}_{ovh}\text{)} = L_{ovh} \cdot ts \cdot \gamma_c = 7,5 \text{ kN/m}$$

Kombinasi kuat I beban lateral (beban mati) :

$$P_{Kuat1_DL} = \frac{L_{ovh}}{D} \cdot (1,3 \cdot P_{ovh}) = 14,44 \text{ kN/m}$$

$$\text{Momen lentur lateral (M}_{KUAT1_DL}\text{)} = \frac{P_{kuat1_DL} \cdot L_b^2}{12} = 30,08 \text{ kN.m}$$

$$\text{Tegangan lentur lateral sayap atas (f}_l\text{)} = \frac{M_{kuat1_DL}}{\left(\frac{t_c \cdot b \cdot c^2}{6}\right)} = 71,63 \text{ MPa}$$

$$\text{Cek batasan tegangan lateral sayap} = f_l \leq 0,6 \cdot F_{yc}$$

$$= 71,63 \leq 213 \text{ MPa. (OK)}$$

a. Periksa tahanan nominal leleh pada sayap atas

Tegangan pada sayap atas

$$f_{bu1} = 87,69 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor reduksi untuk lentur (}\phi f\text{)} = 0,9$$

Untuk penampang dengan material yang sejenis, maka :

$$\text{Faktor penampang hibrid (R}_h\text{)} = 1$$

Nominal leleh sayap

$$\phi f \cdot R_h \cdot F_y = 319,50 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} + f_l \leq \phi f \cdot R_h \cdot F_y$$

$$159,32 \leq 319,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_1 = \frac{f_{bu1} + f_l}{\phi \cdot R_h \cdot F_y} = 0,50$$

b. Periksa tahanan lentur pada sayap atas

- Tahanan tekuk lokal

Hitung rasio kelangsingan pelat sayap tekan (λ_f) :

$$\lambda_f = \frac{b_c}{2 \cdot t_c} = 5,36$$

Hitung batas rasio kelangsingan untuk pelat sayap tekan kompak (λ_{pf}) :

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E_s}{F_{yc}}} = 9,02$$

Jika $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ ($5,36 \leq 9,02$) Pelat sayap tekan kompak

Maka tahanan tekuk lokal pada sayap atas adalah

$$F_{ncFLB} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 355 \text{ MPa}$$

- Tahanan tekuk torsi lateral

D_c adalah ketinggian pelat badan dalam tekan

$$D_c = \gamma_c - t_c = 422 \text{ mm}$$

Jika $L_p < L_b \leq L_r$ maka :

$$C_b = 1$$

$$F_{yr} = 0,7 \cdot F_{yc} = 248,5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} F_{ncLTB} &= C_b \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \\ &= 268,52 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahanan lentur pada sayap atas gunakan nilai F_{nc} terkecil dari 2 kondisi, sehingga :

$$F_{nc} = \min(F_{ncFLB}, F_{ncLTB}) = 268,52 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} = 87,69 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} + \frac{1}{3} f_l = 111,57 \text{ MPa}$$

$$\phi \cdot F_{nc} = 241,67 \text{ MPa}$$

$$f_{bu1} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi \cdot F_{nc}$$

$$111,57 \leq 241,67 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_2 = \frac{f_{bu1} + \frac{1}{3} f_l}{\phi \cdot F_{nc}} = 0,46$$

1.1.2 Pelat sayap bawah

Tegangan pada sayap bawah :

$$f_{bu2} = \frac{(1,25M_{MS_g} + 1,3M_{MS_s}) \cdot \gamma_t}{I_g} = 87,69 \text{ MPa}$$

Pelat sayap tarik harus memenuhi persamaan berikut :

$$f_{yt} = f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\phi \cdot R_h \cdot F_{yt} = 319,50 \text{ MPa}$$

$$f_{bu2} + f_l \leq \phi \cdot R_h \cdot F_{yt}$$

$$159,32 \leq 319,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_3 = \frac{f_{bu2} + f_l}{\phi \cdot R_h \cdot F_{yt}} = 0,50$$

1.1.3 Pelat badan (web)

$$f_{bu3} \leq \phi f_{crw}$$

$$\text{Tekuk lentur koefisien (k)} = \frac{9}{\left(\frac{Dc^2}{D}\right)} = 36$$

$$\text{Tahanan tekuk di badan (F}_{crw}) = \frac{0,9 \cdot E_s \cdot k}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} = 2328,79 \text{ MPa}$$

Akan tetapi, nilai F_{crw} tidak boleh lebih besar dari :

$$F_{yw} = F_y = 355 \text{ MPa}$$

$$R_h \cdot F_{yc} = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{yw}}{0,7} = 507,14 \text{ MPa}$$

Maka tahanan tekuk di badan adalah :

$$F_{crw} = \min (F_{crw}, R_h \cdot F_{yc}, \frac{F_{yw}}{0,7}) = 355 \text{ MPa}$$

$$\phi \cdot F_{crw} = 319,50 \text{ MPa}$$

Periksa ketahanan lentur di badan

$$f_{bu3} \leq \phi \cdot F_{crw}$$

$$f_{bu3} = f_{bu1} = 87,69 \text{ MPa}$$

$$87,69 \leq 319,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_4 = \frac{f_{bu3}}{\phi \cdot F_{crw}} = 0,27$$

1.2 Akibat Geser

Tahanan geser harus memenuhi persamaan di bawah ini :

$$V_u \leq \phi_v \cdot V_{cr}$$

Jarak antara pengaku transversal untuk panel ujung dengan atau tanpa pengaku longitudinal tidak boleh melebihi 1,5D.

Jarak antar pengaku transversal di tumpuan (d_o) = 550 mm

$$d_o \leq 1,5 \cdot D$$

$$1,5 \cdot D = 1266 \text{ mm}$$

koefisien tekuk geser :

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_o}{D}\right)^2} = 16,77$$

- Hitung gaya geser pada saat konstruksi

$$V_u = 1,25V_{MS_g} + 1,3V_{MS_s}$$

$$V_u = 155,75 \text{ kN}$$

- Hitung gaya geser plastis (V_p)

$$V_p = 0,58F_{yw} \cdot d \cdot t_w$$

$$V_p = 2780,47 \text{ kN}$$

- Hitung rasio antara tahanan tekuk geser terhadap tahanan leleh geser (C)

$$C = 1 \quad \text{jika} \quad \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot k}{F_{yw}}}$$

$$52,75 \leq 108,878$$

- Nilai geser nominal pada penampang adalah (V_n) :

$$V_{cr} = C \cdot V_p = 2780,47 \text{ kN}$$

$$V_n = V_{cr} = 2780,47 \text{ kN}$$

$$\phi_v = 1,0$$

$$\phi_v \cdot V_n = 2780,47 \text{ kN}$$

$$V_u \leq \phi_v \cdot V_n$$

$$130,79 \leq 2780,47 \text{ kN}$$

$$\text{Rasio}_5 = \frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = 0,06$$

2 Kondisi Batas Layan

2.1 Pelat sayap atas

Tegangan pada pelat sayap atas :

$$f_{bu4} = \frac{1,0(MMS_g + MMS_s)\gamma c}{I_g} + \frac{1,0(MMA).\gamma c g 3n}{I 3n} + \frac{1,3(Mmax).\gamma c g n}{I n}$$

$$f_{bu4} = 92,64 \text{ MPa}$$

$$R_h = 1$$

$$0,95.R_h.F_{yc} = 337,25 \text{ MPa}$$

$$f_{bu4} \leq 0,95.R_h.F_{yc}$$

$$\text{Rasio}_6 = \frac{f_{bu4}}{0,95.R_h.F_{yc}} = 0,27$$

2.2 Pelat sayap bawah

Tegangan pada pelat sayap bawah :

$$f_{bu5} = \frac{1,0(MMS_g + MMS_s)\gamma t}{I_g} + \frac{1,0(MMA).\gamma t 3n}{I 3n} + \frac{1,3(Mmax).\gamma t n}{I n}$$

$$f_{bu5} = 224,33 \text{ MPa}$$

$$f_{bu5} + \frac{f_l}{2} = 260,14 \text{ MPa}$$

$$0,95.R_h.F_{yt} = 337,25 \text{ MPa}$$

$$f_{bu5} + \frac{f_l}{2} \leq 0,95.R_h.F_{yt}$$

$$267,79 \leq 337,25 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_7 = \frac{f_{bu5} + \frac{f_l}{2}}{0,95.R_h.F_{yt}} = 0,77$$

2.3 Pelat badan (web)

Tegangan pada pelat badan (web) :

$$D_{cn} = \gamma_{cgn} - t_c = 60,04 \text{ mm}$$

$$D_{c3n} = \gamma_{cg3n} - t_c = 214,10 \text{ mm}$$

$$f_{bu_web} = \frac{1,0(MMS_g + MMS_s)Dc}{I_g} + \frac{1,0(MMA).Dc 3n}{I 3n} + \frac{1,3(Mmax).Dc n}{I n}$$

$$f_{bu_web} = 82,78 \text{ MPa}$$

$$k = 36$$

$$F_{crw} = \frac{0,9.Es.k}{\left(\frac{D}{tw}\right)^2} = 2328,79 \text{ MPa}$$

$$F_{crwb} = R_h.F_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{fy}{0,7} = 507,14 \text{ MPa}$$

$$f_{bu_web} \leq F_{crwb}$$

$$85,27 \leq 355 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_8 = \frac{f_{bu_web}}{F_{crwb}} = 0,23$$

2.4 Pelat beton

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$0,6.f'_c = 18 \text{ MPa}$$

Tegangan dek pada kondisi Kombinasi Layan II

$$f_{bu_s} = \frac{1,0MMA.\gamma c3n}{I3n.3.n} + \frac{1,3Mmax.\gamma cn}{In.n} = 7,74 \text{ MPa}$$

Periksa tegangan pada pelat :

$$f_{bu_s} \leq 0,6.f'_c$$

$$7,74 \leq 18 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio}_9 = \frac{f_{bu_s}}{0,6.f'_c} = 0,43$$

3 Kondisi Batas Fatik

Untuk kombinasi beban fatik, nilai FBD adalah 0,15

$$FBD_F = 0,15$$

$$\text{Fraksi pada jalur tunggal } (\rho) = 0,85$$

$$\text{Jumlah truk per hari (LHR)} = 10000$$

$$\text{Jumlah truk per hari pada jalur tunggal (LHR}_{sl}) = \rho.LHR = 8500$$

Kategori desain untuk beban induksi fatik : Kategori B

$$\text{Konstanta (A)} = 39,3.10^{11} \text{ MPa}^3$$

$$\text{Siklus per lintasan truk (n)} = 1$$

$$\text{Batas ambang konstan amplitudo } (\Delta F_{TH}) = 110 \text{ MPa}$$

$$75 \text{ Tahun LHR}_{sl} (\text{LHR}_{sl75}) = 1120$$

Jika LHR_{sl} besar dari 75 Tahun LHR_{sl} maka gunakan kombinasi Fatik I

$$LHR_{sl} \geq LHR_{sl75}$$

$$8500 \geq 1120$$

Untuk kombinasi Fatik I,

$$\Delta F_n = \Delta F_{TH} = 110 \text{ MPa}$$

$$M_{u_{Fatik}} = (1 + FBD_F) \cdot 1,75 M_{TSF} = 1627,81 \text{ kN.m}$$

$$f_{bu_{Fatik}} = \frac{M_{u_{Fatik}} \cdot \gamma_{cgn}}{I_n} = 13,56 \text{ MPa}$$

$$\gamma \Delta F = f_{bu_{Fatik}} = 13,56 \text{ MPa}$$

$$\gamma \Delta F \leq \Delta F_n$$

$$Rasio_{10} = \frac{\gamma \Delta F}{\Delta F_n} = 0,12$$

4 Kondisi Batas Ultimit

4.1 Lentur

Penampang komposit pada jembatan lurus yang memenuhi persyaratan berikut dapat dikualifikasikan sebagai penampang komposit kompak.

a. Kuat leleh minimum pelat sayap tidak boleh lebih dari 480 MPa

$$F_{yf} \leq 480 \text{ MPa}$$

$$356 \leq 480 \text{ MPa} \dots\dots (\text{OK})$$

b. Rasio pelat

$$\frac{D}{t_w} \leq 150$$

$$\frac{D}{t_w} = 52,75$$

$$52,75 \leq 150 \dots\dots (\text{OK}) \text{ Pelat badan (web) tidak langsing}$$

c. Penampang memenuhi batas kelangsingan pelat badan

$$2 \cdot \frac{D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f'_{c}}}$$

Penentuan nilai D_{cp} ditentukan setelah posisi sumbu netral plastis sudah didapatkan.

Penentuan sumbu netral plastis

$$\text{Lebar sayap tekan (} b_c \text{)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal sayap tekan (} t_c \text{)} = 28 \text{ mm}$$

Lebar sayap tarik (b_t)	= 300 mm
Tebal sayap tarik (t_t)	= 28 mm
Tinggi pelat badan (D)	= 844 mm
Tebal pelat badan (t_w)	= 16 mm
Gaya tekan pelat (P_s)	= $0,85 \cdot f'_c \cdot b_s \cdot t_s = 10.200 \text{ kN}$
Gaya aksial di tulangan atas pelat (P_{rt})	= 0 kN
Gaya aksial di tulangan bawah pelat (P_{rb})	= 0 kN
Gaya aksial pada sayap atas (P_c)	= $b_c \cdot t_c \cdot F_{yc} = 2982,00 \text{ kN}$
Gaya aksial pada pelat badan bawah (P_w)	= $D \cdot t_w \cdot F_{yw} = 4793,92 \text{ kN}$
Gaya aksial pada sayap bawah (P_t)	= $b_t \cdot t_t \cdot F_{yt} = 2982,00 \text{ kN}$

Kasus I

$$P_t + P_w = 7775,92 \text{ kN}$$

$$P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt} = 13.182,00 \text{ kN}$$

Kasus II

$$P_t + P_w + P_c = 10.757,92 \text{ kN}$$

$$P_s + P_{rb} + P_{rt} = 10.200 \text{ kN}$$

Karena kasus II memenuhi persyaratan maka PNA berada pada pelat sayap atas. Untuk semua penampang komposit dalam lentur positif dimana PNA tidak berada di pelat badan ($_{web}$), maka D_{cp} harus diambil sama dengan nol.

$$D_{cp} = 0$$

$$\text{Sehingga, } 2 \cdot \frac{D_{cp}}{t_w} = 0$$

$$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f'_c}} = 307$$

$$2 \cdot \frac{D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f'_c}}$$

$$0 \leq 307 \dots \dots \text{ (OK)}$$

Karena semua persyaratan di atas memenuhi, maka penampang dikualifikasikan sebagai penampang komposit kompak, sehingga lentur penampang dapat dihitung sebagai berikut :

$$D_p \leq 0,42D_t$$

Jarak dari sumbu netral plastis ke sisi atas elemen dimana sumbu netral plastis berada (γ).

$$\gamma_{PNA} = \left(\frac{tc}{2}\right)\left(\frac{P_w + P_t - P_s}{P_c} + 1\right) = 2,62 \text{ mm} \quad (\text{Dari pelat sayap atas})$$

Jarak dari sisi atas dek beton ke sumbu netral penampang komposit pada momen plastis (D_p).

$$D_p = t_s + \gamma_{PNA} = 252,62 \text{ mm}$$

Ketinggian total penampang komposit (D_t)

$$D_t = d + t_s = 1150 \text{ mm}$$

$$0,42D_t = 483 \text{ mm}$$

$$D_p \leq 0,42D_t \quad (252,62 \text{ mm} \leq 483 \text{ mm}) \dots\dots\dots(\text{OK})$$

- **Hitung Kapasitas Momen Plastis (M_p)**

$$\text{Jarak titik berat sayap bawah ke PNA } (d_t) = \frac{tt}{2} + D + t_c - \gamma_{PNA} = 883,38 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak titik berat sayap atas ke PNA } (d_c) = \frac{tc}{2} - \gamma_{PNA} = 11,38 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak titik berat pelat ke PNA } (d_s) = \frac{ts}{2} + \gamma_{PNA} = 127,62 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak titik berat pelat badan ke PNA } (d_w) = \frac{D}{2} + t_c - \gamma_{PNA} = 447,38 \text{ mm}$$

$$d_{rt} = 0 \text{ mm}$$

$$d_{rb} = 0 \text{ mm}$$

Untuk PNA yang berada pada kasus II, momen plastis dapat dihitung sebagai berikut:

$$M_p = \left(\frac{P_c}{2tc}\right) \cdot \gamma_{PNA}^2 + (t_c - \gamma_{PNA})^2 + (P_s \cdot d_s + P_{rt} \cdot d_{rt} + P_{rb} \cdot d_{rb} + P_w \cdot d_w + P_t \cdot d_t)$$

$$M_p = 6081,68 \text{ kN.m}$$

Untuk penampang kompak dan momen lentur positif, penampang harus diperiksa terhadap momen nominal penampang, seperti pada persamaan di bawah ini :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

$$\text{Momen nominal penampang } (M_n) = [M_p \cdot (1,07 - 0,7 \cdot \frac{D_p}{D_t})] = 5572,22 \text{ kN.m}$$

$$M_{u_ultimit} = 3824,905 \text{ kN.m}$$

Momen Nominal Penampang Terfaktor (ϕM_n)

$$\phi f_y M_n = 5015,00 \text{ kN.m}$$

$$M_{u_ultimit} + \frac{1}{3} f_l S_{xt} \leq \phi f_y M_n$$

$$\text{Rasio}_{11} = \frac{M_{u_ultimit} + \frac{1}{3} f_l S_{xt}}{\phi f_y M_n} = 0,76$$

4.2 Geser

Tahanan geser harus memenuhi persyaratan berikut ini :

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

- Hitung gaya geser pada saat ultimit

$$FBD_T = 0,3$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,1 V_{MS_g} + 1,3 V_{MS_s} + 2 V_{MA} + (1 + FBD_T) 1,8 V_{max} \\ &= 920,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Hitung gaya geser plastis (V_p)

$$V_p = 0,58 f_y D \cdot t_w = 2780,47 \text{ kN}$$

- Hitung rasio antara tahanan tekuk geser terhadap tekanan leleh geser (C)

$$\text{Koefisien tekuk geser untuk pelat badan (k)} = 16,77$$

$$C_1 = 1 \quad \text{jika} \quad \frac{D}{t_w} \leq 1,12 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot k}{F_{yw}}}$$

Nilai geser nominal pada penampang adalah (V_n) :

$$V_{cr} = C_1 \cdot V_p = 2780,47 \text{ kN}$$

$$V_n \text{ C} = 1 = 2780,47 \text{ kN}$$

$$\phi_v = 1$$

$$\phi_v V_n = 2780,47 \text{ kN}$$

- Periksa gaya geser yang terjadi dengan tahanan nominal geser :

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$\text{Rasio}_{12} = \frac{V_u}{\phi_v V_n} = 0,33$$

Lampiran C.12 Pemeriksaan Persyaratan Deformasi

Kontrol lendutan maksimum yang diizinkan pada perencanaan struktur jembatan, yaitu:

Panjang bentang jembatan (L) = 20,00 m

$$\Delta = \frac{L}{250} = 80,00 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{L}{300} = 66,67 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{L}{800} = 25,00 \text{ mm}$$

Pada penelitian ini diambil nilai persyaratan lendutan terkecil sebagai kontrol terhadap hasil hitungan, yaitu :

Deformasi izin akibat beban kendaraan (Δ_{LLizin}) = 25,00 mm

$$- \delta = 5. \frac{q.L^4}{384.E.I}$$

$$- \delta = \frac{p.L^3}{48.E.I}$$

❖ **Pelat $t = 200 \text{ mm}$**

$$E = 200.000.000 \text{ kN/m}^2$$

$$I = 0,0094144904 \text{ m}^4$$

Tabel C11.1 Lendutan berdasarkan beban

No	Jenis Beban	Beban Kerja		Nilai Lendutan (Δ)		
		q (kN/m)	p (kN)	q (kN/m)	p (kN)	$\Delta_{ytb} (\Delta q + \Delta p)$
1.	Berat Sendiri Girder (MS_g)	2,48	-	-0,002744	-	-0,002744
2.	Berat Sendiri Pelat (MS_s)	7,68	-	0,0084975	-	-0,008498
3.	Beban Aspal Awal (MA ₁)	1,43	-	0,0015862	-	-0,001586
4.	Beban Mati Tambahan (MA)	6,95	-	-0,007690	-	-0,007690
5.	Beban Lajur "D" (TD)	14,40	78,40	-0,015933	-0,006940	-0,022873
6.	Beban Truk "T" (TT)	-	146,25	-	-0,012945	-0,012945

Tabel C11. 2 Faktor kombinasi pembebanan

Jenis Beban	Δ ytb	Faktor Kombinasi Beban																			
		Kuat I		Kuat II		Kuat III		Kuat IV		Kuat V		Ekstrem		Layan I		Layan II		Layan III		Layan IV	
MS_g	-0,002744	1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,0		1,0		1,0		1,0	
MS_s	-0,008498	1,3		1,3		1,3		1,3		1,3		1,3		1,0		1,0		1,0		1,0	
MA ₁	-0,001586	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2		1,2		1,0		1,0		1,0		1,0	
MA	-0,007690	2,0		2,0		2,0		2,0		2,0		2,0		1,0		1,0		1,0		1,0	
TT	-0,012945		1,8		1,4								0,5		1,0		1,3		0,8		

Tabel C11.3 Hasil kombinasi beban terhadap lendutan

Jenis Beban	Δytb	Kombinasi Pembebanan									
		Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstrem	Layan I	Layan II	Layan III	Layan IV
MS _g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MS _g	0,002744	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	-0,0030	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027
MS _s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MS _s	0,008498	0,0110	0,0110	0,0110	0,0110	0,0110	-0,0110	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085
MA ₁	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA ₁	0,001586	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019	-0,0019	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA	0,007690	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	0,0154	-0,0154	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077
TT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TT	0,012945	0,0233	0,0181	-	-	-	-0,0065	0,0129	0,0168	0,0104	-
Total Δytb		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,0547	0,0495	0,0313	0,0313	0,0313	-0,0378	0,0335	0,0373	0,0309	0,0205

Dari tabel di atas, maka diperoleh kombinasi layan terbesar pada Layan II sehingga :

Pre camber = 200 mm

Δ_{total} = -37,3 mm

Camber = (150% x Δ_{total}) + pre camber

= 144,05 mm

❖ **Pelat $t = 250$ mm**

$E = 200.000.000 \text{ kN/m}^2$

$I = 0,0105715040 \text{ m}^4$

Tabel C11.4 Lendutan berdasarkan beban

No	Jenis Beban	Beban Kerja		Nilai Lendutan (Δ)		
		q (kN/m)	p (kN)	q (kN/m)	p (kN)	Δ ytb ($\Delta q + \Delta p$)
1.	Berat Sendiri Girder (MS_g)	2,48	-	0,0024437	-	-0,002444
2.	Berat Sendiri Pelat (MS_s)	9,60	-	0,0094594	-	-0,009459
3.	Beban Aspal Awal (MA ₁)	1,43	-	0,0014126	-	-0,001413
4.	Beban Mati Tambahan (MA)	6,95	-	-0,006848	-	-0,006848
5.	Beban Lajur "D" (TD)	14,40	78,40	-0,014189	-0,006180	-0,020369
6.	Beban Truk "T" (TT)	-	146,25	-	-0,011529	-0,011529

Tabel C11.5 Faktor kombinasi pembebanan

Jenis Beban	Δ ytb	Faktor Kombinasi Beban																			
		Kuat I		Kuat II		Kuat III		Kuat IV		Kuat V		Ekstrem		Layan I		Layan II		Layan III		Layan IV	
MS_g	-0,002444	1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,0		1,0		1,0		1,0	
MS_s	-0,009459	1,3		1,3		1,3		1,3		1,3		1,3		1,0		1,0		1,0		1,0	
MA ₁	-0,001413	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2		1,2		1,0		1,0		1,0		1,0	
MA	-0,006848	2,0		2,0		2,0		2,0		2,0		2,0		1,0		1,0		1,0		1,0	
TT	-0,011529		1,8		1,4								0,5		1,0		1,3		0,8		

Tabel C11.6 Hasil kombinasi beban terhadap lendutan

Jenis Beban	Δ ytb	Kombinasi Pembebanan									
		Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstrem	Layan I	Layan II	Layan III	Layan IV
MS_g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MS_g	0,002444	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	-0,0027	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
MS_s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MS_s	0,009459	0,0123	0,0123	0,0123	0,0123	0,0123	-0,0123	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095
MA ₁	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA ₁	0,001413	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	-0,0017	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MA	0,006848	0,0137	0,0137	0,0137	0,0137	0,0137	-0,0137	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068
TT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TT	0,011529	0,0208	0,0161	-	-	-	-0,0058	0,0115	0,0150	0,0092	-

Total Δ ytb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,0511	0,0465	0,0304	0,0304	0,0304	-0,0361	0,0317	0,0352	0,0294	0,0202

Dari tabel di atas, maka diperoleh kombinasi layan terbesar pada Layan II sehingga :

Pre camber = 200 mm

Δ total = -35,2 mm

Camber = (150% x Δ total) + pre camber
= 147,20 mm

Lampiran C.13 Pengaku Tumpu

1. Data-data material dan penampang pengaku

Tinggi profil (h)	= 857 mm
Lebar profil (b)	= 158 mm
Tebal pengaku (t_{ps})	= 16 mm
Mutu beton ($f'c$)	= 30 Mpa
Tegangan leleh baja (f_y)	= 245 Mpa
Modulus elastisitas beton (E_c)	= 25742,96 Mpa
Modulus elastisitas baja (E_s)	= 200.000 Mpa
Berat jenis beton (γ_c)	= 24 kN/m ³
Berat jenis aspal (γ_a)	= 22 kN/m ³
Berat jenis baja (γ_s)	= 78,50 kN/m ³
Reaksi tumpu (R_{sbr})	= 1302,82 kN (dari analisa struktur)
Tebal proyeksi elemen pengaku(t_{ps})	= 16 mm
Lebar dari elemen pengaku harus memenuhi :	

$$\text{Syarat : } b \leq 0,48.t_{ps} \cdot \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \quad (158 \leq 219,43) \dots \dots (\text{OK})$$

2. Tahanan nominal tumpu

Jumlah pengaku (n_s)	= 1
Lebar proyeksi pengaku (b)	= 158 mm
Luas proyeksi elemen (1 pengaku) (A_{pn1})	= $h.b = 135406 \text{ mm}^2$
Total luas proyeksi elemen (A_{pn})	= $A_{pn1}.n_s = 135406 \text{ mm}^2$
Faktor nominal tahanan tumpu (ϕ_b)	= 1

Maka nominal tahanan pada tumpu

$$R_{sbn} = 1,4 \cdot A_{pn} \cdot F_y = 46444,26 \text{ kN}$$

$$\phi_b \cdot R_{sbn} = 46444,26 \text{ kN}$$

Periksa kekuatan pada tumpu

$$R_{sbr} < \phi_b \cdot R_{sbn}$$

$$\text{Rasio}_{13} = \frac{R_{sbr}}{\phi_b \cdot R_{sbn}} = 0,03$$

3. Periksa faktor tahanan aksial

Faktor panjang efektif (K)		= 0,75
Panjang tidak terkekang (l)		= 1,08 m
Luas penampang (A_g) = (A_{pn1})		= 135406 mm ²
Inersia penampang	I_x	= 0,0082 m ⁴ = 8200000000 mm ⁴
	I_y	= 0,0003 m ⁴ = 300000000 mm ⁴
Jari-jari girasi	r_1	= $\sqrt{\frac{I_x}{A_g}}$ = 246,09 mm
	r_2	= $\sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$ = 47,07 mm
	r	= min (r_1 , r_2) = 47,07 mm
Kekuatan leleh material (F_y)		= 245 Mpa
Modulus elastisitas baja (E_s)		= 200.000 Mpa
Faktor tahanan untuk tekan (ϕ_c)		= 0,95

4. Periksa batas kelangsingan

$$\frac{K \cdot l}{r} < 120$$

$$\frac{K \cdot l}{r} = 17,21$$

$$17,21 < 120 \dots \dots \quad (\text{OK})$$

5. Hitung nilai P_e (Tahanan kritis tekuk elastis)

$$P_e = \frac{\pi^2 E_s}{(\frac{K \cdot l}{r})^2} \cdot A_g = 902570,13 \text{ kN}$$

6. Hitung nilai P_o (Tahanan nominal leleh)

$$P_o = (F_y \cdot A_g) = 33174,47 \text{ kN}$$

Periksa apakah :

$$\frac{P_e}{P_o} \geq 0,44 \quad \frac{P_e}{P_o} = 27,21$$

Karena P_e/P_o besar dari 0,44 maka nilai tahanan tekan nominal adalah :

Hitung nilai P_n (Tahanan tekan nominal)

$$P_n = [0,658, \frac{P_o}{P_e} \cdot P_o] \cdot n_s = 32668,02 \text{ kN}$$

7. Hitung rasio tahanan tekan nominal yang terjadi di batang

$$P_u = R_{sbr} = 1302,82 \text{ kN}$$

$$P_r = \phi_c \cdot P_n = 31034,62 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{P_r} = 0,04 \dots \dots \text{ (OK)}$$

Pengaku Transversal

Data-data material dan penampang pengaku :

$$\text{Tinggi profil (H)} = 857 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar profil (B)} = 158 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi pelat badan (web)} = 844 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar proyeksi (b) = (B)} = 158 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pengaku (t}_{ps}) = 16 \text{ mm}$$

Lebar proyeksi pengaku transversal harus memenuhi persyaratan berikut :

$$\text{Syarat : } b \geq 50 \text{ mm} + \frac{D}{30} \dots \dots \text{ (OK)}$$

$$16 \cdot t_{ps} \geq b \geq \frac{bc}{4} \dots \dots \text{ (OK)}$$

Lampiran C.14 Diafgragma

1. Data-data penampang

Tinggi profil (H)	= 75 mm
Lebar profil (B)	= 75 mm
Tebal pengaku (tps)	= 6 mm
Mutu beton ($f'c$)	= 30 Mpa
Tegangan leleh baja (F_y)	= 245 Mpa
Modulus elastisitas beton (E_c)	= 25742,96 Mpa
Modulus elastisitas baja (E_s)	= 200.000 Mpa
Berat jenis beton (γ_c)	= 24 kN/m ³
Berat jenis aspal (γ_a)	= 22 kN/m ³
Berat jenis baja (γ_s)	= 78,50 kN/m ³

2. Periksa kelangsingan penampang

Faktor panjang efektif (K)	= 0,75
Panjang tidak terkekang (l)	= 1,08 m
Luas penampang (A_g) = (A_{pn1})	= 872,7 mm ²
Inersia penampang I_x	= 461000 mm ⁴
I_y	= 461000 mm ⁴
Jari-jari girasi r_1	= $\sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = 22,98$ mm
r_2	= $\sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = 22,98$ mm
r	= min (r_1 , r_2) = 22,98 mm

Syarat kelangsingan untuk komponen sekunder :

$$\frac{K \cdot l}{r} \leq 140 \dots \dots \text{ (OK)}$$