

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGUNAAN BAHAN *FIBER REINFORCED POLYMER* (FRP) UNTUK
PERKUATAN JEMBATAN SEI KETALO KECIL DI PROVINSI JAMBI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menempuh gelar Sarjana
(Strata-1) Teknik Sipil*

Oleh :

DIMAS SOPIANA

2112217033



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA
YAYASAN KEUANGAN DAN PERBANKAN (YPKP)
BANDUNG
2023

LEMBAR PENGESAHAN DAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGUNAAN BAHAN *FIBER REINFORCED POLYMER* (FRP) UNTUK
PERKUATAN JEMBATAN SEI KETALO KECIL DI PROVINSI JAMBI

Oleh :

DIMAS SOPIANA

2112217033

Laporan Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan dan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Menyetujui & Mengesahkan:

Dosen Pembimbing

Ir. Muhammad Ryanto, MT.

NIK : 432.200.175

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Universitas Sangga Buana YPKP

Muhammad Syukri, ST., MT.

NIK : 432.200.200

ABSTRAK

Kerusakan yang terjadi pada balok beton bertulang dapat, disebabkan karena umur struktur, kesalahan design, kesalahan pengerjaan, pembebanan yang tidak sesuai rencana ataupun faktor – faktor alam lainnya. Pada umumnya, struktur yang rusak akan segera dibongkar dan diganti tanpa mempertimbangkan adanya kemungkinan untuk diperbaiki atau diberi perkuatan. *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* merupakan material yang bisa digunakan dalam perkuatan struktur beton bertulang, dimana material ini sangat baik digunakan sebagai perkuatan karena bobotnya ringan, tahan korosi, dan memiliki kuat Tarik yang tinggi. Studi kasus penelitian ini dilakukan pada jembatan Balok T yang terletak di Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi serta dilakukan pengujian *Ultra Pulse Velocity (UPV)*, Kedalaman Retak, Hammer Test, dan Rebar Scan untuk mencari parameter-parameter yang dibutuhkan saat proses analisis. Berdasarkan hasil analisis, girder balok T memiliki kapasitas lentur sebesar 3855,9 kNm dan memiliki kapasitas geser 813.1 kN. Setelah dilakukan perkuatan terhadap geser, maka kapasitas penampang terhadap geser menjadi 1266.5 kN atau meningkat sebesar 34%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa perkuatan FRP pada balok beton bertulang mampu meningkatkan kapasitas geser.

Keyword: *Retak Geser, Fiber Reinforced Polymer, Kapasitas Geser, Balok T.*

ABSTRACT

Damage that occurs in reinforced concrete beams can be caused by the age of the structure, design errors, workmanship errors, loading that is not according to plan or other natural factors. In general, damaged structures will be immediately dismantled and replaced without considering the possibility of repair or reinforcement. Fiber Reinforced Polymer (FRP) is a material that can be used in reinforcing reinforced concrete structures, where this material is very well used as reinforcement because it is light weight, corrosion resistant, and has high tensile strength. The case study of this research was carried out on the T beam bridge located in Tebo Regency, Jambi Province and Ultra Pulse Velocity (UPV), Crack Depth, Hammer Test, and Rebar Scan tests were carried out to find the parameters needed during the analysis process. Based on the analysis, the T beam girder has a bending capacity of 3855,9 kNm and has a shear capacity of 813.1 kN. After shear reinforcement, the capacity of the cross section against shear becomes 1266.5 kN or increases by 34%. Based on the results obtained, it can be concluded that FRP reinforcement of reinforced concrete beams can increase shear capacity.

Keywords : *Shear Crack, Fiber Reinforced Polymer, Shear Capacity, T Beam.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya yang dilimpahkan kepada kami sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Penggunaan Bahan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) Untuk Perkuatan Jembatan Sei Ketalo Kecil di Provinsi Jambi. Laporan ini dibuat sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu jurusan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana.

Shalawat serta salam kami panjatkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad S.A.W dan keluarganya, sahabatnya, serta pengikutnya sampai akhir zaman.

Kami menyadari bahwa dalam Penyusunan laporan ini tidak sedikit masalah yang dihadapi, oleh karena itu kami mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si ; Selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung.
2. Bapak Dr. Teguh Nurhani Suharno, M.T ; Selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung.
3. Bapak Bambang Susanto, SE., M.Si ; Selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung.
4. Ibu Nurhaeni Sikki, S,AP., M.AP ; Selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung.
5. Bapak Slamet Risnanto, ST., M.Kom ; Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung.
6. Bapak Muhammad Syukri, ST., MT, Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
7. Bapak Ir. Muhamad Ryanto,MT. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memotivasi dan membimbing selama melakukan Topsus.
8. Bapak/Ibu Dosen di Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada Penulis.
9. Kedua Orang Tua yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan serta dorongan baik moril, spiritual, maupun materil.

10. Istri tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan dalam setiap proses penyusunan laporan ini.
11. Rekan-rekan seangkatan yang senantiasa saling mendukung dalam penyusunan laporan ini.
12. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu dalam pengerjaan laporan ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas segala kebaikan dan bantuannya selama ini.

Dalam penyusunan laporan ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, Oleh sebab itu penyusun mengharapkan kritik dan saran sebagai perbaikan dalam penyusunan laporan selanjutnya.

Akhir kata penulis berharap agar laporan ini bermanfaat bagi para pembaca umumnya dan kami pribadi khususnya selaku penulis. Atas segala perhatiannya, diucapkan terima kasih

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal atas segala kebaikan dan jasa-jasanya dengan pahala yang berlipat. Amiin.

Bandung, 15 Juli 2023

Penulis

Dimas Sopiana
NPM. 2112217033

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Lokasi Penelitian	4
1.3 Maksud dan Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fiber Reinforced Polymer	6
2.1.1 Penerapan dan Penggunaan.....	6
2.1.2 Jenis – Jenis Bahan Fiber Reinforced Polymer.....	7
2.1.3 Sifat Bahan Fiber Reinforced Polymer	10
2.1.4 Pemilihan Sistem Fiber Reinforced Polymer	10
2.1.5 Perkuatan Geser Fiber Reinforced Polymer (FRP).....	11
2.1.6 Kekuatan geser nominal.....	11
2.1.7 Kontribusi FRP terhadap perkuatan geser.....	13
2.1.8 Skema Lilitan	13
2.1.9 Regangan efektif FRP	14
2.2 Jembatan.....	16
2.2.1 Bangunan Bawah (<i>Sub Structure</i>).....	17
2.2.2 Bangunan Atas (<i>Upper Structure</i>).....	18

2.3	Klasifikasi Jembatan.....	22
2.4	Pemeliharaan Jembatan	27
2.4.1	Pemeliharaan Rutin	27
2.4.2	Pemeliharaan Berkala.....	27
2.4.3	Rehabilitasi.....	27
2.5	Pemeriksaan Jembatan	27
2.5.1	Pemeriksaan Inventarisasi.....	27
2.5.2	Pemeriksaan Detail.....	28
2.5.3	Pemeriksaan Rutin	28
2.5.4	Pemeriksaan Khusus	28
2.5.5	Jenis Kerusakan.....	40
2.5.6	Kerusakan pada Elemen.....	41
2.6	Dasar Pembebanan	42
2.6.1	Beban Primer.....	42
2.7	Finite Element Method (FEM)	51
2.7.1	Midas Civil Design	51
BAB III METODOLOGI.....		52
3.1	Umum.....	52
3.2	Survei Inventaris.....	53
3.3	Survei Detail.....	53
3.3.1	Prosedur Pemeriksaan Detail	53
3.4	Survei Khusus.....	55
3.4.1	Non Destructive Test.....	55
3.5	Analisis Perkuatan Geser.....	59
3.5.1	Perencanaan Kekuatan Balok Terhadap Geser	59
3.6	Hasil Pemeriksaan Jembatan	60

3.6.1	Survei detail	61
3.6.2	Survei Khusus	70
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		76
4.1	Data Jembatan	76
4.2	Pemodelan Elemen Girder.....	76
4.3	Pembebanan Elemen Girder	79
4.3.1	Kombinasi pembebanan	73
4.3.2	Detail pembebanan.....	74
4.3.3	Rekapitulasi Pembebanan Elemen Girder.....	81
4.4	Aplikasi pembebanan pada Model Elemen Girder.....	82
4.5	Gaya-gaya Dalam Elemen Girder	84
4.6	Analisa Kapasitas Momen Lentur Penampang.....	85
4.7	Analisa Kapasitas Geser Penampang	87
4.8	Konsep Perkuatan <i>Fiber Reinforced Polymer</i> pada Elemen Girder.....	89
4.9	Analisa Perhitungan Perkuatan Fiber Reinforced Polymer pada Elemen Girder	97
5.1	Kesimpulan.....	102
5.2	Saran	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Retak Geser pada Balok Jembatan	3
Gambar 1. 2 Gambar Lokasi Kegiatan.....	4
Gambar 2. 1 Glass Fiber Reinforced Polymer	8
Gambar 2. 2 Carbon Fiber Reinforced Polymer	9
Gambar 2. 3 Aramid Fiber Reinforced Polymer	9
Gambar 2. 4 Penjelasan variabel-variabel dimensi yang dipakai dalam perhitungan perkuatan geser untuk perbaikan, retrofit, atau perkuatan menggunakan FRP.....	13
Gambar 2. 5 Skema lilitan tipikal untuk perkuatan geser menggunakan FRP	14
Gambar 2. 6 Lantai kendaraan jembatan	18
Gambar 2. 7 Gelagar balok T beton bertulang.....	19
Gambar 2. 8 Gelagar Baja komposit.....	19
Gambar 2. 9 Diafragma beton bertulang.....	20
Gambar 2. 10 tumpuan/andas jembatan.....	20
Gambar 2. 11 Railing jembatan	21
Gambar 2. 12 Pipa drainase jembatan	22
Gambar 2. 13 Expansion joint	22
Gambar 2. 14 Jembatan tipe pelat.....	24
Gambar 2. 15 Jembatan tipe gelagar.....	24
Gambar 2. 16 Jembatan tipe rangka (Truss)	25
Gambar 2. 17 Jembatan tipe pelengkung (Arch)	25
Gambar 2. 18 Jembatan tipe gantung (suspension).....	26
Gambar 2. 19 Jembatan tipe kabel (cable stayed).....	26
Gambar 2. 20 Jembatan tipe kabel (cable stayed).....	26
Gambar 2. 21 Skema Pengujian Hammer Test	29
Gambar 2. 22 Alat Uji Hammer Test	29
Gambar 2. 23 Grafik Hasil Perhitungan Hammer Test.....	30
Gambar 2. 24 Metoda Uji Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....	31
Gambar 2. 25 Alat Uji UPV	31
Gambar 2. 26 Skema Uji BS Method.....	33
Gambar 2. 27 Grafik Hubungan Kecepatan Dengan Mutu Beton	34
Gambar 2. 28 Alat Uji <i>Profometer/R-Bar</i> Gambar	37

Gambar 2. 29 Beban Lajur “D”	46
Gambar 2. 30 Pembebanan Truk “T” (500 kN)	47
Gambar 3. 1 Flow chart kegiatan penelitian	52
Gambar 3. 2 Denah struktur jembatan	61
Gambar 3. 3 Potongan memanjang jembatan	61
Gambar 3. 4 Potongan A - A.....	61
Gambar 3. 5 Potongan 1-1	62
Gambar 3. 6 Lokasi pengujian UPV mutu beton	71
Gambar 3. 7 Lokasi pengujian UPV kedalaman retak.....	72
Gambar 4. 1 Material Properties Pemodelan Midas Civil 2019	77
Gambar 4. 2 Section Properties Pemodelan Midas Civil 2019.....	78
Gambar 4. 3 Model Elemen Girder 3D (Node dan Frame).....	78
Gambar 4. 4 Model Elemen Girder (Solid 3D).....	79
Gambar 4. 5 Potongan Melintang Jembatan	74
Gambar 4. 6 Detai Girder Eksterior	74
Gambar 4. 7 Pembebanan Truk “T”.....	77
Gambar 4. 8 Potongan Melintang Jembatan	78
Gambar 4. 9 Detai Girder Interior.....	78
Gambar 4. 10 Pembebanan Truk “T”	81
Gambar 4. 11 Aplikasi Beban Mati Tambahan pada Girder (Unit:kN/m).....	82
Gambar 4. 12 Aplikasi Beban Terbagi Rata pada Girder (Unit:kN/m)	82
Gambar 4. 13 Aplikasi Beban Garis Terpusat pada Girder (Unit:kN).....	83
Gambar 4. 14 Aplikasi Beban Rem (Unit:kN).....	83
Gambar 4. 15 Penampang Balok T	85
Gambar 4. 16 Asumsi Balok T dengan Zona Blok Tegangan Tekan di bawah sayap	86
Gambar 4. 17 Diagram Distribusi Tegangan Penampang Balok T.....	87
Gambar 4. 18 Diagram Kurvatur Terhadap Momen yang Bekerja.....	89
Gambar 4. 19 Diagram Distribusi Tegangan Dalam Beton	90
Gambar 4. 20 Pola Retak Geser pada Balok	91
Gambar 4. 21 Tipe Skema Lilitan FRP	91

Gambar 4. 22 Aplikasi Perkuatan FRP pada Balok (a) <i>Continuous reinforcement</i> (b) <i>Reinforced strip</i>	92
Gambar 4. 23 Variabel Dimensi dalam Perhitungan Perkuatan Geser	92
Gambar 4. 24 Skema Terbungkus 3 Sisi “U-wrap).....	99
Gambar 4. 25 Skema Perkuatan Menerus (<i>Cpntinuous Reinforcement</i>).....	100
Gambar 4. 26 Perbandingan Kapasitas Girder Setelah Penanganan dengan FRP	101

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan R21 Provinsi Jambi	3
Tabel 2. 1 Masa jenis material FRP, g/ cm ³	10
Tabel 2. 2 Koefisien umum muai untuk material FRP.....	10
Tabel 2. 3 Faktor reduksi tambahan yang direkomendasikan untuk penulangan geser FRP	12
Tabel 2. 4 Kualitas Permukaan Beton Berdasarkan Rata-rata Angka Pantulan ...	30
Tabel 2. 5 Lebar Retak Maksimum yang Diizinkan	35
Tabel 2. 6 Klasifikasi Kualitas Homogenitas Beton	36
Tabel 2. 7 Jenis kerusakan pada jembatan	40
Tabel 2. 8 Jenis kerusakan pada elemen jembatan.....	41
Tabel 2. 9 Berat Isi untuk Beban Mati	43
Tabel 2. 10 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana.....	44
Tabel 2. 11 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”	45
Tabel 2. 12 Faktor Beban untuk Beban “T”	47
Tabel 2. 13 Kombinasi Beban dan Faktor Beban.....	49
Tabel 3. 1 Contoh elemen yang rusak.....	54
Tabel 3. 2 Kerusakan pada jembatan sei ketalo kecil	69
Tabel 4. 1 Tabel Kombinasi Pembebanan Pada Jembatan.....	73
Tabel 4. 2 Panjang Bentang dan Jarak CTC Girder Eksterior	75
Tabel 4. 3 Beban Mati Tambahan pada Girder Eksterior	75
Tabel 4. 4 Beban Lajur “D” pada Girder Eksterior.....	76
Tabel 4. 5 Beban Rem (TB) pada Girder Eksterior	76
Tabel 4. 6 Beban Truk pada Girder Eksterior	77
Tabel 4. 7 Panjang Bentang dan Jarak CTC Girder Interior	79
Tabel 4. 8 Beban Mati Tambahan pada Girder Interior	79
Tabel 4. 9 Beban Lajur “D” pada Girder Interior	80
Tabel 4. 10 Beban Rem (TB) pada Girder Interior	80
Tabel 4. 11 Beban Truk pada Girder Interior.....	81
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Pembebanan Pada girder.....	81
Tabel 4. 13 Faktor Reduksi Lingkungan untuk system FRP dan jenis paparannya (exposure).....	93

Tabel 4. 14 Faktor Reduksi Lingkungan untuk system FRP dan jenis paparannya (exposure).....	94
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya mobilitas penduduk sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan wilayah permukiman dan industri menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan akan penyediaan sarana dan prasarana transportasi yang mencukupi. Pertumbuhan kebutuhan akan prasarana transportasi menyebabkan perlu dilakukannya program pemeliharaan jaringan jalan yang terencana secara efektif dan efisien serta berkesinambungan. Program penanganan jaringan jalan pada daerah di seluruh wilayah Indonesia baik berupa pemeliharaan, peningkatan, maupun pembangunan membutuhkan suatu perencanaan yang terukur dan sesuai dengan standar-standar teknis perencanaan agar nantinya dapat dilaksanakan konstruksi yang tepat mutu dan tepat waktu, dengan arti kata menghasilkan pekerjaan yang berkualitas yang dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan dalam berlalu lintas.

Dalam pemeliharaan sistem jaringan jalan di Indonesia, jembatan memiliki peranan yang sangat penting untuk menghubungkan jalan atau wilayah yang terputus oleh suatu rintangan yang bisa berupa sungai, lembah, dll. Kondisi Jembatan pada saat ini rata-rata dinilai masih memenuhi kriteria kenyamanan baik dari segi kapasitas maupun dari segi kualitas. Namun apabila satu jembatan saja terputus maka sistem jaringan jalan akan ikut terputus sehingga berakibat terhadap kegiatan perekonomian di daerah tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan, maka perlunya dilakukan kegiatan pemeriksaan dan pemeliharaan terhadap jembatan-jembatan tersebut untuk memastikan bahwa jaringan jalan tidak akan terputus. Berbagai jenis pemeriksaan jembatan secara visual perlu dilakukan untuk memastikan kondisi jembatan dalam kondisi baik seperti pemeriksaan rutin yang dilakukan beberapa kali dalam setahun, pemeriksaan detail untuk mengetahui kondisi detail jembatan secara visual yang dilakukan minimal 2 tahun sekali.

Seiring dengan perkembangan zaman, beban kendaraan terus meningkat dari waktu ke waktu dan tidak sesuai dengan desain pembebanan jembatan pada

saat lampau. Peningkatan beban atau dapat disebut dengan overload ini merupakan salah satu penyebab kegagalan struktur jembatan di Indonesia sehingga dibutuhkan suatu pemeliharaan.

Penanganan untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur. Salah satu kasus kegagalan struktur jembatan terjadi pada Jembatan Sei Ketalo Kecil yang terletak di daerah Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi. Berdasarkan data BMS bahwa jembatan Sei Ketalo Kecil yang memiliki bentang 21m dibangun pada tahun 1988 atau sudah berumur 34 Tahun. Permasalahan yang terjadi pada jembatan tersebut adalah terjadi pola kegagalan geser pada balok jembatan yang ditandai adanya retak bersudut 45 derajat pada daerah tumpuan. Retak yang terjadi pada balok jembatan Sei Ketalo Kecil dapat dilihat pada Gambar 1.1. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa lalu lintas harian rata-rata tahunan yang melintasi ruas jalan Tebo, Provinsi Jambi adalah 2,1 Juta pertahun. Dapat disimpulkan lalu lintas yang terjadi pada ruas jalan tersebut adalah berat sehingga data yang didapatkan bisa menjadi acuan sebagai penyebab kegagalan yang terjadi. Data lalu lintas harian rata-rata dapat dilihat pada Tabel 1.1 Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan R21 Provinsi Jambi.

Data yang dapat mendukung pada penelitian ini adalah data hasil pengujian di lapangan diantaranya pengujian perkiraan kuat mutu beton eksisting dan kedalaman retak dengan metode Ultra Pulse Velocity (UPV) dan Bar Locator yaitu untuk mendeteksi jarak tulangan yang terpasang. Dari data pengujian tersebut maka dapat dilakukan analisis terhadap kapasitas geser penampang eksisting. Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi, maka dibutuhkan perkuatan untuk meningkatkan kapasitas geser dengan tujuan terhindarnya dari kegagalan geser. Penggunaan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) layak digunakan dalam merehabilitasi jembatan Sei Ketalo Kecil yang mengalami kegagalan geser karena tidak hanya dapat meningkatkan kapasitas dan umur layan jembatan, akan tetapi

memiliki kelebihan lainnya seperti ringan, nonkorosif, memiliki kuat Tarik tinggi, dan mudah dalam penerapan di lapangan.



Gambar 1. 1 Retak Geser pada Balok Jembatan

Tabel 1. 1 Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan R21 Provinsi Jambi

No Urut	Jenis	LHRT 2023	VDF 4	VDF 5	DL	DD	CESA4	CESA5
1	Sepeda Motor	1403	0	0	1.00	0.50	-	-
2,3,4	Sedan/Angkot/Pickup/Station Wagon	2261	0	0	1.00	0.50	-	-
5a	Bus Kecil	13	0	0	1.00	0.50	-	-
5b	Bus Besar	71	1.2	1.3	1.00	0.50	42.67	46.23
6a	Truck 2 Sumbu -Ringan	103	0.5	0.4	1.00	0.50	25.71	20.57
6b	Truck 2 Sumbu-Berat	2042	1.7	2.4	1.00	0.50	1,735.54	2,450.18
7a1	Truck 3 Sumbu - Ringan	0			1.00	0.50	-	-
7a2	Truck 3 Sumbu - Berat	244	14.3	26.9	1.00	0.50	1,747.70	3,287.64
7B1	Truck 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	0			1.00	0.50		
7B2	Truck 2 Sumbu dan Trailer Penarik 3 Sumbu	0			1.00	0.50		
7C1	Truck 4 Sumbu Trailer(muatan umum)	0	22.9	50.7	1.00	0.50	-	-
7C2.A	Truck 5 Sumbu Trailer	9	18.6	39	1.00	0.50	81.76	171.43
7C2.B	Truck 5 Sumbu Trailer	0			1.00	0.50	-	-
7C3	Truck 6 Sumbu Trailer	0	10.1	18.1	1.00	0.50	-	-
				CESA max Per Hari				
				CESA max Per Tahun				

1.2 Lokasi Penelitian



Gambar 1. 2 Gambar Lokasi Kegiatan

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan survei kerusakan pada elemen jembatan.
2. Menganalisa kekuatan eksisting jembatan dengan software midas civil
3. Melakukan kajian perkuatan struktur dengan Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan pengetahuan bagi mahasiswa mengenai bagaimana pemeliharaan pada jembatan dilaksanakan

1.4 Batasan Masalah

Dalam, kegiatan penelitian ini yang akan dilakukan meliputi:

1. Penelitian ini dibatasi dengan melakukan analisa pada elemen girder jembatan
2. Penanganan perkuatan dengan material Fiber Reinforced Polymer sebagai basis perkuatan pada girder jembatan

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan ini penulis akan menjelaskan sistematika penulisan meliputi :

- **Halaman Judul (cover).** Judul laporan yang menggambarkan isi laporan.

- **Lembaran Pengesahan.** Memuat tanda tangan pengesahan oleh pembimbing dan Kepala Program Studi Teknik Sipil.
- **Kata Pengantar.** Kata pengantar merupakan bagian dari laporan yang berfungsi untuk mengantar pembaca pada permasalahan atau materi yang diungkapkan di dalam laporan.
- **Daftar Isi.** Daftar isi merupakan daftar yang berfungsi untuk memberikan petunjuk kepada pembaca tentang isi laporan.
- **Daftar Gambar.** Daftar gambar perlu dicantumkan jika di dalam laporan tersebut terdapat Gambar dengan maksud untuk memberikan petunjuk kepada pembaca bahwa di dalam laporan itu terdapat gambar.
- **Daftar Tabel.** Daftar tabel perlu dicantumkan jika di dalam laporan tersebut terdapat tabel dengan maksud untuk memberikan petunjuk kepada pembaca bahwa di dalam laporan itu terdapat tabel.
- **BAB I PENDAHULUAN.** Menguraikan latar belakang, maksud dan tujuan, lokasi kegiatan, batasan masalah, metode pengumpulan data dan sistematika pembahasan laporan.
- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA.** Menguraikan tinjauan pustaka terkait dengan topik laporan.
- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN.** Menguraikan mengenai lokasi kegiatan, metodologi pengumpulan data, dan sistematika pelaporan.
- **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.** Menguraikan hasil dan analisis dari kegiatan penelitian.
- **BAB V PENUTUP.** Menguraikan kesimpulan berupa hasil yang diperoleh dari hasil kegiatan penelitian.
- **DAFTAR PUSTAKA.** Memuat daftar pustaka yang menjadi rujukan penulisan Laporan.
- **LAMPIRAN.** Memuat lampiran-lampiran yang mendukung tentang hasil kegiatan dan yang dianggap perlu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fiber Reinforced Polymer

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan material komposit yang terbuat dari fiber dalam resin polimer yang berfungsi sebagai bahan untuk perbaikan dan rehabilitasi. FRP digunakan untuk membuat laminasi komposit, seua resin yang ada digunakan untuk mengikat resin ke lapisan beton, dan semua lapisan tambahan digunakan untuk melindungi material penyusunnya, pelapis yang digunakan khusus untuk alasan estetika tidak dianggap sebagai bagian dari system FRP.

Material FRP adalah ringan, non korosif, dan memiliki kekuatan Tarik tinggi. Bahan bahan ini tersedia dalam beberapa bentuk, mulai dari laminasi cetak Tarik yang diproduksi pabrik hingga lembaran serat kering yang dapat dibungkus agar sesuai dengan geometri struktur sebelum penambahan resin polimer. Profil system FRP yang relative tipis sering digunakan untuk struktur dimana estetika atau aksesibilitas menjadi prioritas. System FRP juga dapat digunakan di daerah dengan akses terbatas ketika teknik konvensional sulit diterapkan.

2.1.1 Penerapan dan Penggunaan

Sistem FRP dapat digunakan untuk merehabilitasi atau mengembalikan kekuatan komponen struktur yang rusak, memperbaiki atau memperkuat anggota struktur untuk menahan beban yang bertambah karena perubahan fungsi struktur, atau mengatasi kesalahan desain atau pelaksanaan. Tenaga ahli professional berlisensi harus menentukan apakah sistem FRP adalah teknik perkuatan yang cocok untuk sebuah struktur sebelum memilih jenis sistem FRP yang akan digunakan nantinya.

Untuk menilai kesesuaian sistem FRP pada struktur tertentu, tenaga ahli professional berlisensi harus meninjau kondisi struktur yang ada, dengan peninjauan meliputi kapasitas beban eksisting, mengidentifikasi kekurangan dan penyebabnya, kondisi lapisan substrat beton. Evaluasi secara menyeluruh melalui inspeksi lapangan, review terhadap desain eksisting atau dokumen yang telah

dilaksanakan, dan analisis struktur sesuai dengan ACI 364.1R. Dokumen pelaksanaan eksisting untuk struktur harus ditinjau, termasuk gambar desain, spesifikasi proyek, informasi bangunan, laporan uji lapangan, dokumentasi perbaikan, dan riwayat pemeliharaan. Tenaga ahli profesional berlisensi harus melakukan penyelidikan lapangan menyeluruh pada struktur yang ada sesuai dengan ACI 437R, ACI 562, ACI 369R, dan dokumen ACI lainnya yang berlaku. Minimal, investigasi lapangan harus menentukan parameter di bawah ini:

- a. Dimensi komponen struktur eksisting
- b. Lokasi, ukuran, dan penyebab retak dan pengelupasan
- c. Jumlah dan lokasi baja tulangan eksisting
- d. Lokasi dan tingkat korosi baja tulangan
- e. Terdapatnya korosi aktif
- f. Kekuatan tekan beton eksisting
- g. Kualitas permukaan (soundness) beton, khususnya selimut beton, di semua area di mana sistem FRP nantinya akan terlekat pada beton

Kekuatan tarik beton pada permukaan tempat sistem FRP dipasang harus ditentukan dengan melakukan uji tarik adhesif sesuai dengan ASTM C1583/C1583M. Kekuatan tekan beton eksisting harus ditentukan berdasarkan kekuatan inti beton sesuai dengan persyaratan ACI 562. Kapasitas daya dukung struktur eksisting harus didasarkan pada investigasi lapangan, review kalkulasi desain dan gambar, dan menentukan metode analisis. Pengujian beban atau metode lainnya dalam rangka evaluasi menyeluruh juga dapat dilakukan jika dianggap tepat.

2.1.2 Jenis – Jenis Bahan Fiber Reinforced Polymer

Terdapat beberapa jenis fiber reinforced yang digunakan pada pekerjaan perkuatan struktur, umumnya di Indonesia menggunakan bahan-bahan sebagai berikut :

1. Glass Fiber Reinforced Polymer

GFRP merupakan material komposit yang terdiri dari matriks polimer, biasanya berupa resin dan serat kaca. Resin membawa ketahanan lingkungan dan kimia pada produk, sebagai pengikat untuk serat dalam laminasi struktural dan mendefinisikan

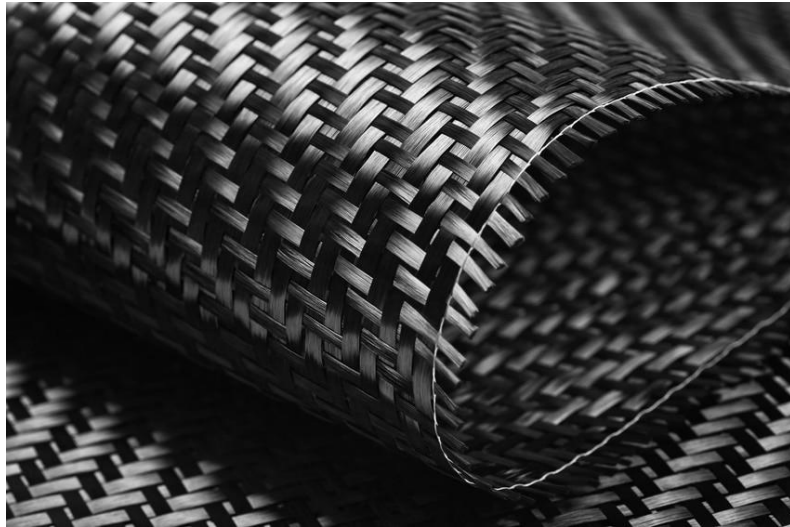
bentuk bagian GFRP. Serat kaca menambah kekuatan komposit. Jenis ini fiber yang relatif lebih murah serta memiliki regangan yang lebih besar. Jenis fiber kaca yang paling umum digunakan untuk GFRP adalah e-glass, yaitu kaca alumino-borosilikat. E-CR-glass juga biasa digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan perlindungan sangat tinggi terhadap korosi asam. Kedua material pembentuk GFRP sebagai bahan komposit saling melengkapi sehingga membentuk senyawa yang lebih kuat. GFRP memiliki keunggulan yakni mempunyai ketahanan kimia yang sangat tinggi dan memiliki sifat isolasi yang sangat baik. Keunggulan ini menjadikan material GFRP merupakan pilihan yang baik untuk perkuatan struktur.



Gambar 2. 1 Glass Fiber Reinforced Polymer

2. Carbon Fiber Reinforced Polymer

Carbon Fiber Reinforced Polymer adalah bahan komposit yang diperkuat serat. Ini memiliki rasio power-to-weight yang tinggi, dapat menahan korosi, tidak berkarat, memiliki daya tahan yang sangat baik. dan nyaman untuk dipasang dan digunakan. Kekuatan tarik mekanis CFRP hingga 10 kali lipat dari tulangan konvensional. Selain itu, penggunaan tulangan konvensional rentan terhadap karat, tetapi serat carbon CFRP ini bukan baja, jadi tidak akan berkarat di masa depan.



Gambar 2. 2 Carbon Fiber Reinforced Polymer

3. Aramid Fiber Reinforced Polymer

Aramid Fiber Reinforced Polymer adalah material komposit yang terdiri dari matriks polimer yang diperkuat dengan serat aramid, kain karpet, atau kawat strand. Serat aramid terkenal kuat terhadap fatik dan baik digunakan pada lingkungan yang cukup agresif.



Gambar 2. 3 Aramid Fiber Reinforced Polymer

2.1.3 Sifat Bahan Fiber Reinforced Polymer

Material FRP memiliki masa jenis berkisar antara 1,2 hingga 2,1 g/cm³, empat hingga enam kali lebih rendah daripada baja

Tabel 2. 1 Masa jenis material FRP, g/ cm³

baja	Gelas (GFRP)	Karbon (CFRP)	Aramid (AFRP)
7,9	1,2 s/d 2,1	1,5 s/d 1,6	1,2 s/d 1,5

Ketika menerima gaya Tarik, material FRP searah tidak akan menunjukkan perilaku plastis (luluh) sebelum runtuh. Perilaku Tarik material FRP yang buat dari satu jenis serat mempunyai karakteristik spesifik, yaitu hubungan tegangan-regangan yang linier hingga runtuh, keruntuhan tiba-tiba dang etas.

Kekuatan Tarik dan kekuatan material FRP tergantung dari beberapa factor. Karena material serat di dalam FRP merupakan bahan utama pemikul beban, jenis serat, orientasi serat, jumlah serat, dan metode produksi serat mempengaruhi kekuatan Tarik system FRP.

Tabel 2. 2 Koefisien umum muai untuk material FRP

Arah	Koefisien pemuaian, $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$				
	Beton	Baja	GFRP	CFRP	AFRP
Longitudinal, α_L	7,0 s/d 11,0	11,7	6 s/d 10	-1 s/d 0	-6 s/d -2
Transversal, α_T	7,0 s/d 11,0	11,7	19 s/d 23	22 s/d 50	60 s/d 80

2.1.4 Pemilihan Sistem Fiber Reinforced Polymer

1. Pertimbangan pembebanan

Kondisi pembebanan berpengaruh secara spesifik terhadap serat sistem FRP. Beberapa factor yang perlu dipertimbangkan dalam memoilih system FRP tercantum berikut:

- Toleransi terhadap beban sentak, system AFRP dan GFRP memiliki toleransi yang lebih baik bila disbanding dengan CFRP
- Runtuh rangkak dan kelelahan, system CFRP mempunyai daya tahan tinggi terhadap runtuh rangkak akibat beban berkelanjutan dan kelelahan akibat beban siklik. Sistem GFRP lebih sensitive terhadap kedua kondisi beban tersebut.

2. Pertimbangan keawetan

Keawetan sistem FRP merupakan bidang yang masih terus di selidiki oleh para peneliti (Dolan et al. 2008; Karbhari 2007). Perencana bersertifikat harus memilih sistem FRP yang telah teruji segi keawetannya dalam kondisi yang sesuai dengan keadaan lingkungan dimana struktur tersebut akan dibangun. Pengujian keawetan dapat berupa pembebanan siklik panas-dingin, direndam di dalam larutan alkali, siklus cair-beku, pemberian sinar ultraviolet, pemanasan dalam keadaan kering, dan pengaruh air garam (Cromwell et al. 2011).

Pengaruh beragam kondisi lingkungan seperti beku-cair, karat besi, alkali, reaksi agregat silika, air yang terjebak dalam bahan beton, tekanan pori dan transmisi penguapan akibat kondisi kelembapan pada setiap sistem FRP yang menyelimuti elemen beton secara keseluruhan, harus diperiksa. (Masoud and Soudki 2006; Soudki and Green 1997; Porter et al. 1997; Christensen et al. 1996; Toutanji 1999). Banyak sistem FRP membentuk lapisan kedap air pada permukaan beton. Apabila diperkirakan akan adanya penguapan dari dalam material keluar, perlu disiapkan metode yang memungkinkan uap air tersebut dapat menguap dengan baik.

2.1.5 Perkuatan Geser Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Sistem serat berpolimer (FRP) telah terbukti meningkatkan kekuatan geser balok dan kolom beton eksisting dengan lilitan atau lilitan parsial komponen (Malvar et al. 1995; Chajes et al. 1995; Norris et al. 1997; Kachlakev dan McCurry 2000). Mengorientasikan serat FRP transversal ke sumbu komponen atau tegak lurus terhadap retak geser potensial merupakan cara efektif meningkatkan kekuatan geser (Sato et al. 1996). Peningkatan kekuatan geser mungkin diperlukan ketika perkuatan lentur diimplementasikan untuk memastikan bahwa kapasitas lentur tetap kritis. Keruntuhan lentur secara relatif lebih daktil dibandingkan dengan keruntuhan geser.

2.1.6 Kekuatan geser nominal

Kekuatan geser desain komponen beton yang diperkuat dengan sistem FRP harus melebihi kekuatan geser yang diperlukan (Pers. (11.3a)). Kekuatan geser perlu dari komponen beton yang diperkuat FRP harus dihitung dengan faktor beban yang disyaratkan oleh ACI 318. Kekuatan geser desain harus dihitung dengan

mengalikan kekuatan geser nominal dengan faktor reduksi kekuatan , sebagaimana ditentukan oleh ACI 318.

$$\phi V_n \geq V_u$$

Kekuatan geser nominal dari komponen beton yang diperkuat FRP dapat ditentukan dengan menambahkan kontribusi penulangan geser eksternal FRP ke kontribusi dari baja tulangan (sengkang, sengkang ikat, atau spiral) dan beton (Pers. (11.3b)). Faktor reduksi tambahan, Ψ_f , diterapkan pada kontribusi sistem FRP.

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \psi_f V_f)$$

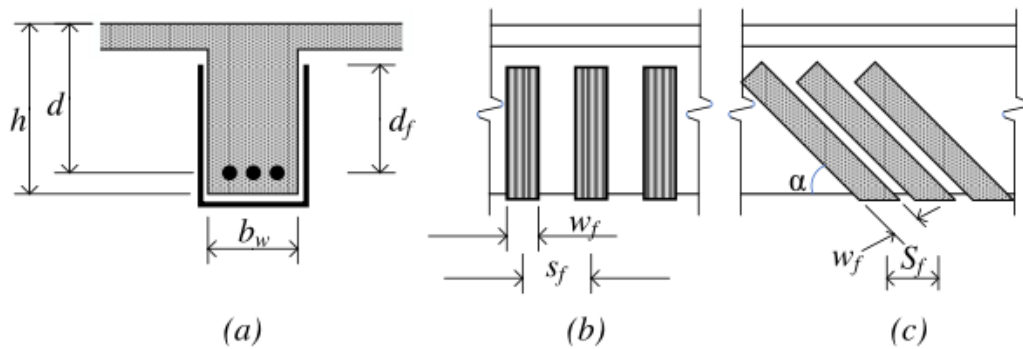
V_c dan V_s , adalah kontribusi beton dan baja tulangan internal untuk kapasitas geser yang masing-masing dihitung menggunakan ketentuan ACI 318. Untuk komponen prategang, V_c adalah terkecil dari V_{ci} dan V_{cw} yang ditentukan oleh ACI 318. Berdasarkan pada analisis reliabilitas yang menggunakan data dari Bousselham dan Chaallal (2006), Deniaud dan Cheng (2001, 2003), Funakawa et al. (1997), Matthys dan Triantafyllou (2001), dan Pellegrino dan Modena (2002), faktor reduksi, ψ_s , 0,85 direkomendasikan untuk skema lilitan FRP-U tiga sisi atau skema perkuatan dua sisi yang berlawanan. Data eksperimental yang tidak memadai untuk mewujudkan analisis keandalan untuk penampang yang dililit sepenuhnya; Namun demikian, skema perkuatan tersebut hanya ada sedikit variabilitas, karena kurangnya ketergantungan terhadap lekatan, dan oleh karena itu, faktor reduksi, ψ_s , 0,95 direkomendasikan. Faktor ψ dikalibrasi berdasarkan sifat material desain. Rekomendasi tersebut diberikan pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2. 3 Faktor reduksi tambahan yang direkomendasikan untuk penulangan geser FRP

$\psi_f = 0,95$	Komponen-komponen yang terbungkus sepenuhnya
$\psi_f = 0,85$	Skema dua sisi berlawanan dan tiga sisi

2.1.7 Kontribusi FRP terhadap perkuatan geser

Gambar 2.19 menjelaskan variabel-variabel dimensi yang digunakan dalam perhitungan perkuatan geser untuk laminasi FRP. Kontribusi sistem FRP terhadap kekuatan geser suatu komponen didasarkan pada orientasi serat dan asumsi pola retak (Khalifa et al. 1998). Kekuatan geser yang disediakan oleh penulangan FRP dapat ditentukan dengan menghitung gaya dari tegangan tarik FRP sepanjang retak yang diasumsikan.



Gambar 2. 4 Penjelasan variabel-variabel dimensi yang dipakai dalam perhitungan perkuatan geser untuk perbaikan, retrofit, atau perkuatan menggunakan FRP

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f}$$

Untuk penampang persegi panjang

$$A_{fv} = 2n t_f w_f$$

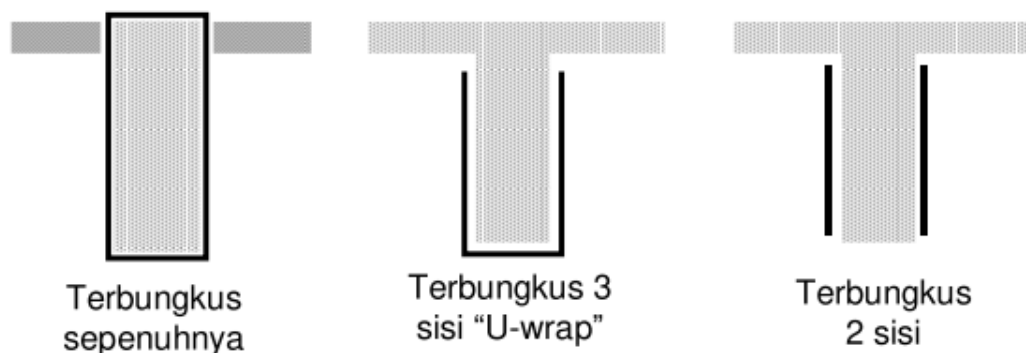
Tegangan Tarik dalam perkuatan geser FRP pada kuat nominal proporsional langsung dengan regangan yang dapat berkembang dalam perkuatan geser FRP pada kekuatan nominal.

$$f_{fe} = E_f \cdot \epsilon_{fe}$$

2.1.8 Skema Lilitan

Tiga tipe skema lilitan untuk meningkatkan kekuatan geser balok atau kolom prismatik, persegi panjang ditunjukkan pada Gambar 11.2. Sistem lilitan FRP lengkap yang melingkari penampang di empat sisinya adalah skema lilitan yang paling efisien dan yang sering dipakai pada aplikasi di kolom dimana ke empat sisinya memungkinkan. Pada balok yang menyatu dengan slab skema lilitan

lengkap sulit dilakukan, peningkatan kekuatan geser dapat dilakukan hanya dengan lilitan pada tiga sisi dari batang (lilitan U) atau dilekatkan pada 2 sisi batang yang berlawanan. Meskipun 3 skema lilitan untuk meningkatkan kekuatan geser untuk batang persegi panjang telah disajikan, lilitan lengkap pada penampang adalah yang paling efisien, diikuti dengan lilitan U tiga sisi. Pelekatan 2 sisi pada balok merupakan skema dengan efisiensi yang paling sedikit. Untuk penguatan geser batang berpenampang lingkaran, hanya lilitan melingkar lengkap dari penampang dimana orientasi FRP tegak lurus terhadap sumbu longitudinal batang (yaitu, $\alpha=90^\circ$) yang direkomendasikan.



Gambar 2. 5 Skema lilitan tipikal untuk perkuatan geser menggunakan FRP

2.1.9 Regangan efektif FRP

Regangan Efektif adalah regangan maksimum yang dapat dicapai dalam system FRP pada kekuatan nominal dan ditentukan oleh pola kegagalan system FRP dan oleh komponen beton bertulang yang diperkuat. Berikut adalah berbagai konfigurasi laminasi FRP yang dipakai untuk perkuatan geser pada komponen beton bertulang :

1. Komponen dengan pembungkusan penuh

Untuk kolom dan balok beton bertulang yang dibungkus sepenuhnya dengan FRP, kehilangan keterkaitan antar agregat pada beton telah diamati dan terjadi pada regangan-regangan serat lebih kecil dari regangan serat ultimit. Untuk mencegah pola kegagalan ini, regangan maksimum yang dipakai untuk perencanaan harus dibatasi sebesar 0,4 persen untuk komponen yang dibungkus sepenuhnya dengan FRP. Batas regangan ini berdasarkan dari pengujian

(Priestley et al. 1996) dan pengalaman. Regangan-regangan yang lebih tinggi harus tidak dipakai untuk aplikasi-aplikasi perkuatan- geser FRP.

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75\varepsilon_{fu}$$

2. Pembungkusan – U terekat dan lapisan-lapisan permukaan terekat

Hasil pengamatan menunjukkan sistem FRP yang tidak membungkus seluruh penampang (pembungkusan dua dan tiga sisi) mengalami delaminasi dari beton sebelum kehilangan keterikatan antar agregat dari penampang. Untuk alasan ini, tegangan-tegangan rekat telah dianalisis untuk menentukan efisiensi sistem-sistem ini dan regangan efektif yang dapat dicapai (Triantafillou 1998). Regangan efektif dihitung dengan koefisien reduksi daya rekat κ_v yang dapat diaplikasikan untuk geser.

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu} \leq 0,004$$

Koefisien reduksi daya rekat merupakan fungsi kekuatan beton, tipe skema pembungkusan yang dipakai, dan kekakuan laminasi.

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11.900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75 \quad (\text{SI})$$

Koefisien reduksi daya rekat dapat dihitung dengan. Panjang lekatan aktif, L_e , adalah panjang dimana mayoritas tegangan lekatan dipertahankan. Panjang lekatan ini diperoleh dengan Pers. (11.4.1.2c)

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0,58}} \quad (\text{SI})$$

Koefisien reduksi daya rekat juga tergantung pada dua faktor modifikasi, k_1 dan k_2 , yang memperhitungkan masing-masing kekuatan beton dan tipe skema pembungkusan yang dipakai. Kedua faktor modifikasi ini dapat dihitung dengan Pers.

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \quad (\text{SI})$$

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & \text{untuk pembungkusan tiga sisi} \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & \text{untuk pembungkusan dua sisi} \end{cases}$$

Metodologi untuk menentukan K , telah divalidasi untuk komponen di daerah-daerah dengan gaya geser tinggi dan momen rendah, seperti balok dengan tumpuan sederhana yang menerima beban monotonik. Meskipun metodologinya belum dikonfirmasi untuk perkuatan geser di daerah yang mengalami tegangan-tegangan lentur dan geser tinggi atau di daerah-daerah dimana bagian badan mengalami desak (daerah-daerah momen negatif), disarankan bahwa k , cukup konservatif untuk kasus-kasus tersebut. Prosedur-prosedur diuraikan disini telah dikembangkan dari kombinasi hasil-hasil analitis dan empiris (Khalifa et al. 1998). Detailing pengangkuran telah digunakan untuk mengembangkan regangan lebih tinggi pada skema dalam pembungkusan-U terekat yang dipakai dalam aplikasi-aplikasi perkuatan geser. Sistem-sistem pengangkuran termasuk alat sambung mekanis, lajur FRP, angkur serat dan angkur yang dipasang dekat permukaan (NSM); contoh-contohnya ditunjukkan dalam Gambar 10.1.1b. (Khalifa et al. 1999; Kalfat et al. 2013; Grelle and Sneed 2013). Pembungkusan U yang diangkur dengan benar dapat dirancang untuk mengalami kegagalan melalui robek FRP (Belarbi et al. 2011). Tidak satu kasuspun, regangan efektif pada pembungkusan U dengan FRP yang diangkur melebihi nilai yang terkecil dari 0,004 atau 0,758 ϵ_{fu} , dan $\psi_f = 0,85$ masih sesuai untuk pembungkusan U yang diangkur.

$$V_s + V_f \leq 0,66\sqrt{f'_c}b_wd \quad (SI)$$

Kekuatan geser total yang disediakan oleh perkuatan harus diambil sebagai jumlah kontribusi perkuatan geser FRP dan penulangan geser baja. Jumlah dari kekuatan-kekuatan geser dari perkuatan geser harus dibatasi berdasarkan kriteria untuk baja saja dalam ACI 318.

2.2 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang dibangun dengan melewati penghalang atau rintangan berupa sungai, danau, selat, rawa, rel, jalan, dan lain-lain dengan tujuan untuk menghubungkan dua daerah guna memperlancar transportasi darat.

Kesejahteraan dalam bidang perekonomian, pendidikan, sosial dan budaya semakin berkembang, sehingga menyebabkan tingkat arus lalu lintas semakin

meningkat dari desa ke kota maupun sebaliknya. Adanya hubungan tersebut secara tidak langsung menyebabkan pemerintah diwajibkan untuk menyediakan sarana dan prasarana dalam perkembangan-perkembangan yang terjadi. Diharapkan dengan disediakannya fasilitas yang menunjang dan memperlancar perkembangan suatu desa atau kota, maka masyarakat akan merasa lebih nyaman dan lebih diutamakan kesejahteraannya.

Dari penjelasan singkat diatas dapat diketahui bahwa pembangunan jembatan merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan transportasi di suatu daerah, sehingga mobilisasi kegiatan penduduk yang terputus oleh adanya sungai, lembah dan sebagainya menjadi lebih mudah. Konstruksi jembatan terdiri dari *Sub Structure* (bangunan bawah) dan *Upper Structure* (bangunan atas).

2.2.1 Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Bangunan bawah jembatan adalah salah satu bagian dari konstruksi jembatan yang berdiri diatas pondasi pnyangga dari bangunan atas dan juga seluruh beban yang bekerja pada bangunan atas. Bangunan bawah jembatan berfungsi sebagai konstruksi jembatan yang menahan beban dari bangunan atas jembatan dan menyalurkannya ke pondasi yang kemudian disalurkan menuju dasar tanah.

Pada dasarnya konstruksi bangunan bawah jembatan dalam masalah perencanaan merupakan hal utama yang harus diperhatikan, karena merupakan salah satu penyaluran semua beban yang bekerja pada jembatan termasuk juga gaya akibat gempa. Selain gaya-gaya tersebut, pada bangunan bawah juga bekerja gaya-gaya akibat tekanan tanah dari oprit serta barang-barang hanyutan dan gaya-gaya sewaktu pelaksanaan. Ditinjau dari konstruksinya, struktur bawah jembatan terdiri dari pondasi *Borepile*.

Pondasi *Borepile* adalah salah satu bagian dari konstruksi Jembatan yang terletak pada bagian bawah yang secara langsung berhubungan dengan tanah, di mana pada suatu Jembatan secara keseluruhan beban yang akan disalurkan ke tanah harus melewati pondasi, oleh karena untuk setiap bangunan yang dibebani pasti akan mengalami penurunan, tetapi dalam penurunan tidak boleh melebihi batas yang telah ditentukan. Untuk batas maksimalnya, penurunan harus diusahakan

terjadi secara merata atau tidak ada penurunan sama sekali, sehingga tidak merubah struktur bangunan yang ada.

Secara umum pondasi *bore pile* merupakan konstruksi yang terletak paling bawah dan berfungsi menerima beban dan meneruskannya kelapisan tanah keras yang diperhitungkan cukup kuat menahannya.

2.2.2 Bangunan Atas (Upper Structure)

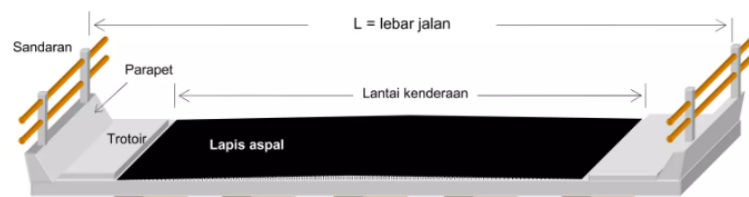
Bangunan atas jembatan (Upper Structure) adalah bagian konstruksi jembatan yang berfungsi menahan beban-beban hidup (bergerak) yang bekerja pada konstruksi bagian atas ditimbulkan oleh arus lalu lintas orang dan kendaraan maupun lalu lintas lainnya yang kemudian menyalurkannya kepada bangunan dibawahnya (sub structure). Konstruksi bagian atas jembatan terdiri dari :

1. Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan adalah seluruh lebar jembatan yang digunakan sebagai jalur lalu lintas. Bahan untuk membuat lantai jembatan dapat dibuat dari beberapa jenis konstruksi, yaitu:

- Lantai betobertulang.
- Lantai kayu.

Bahan konstruksi lantai jembatan yang sering digunakan di Indonesia adalah lantai beton bertulang. Hal ini ditinjau dari sudut pelaksanaan dan pemeliharaannya lebih mudah, lebih murah dan lebih kuat serta tingkat keawetannya lebih lama dibandingkan dengan lantai dari kayu.



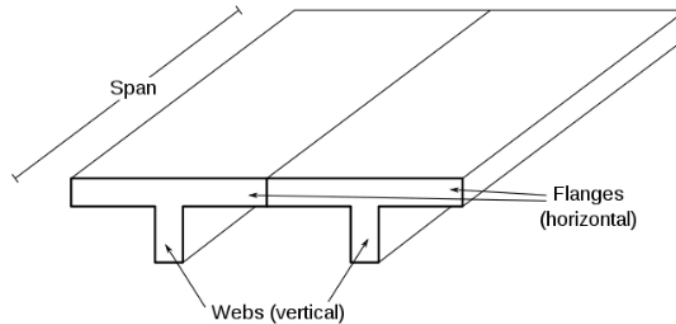
Gambar 2. 6 Lantai kendaraan jembatan

2. Balok Girder (Gelagar Memanjang)

Balok girder atau gelagar memanjang adalah bagian struktur atas yang berfungsi sebagai pendukung lantai kendaraan dan beban lalu lintas yang kemudian meneruskannya ke struktur bawah (tumpuan/andas). Balok

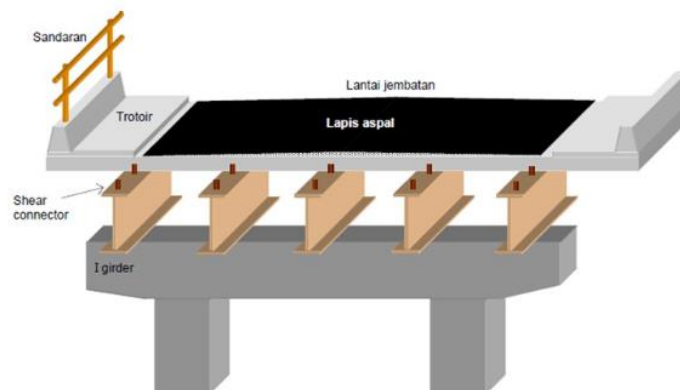
utama/gelagar memanjang biasanya dibuat dari beberapa macam/jenis konstruksi, antara lain:

- Gelagar dari beton bertulang dengan lantai kendaraan dari beton bertulang (monolith) atau T Beam Conventional.



Gambar 2. 7 Gelagar balok T beton bertulang

- Gelagar dari baja dengan lantai kendaraan dari beton bertulang (komposit).



Gambar 2. 8 Gelagar Baja komposit

Pada penggunaan gelagar beton bertulang dapat dibuat di lapangan /lokasi pekerjaan atau di pabrik (pabrikasi) seperti beton pratekan atau prestessed.

3. Diafragma (Gelagar Melintang)

Diafragma atau gelagar melintang adalah pengaku atau pengikat balok girder dan berfungsi untuk mencegah timbulnya lateral buckling pada gelagar dan meratakan beban yang diterima oleh gelagar memanjang (balok utama). Gelagar melintang biasanya diletakkan diantara gelagar memanjang pada balok beton dan pada pertemuan antara batang diagonal satu dengan lainnya (buhul) di bagian bawah pada jembatan rangka baja.



Gambar 2. 9 Diafragma beton bertulang

4. Tumpuan atau Andas

Tumpuan atau andas adalah bagian dari jembatan yang terletak diantara bangunan atas atau bangunan bawah yang berfungsi menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan atas, baik secara horizontal, vertical, maupun lateral dan menyalurkannya ke bangunan bawah.



Gambar 2. 10 tumpuan/andas jembatan

Gaya-gaya yang timbul adalah diakibatkan oleh:

- Beban vertical dan horizontal. Geser vertical dan horizontal.
- Putaran sudut.

Macam-macam andas

- Andas pelat.
- Andas garis.
- Andas titik (pin).

- Andas bidang.
- Andas pivot.
- Andas karet (*elastomer*).
- Andas karet dengan seal.
- Andas roll (tunggal, ganda)
- Andas pelat khusus.

5. Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap pada jembatan adalah bangunan yang dibangun dengan maksud untuk menambah keamanan konstruksi jembatan dan juga pejalan kaki. Bangunan pelengkap biasanya meliputi tiang sandaran (*railing*), saluran pembuang (*drainase*), lampu jembatan, *joint* (sambungan) dan lain-lain.

a. Sandaran (*railing*)

Sandaran berfungsi sebagai pengamanan bagi kendaraan dan pemakai lalu lintas lainnya (pejalan kaki) yang melewati jembatan tersebut.

Konstruksi sandaran terdiri dari:

- Tiang sandaran (*rail post*), biasanya dari beton bertulang, tetapi pada saat ini banyak yang dibuat dari baja profil tahan karat.
- Sandaran (*hand rail*) biasanya dibuat dari pipa besi , kayu atau beton bertulang



Gambar 2. 11 Railing jembatan

b. Saluran Pembuang (*Drainase*)

Drainase pada jembatan fungsinya menjaga agar jembatan tidak tergenang oleh air pada saat terjadi hujan. *Drainase* jembatan biasanya dibuat dari pipa dengan diameter kurang lebih antara 3 sampai 4 inchi.

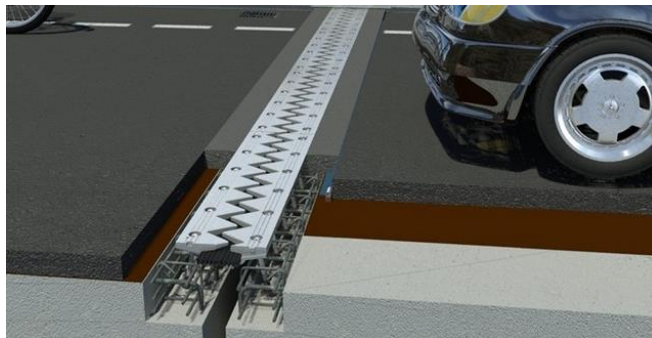


Gambar 2. 12 Pipa drainase jembatan

c. *Joint* (sambungan).

Pertemuan deck slab dengan beck wall pada abutmen dan pier jembatan dibuat suatu konstruksi yang disebut joint. Bentuk sambungan atau joint ada 2 (dua) macam yang disesuaikan dengan perletakannya adalah sebagai berikut:

- Sambungan pada sendi (*Fix Joint*).
- Sambungan pada roll (*Expansion Joint*).



Gambar 2. 13 Expansion joint

2.3 Klasifikasi Jembatan

Jenis jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi, dan tipe struktur sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan zaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sampai pada konstruksi

yang mutakhir. Berdasarkan kegunaannya jembatan dapat dibedakan sebagai berikut (Agus Iqbal Manu, 1995:9):

1. Jembatan jalan raya (*highway bridge*).
2. Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*).
3. Jembatan jalan air (*waterway bridge*).
4. Jembatan jalan pipa (*pipeway bridge*)
5. Jembatan militer (*military bridge*).
6. Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*).

Berdasarkan bahan konstruksinya jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain :

1. Jembatan kayu (*log bridge*).

Jembatan yang terdiri dari bahan kayu dengan bentang yang relatif pendek.

2. Jembatan beton (*concrete bridge*)

Jembatan beton merupakan jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton

3. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)

Jembatan dengan bahan berkekuatan tinggi merupakan alternative menarik untuk jembatan bentang panjang. Bahan ini dipergunakan secara luas pada struktur jembatan sejak tahun 1950-an.

4. Jembatan baja (*steel bridge*)

Jembatan yang menggunakan berbagai macam komponen system struktur baja seperti deck, girder, rangka batang, pelengkung, penahan dan penggantung kabel.

5. Jembatan komposit

Jembatan yang memiliki pelat lantai beton dihubungkan dengan girder atau gelagar baja yang bekerja sama mendukung beban sebagai satu kesatuan balok. Gelagar baja terutama menahan tarik sedangkan pelat beton menahan momen lendutan.

Berdasarkan tipe strukturnya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam (Bambang Supriyadi, 2007:18), antara lain:

1. Jembatan pelat (*slab bridge*)

Jembatan dengan bentuk yang paling ekonomis untuk menahan lentur dan gaya geser serta memiliki momen inersia terbesar untuk berat yang relatif rendah setiap unit panjangnya. Jembatan pelat berongga (*voided slab bridge*).



Gambar 2. 14 Jembatan tipe pelat

2. Jembatan gelagar (*girder bridge*).

Jembatan yang memiliki gelagar utama dihubungkan secara melintang dengan balok lantai membentuk pola *grid* dan akan menyalurkan beban bersama-sama. Jembatan tipe ini dibagi menjadi 2 macam yakni, *I-girder* dan *box girder*.



Gambar 2. 15 Jembatan tipe gelagar

3. Jembatan rangka (*truss bridge*).

Jembatan yang terdiri dari elemen-elemen berbentuk batang disusun dengan pola dasar menerus dalam struktur segitiga kaku. Elemen-elemen tersebut dihubungkan dengan sambungan pada ujungnya. Setiap bagian menahan beban aksial, tekan, dan Tarik.



Gambar 2. 16 Jembatan tipe rangka (*Truss*)

4. Jembatan Pelengkung (arch bridge)

Jembatan pelengkung merupakan struktur busur vertical yang mampu menahan beban tegangan aksial.



Gambar 2. 17 Jembatan tipe pelengkung (*Arch*)

5. Jembatan gantung suspension bridge)

Jembatan dimana gelagar digantung oleh penggantung vertical atau mendekati vertical yang kemudian digantungkan pada kabel penggantung utama yang melewati menara dari tumpuan satu ke tumpuan lainnya. Beban diteruskan melalui gaya Tarik kabel. Desain ini sesuai untuk jembatan bentang panjang.



Gambar 2. 18 Jembatan tipe gantung (*suspension*)

6. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)

Jembatan dimana gelagar digantung oleh kabel berkekuatan tinggi dari satu atau lebih menara. Desain ini lebih sesuai untuk jembatan jarak panjang.



Gambar 2. 19 Jembatan tipe kabel (*cable stayed*)

7. Jembatan kantilever (*cantilever bridge*)

Jembatan menerus yang dibuat dengan penempatan sendi di antara pendukung.



Gambar 2. 20 Jembatan tipe kabel (*cable stayed*)

2.4 Pemeliharaan Jembatan

Suatu pekerjaan yg dilaksanakan setelah pekerjaan pembangunan selesai, untuk mempertahankan kondisi jembatan / struktur agar selalu dalam kondisi siap layan. Terdapat tiga jenis pemeliharaan antara lain :

2.4.1 Pemeliharaan Rutin

Pekerjaan pemeliharaan rutin meliputi pembersihan jembatan secara umum, pengendalian tanaman pada area jembatan, penanganan ringan pada drainase, pengecatan sederhana, pemeliharaan permukaan lantai kendaraan.

2.4.2 Pemeliharaan Berkala

Usaha untuk menjaga jembatan tetap dalam kondisi dan daya layan yang baik setelah pembangunan yang mencakup beberapa kegiatan seperti pengecatan ulang pada elemen-elemen jembatan, penggantian bagian-bagian kecil pada jembatan, perkuatan bagian structural, perbaikan pada area tebing yang longsor atau terkena gerusan, penggantian expansion joint dan andas.

2.4.3 Rehabilitasi

Pada pekerjaan rehabilitasi meliputi perbaikan pada lantai jembatan yang sudah terjadi kerusakan yang cukup parah, perbaikan elemen beton dengan volume yang besar, perbaikan pada jembatan dengan umur layan yang sudah lebih dari 10 tahun, dan pengaturan pada daerah aliran sungai.

2.5 Pemeriksaan Jembatan

Pemeriksaan dan invetarisir dilakukan pada jembatan yang sudah ditentukan, pemeriksaan menyeluruh pada elemen jembatan secara visual dan menggunakan peralatan khusus untuk menentukan dan menilai kondisi jembatan yang ditinjau.

2.5.1 Pemeriksaan Inventarisasi

Pemeriksaan inventarisasi dilakukan untuk mengumpulkan data dasar administrasi, geometri, material dan data-data tambahan lainnya pada setiap jembatan termasuk lokasi jembatan, panjang bentang, dan jenis konstruksi embatan.

Pemeriksaan dilakukan pada komponen-komponen utama bangunan atas dan bangunan bawah.

2.5.2 Pemeriksaan Detail

Pemeriksaan detail dilakukan untuk mengetahui kondisi jembatan dan elemennya guna mempersiapkan strategi penanganan untuk setiap individual jembatan dan membuat urutan prioritas jembatan sesuai dengan jenis penanganannya.

2.5.3 Pemeriksaan Rutin

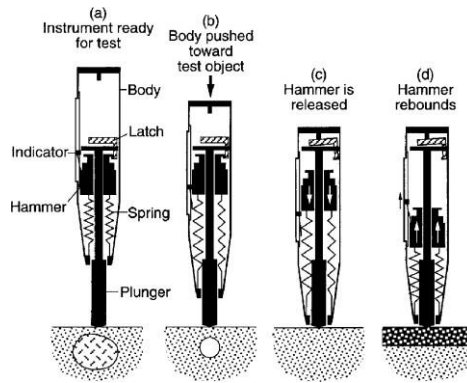
Pemeriksaan rutin dilakukan setahun untuk memeriksa pemeliharaan yang rutin dilaksanakan dengan baik atau tidak dan apakah harus dilaksanakan tindakan darurat atau perbaikan untuk memelihara jembatan supaya tetap dalam kondisi aman dan layak.

2.5.4 Pemeriksaan Khusus

Pemeriksaan khusus dilakukan ketika ada kerusakan jembatan yang tidak terdeteksi akibat sulitnya medan atau memerlukan alat-alat yang khusus untuk menentukan level kerusakan yang terjadi pada suatu elemen pada jembatan.

1) Hammer Test

Rebound Hammer Test (Schmid's Hammer Test) merupakan metode uji tidak merusak (Non-Destructive Test) untuk memperkirakan mutu beton. Prinsip kerja alat ini adalah memberikan beban Impact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan massa tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan beton (benda uji) diindikasikan sebagai kekerasan beton. Dalam pengujian Rebound Hammer Test, hanya beton yang berdekatan dengan plunger yang akan mempengaruhi nilai Rebound. Oleh karena itu hasil ujinya akan sangat peka terhadap kondisi lokal dimana pengujian dilakukan. Jika Plunger terletak diatas agregat keras/tulangan, maka nilai Rebound akan tinggi. Sebaliknya, jika Plunger terletak pada rongga udara, maka nilai Rebound akan rendah. Pada permukaan beton yang mengalami karbonasi/pelapukan juga menunjukkan angka/nilai yang lebih tinggi.



Gambar 2. 21 Skema Pengujian Hammer Test



Gambar 2. 22 Alat Uji Hammer Test

ASTM C 805 mensyaratkan jumlah pukulan dalam satu titik pengujian adalah 10 pukulan. Jika bacaan berbeda lebih dari 7 unit dari rata-rata, maka bacaan tersebut harus dibuang dan rata-rata baru dihitung berdasarkan pada sisa bacaan. Jika lebih dari dua bacaan berbeda 7 unit dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pembacaannya harus dibuang.

Karena pengujian Rebound Hammer Test hanya pada permukaan lapisan beton, maka nilai Rebound belum tentu menggambarkan kondisi inti beton. Karbonasi pada permukaan beton dapat menghasilkan nilai Rebound yang lebih tinggi, begitu pula dengan permukaan beton yang kering akan memberikan nilai Rebound yang tinggi apabila dibandingkan dengan inti beton yang lembab.

Pengujian Hammer yang dilakukan pada studi ini mengacu pada standar ASTM C 805-89. Secara umum alat ini dapat digunakan untuk:

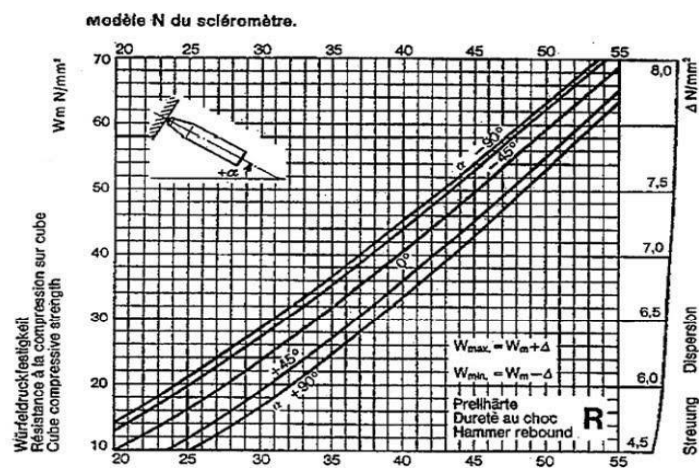
- Memeriksa keseragaman kualitas beton pada struktur.
- Mendapatkan perkiraan nilai kuat tekan permukaan beton.

Tabel 2. 4 Kualitas Permukaan Beton Berdasarkan Rata-rata Angka Pantulan

Rata-Rata Angka Pantul	Kualitas Permukaan dan Selimut Beton
>40	Baik, Lapisan Keras
36 – 40	Cukup
31- 35	Kurang Baik
20 -30	Jelek
<20	Terdapat Voids ataupun Retak

Posisi pengujian:

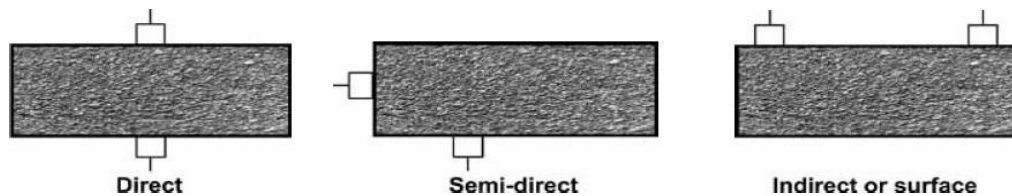
- Horizontal $\alpha = 0^\circ$
- Vertikal ke bawah $\alpha = -90^\circ$
- Vertikal ke atas $\alpha = +90^\circ$
- Sudut ke bawah $\alpha = -45^\circ$
- Sudut ke atas $\alpha = +45^\circ$



Gambar 2. 23 Grafik Hasil Perhitungan Hammer Test

2) Ultra Pulse Vehicle (UPV) Mutu Beton

Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) diukur melalui pengiriman energi gelombang suara pada beton melalui Transmitter dan Receiver. Pulsa ditransfer melalui impuls listrik dan mencatat waktu tempuh dari Transmitter ke Receiver. Pengujian dapat dilakukan dengan dua muka berhadapan (Direct Test), dua muka tidak berhadapan (Semi-direct Test) dan melalui satu permukaan (Indirect Test). Dari ketiga cara tersebut hanya cara Direct dan Semi-direct Test yang berguna untuk uji kualitatif, kecuali bila perbaikan permukaan diperlukan. Uji ini memberikan indikasi kualitatif, apakah retak terisi penuh, sebagian atau tidak terisi.



Gambar 2. 24 Metoda Uji Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)



Gambar 2. 25 Alat Uji UPV

Pulsa dihasilkan oleh suatu transducer elektrik pertama yang mengeluarkan suara pada permukaan yang akan diuji dan merambat keseluruhan massa beton, dan pada jarak tertentu pulsa yang dipancarkan transducer pertama akan ditangkap oleh alat dalam bentuk sinyal oleh transducer yang kedua. Waktu perjalanan yang diperlukan untuk menempuh dari transducer kesatu dan yang kedua diukur dengan alat pencatat waktu dengan ketelitian 0,1 mikron detik.

Dengan demikian dapat ditentukan kecepatan rambatan pulsa dapat dihitung melalui Persamaan dibawah ini:

$$V = L / T \times 10^6$$

dimana:

V = Kecepatan rambatan pulsa

L = Jarak lintasan pengukuran

T = Waktu tempuh rambatan

Pengujian ini mengacu pada SNI 03 - 4802 - 2012 / ASTM C 597. Pada pengujian ini hanya akan diambil nilai kecepatan rambat suara pada beton (t) saja, kemudian nilai “t” tersebut dimasukkan kedalam rumus perhitungan Persamaan.

a) British Standard Method (BS Method)

Pada metoda British Standard ini menggunakan dua pengukuran yang diambil dengan transduser ditempatkan dengan jarak yang sama dari celah retakan.

pada jarak x, dan 2 x, seperti pada Gambar 4-4 diasumsikan bahwa kecepatan pulsa ultrasonik adalah sama.

Rumus perkiraan kedalaman retak metoda British Standard:

$$h = x \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}}$$

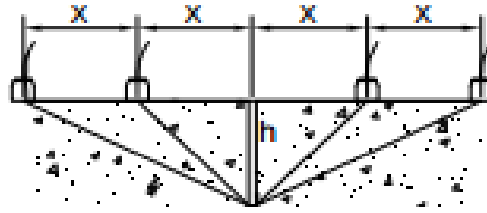
dimana :

h = Perkiraan kedalaman retak (mm)

x = Jarak antar transducer (mm)

T₁ = Waktu rambatan dengan jarak x (ms)

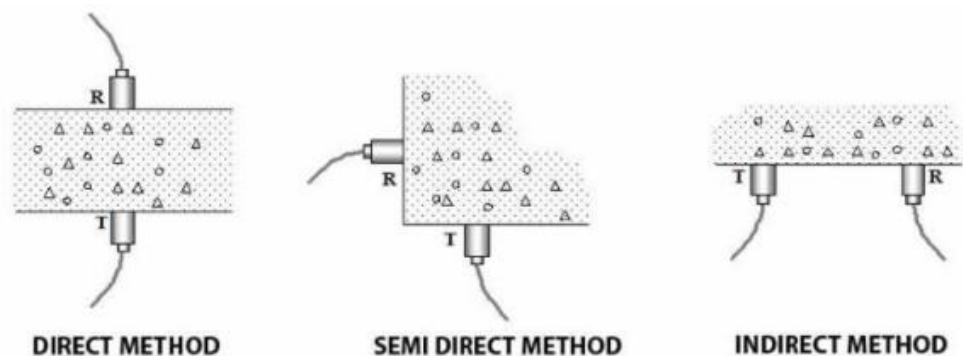
T₂ = Waktu rambatan dengan jarak 2 x (ms)



Gambar 2. 26 Skema Uji BS Method

Gelombang ultrasonik disalurkan dari Transmitter Transducer yang ditempatkan dipermukaan beton melalui material beton menuju Receiver Transducer dan waktu tempuh.

gelombang tersebut diukur oleh Read-Out unit PUNDIT (Portable Unit Non Destructive Indicator Tester) dalam m detik. Kedua transducer tersebut dapat ditempatkan secara direct, semi direct atau indirect.

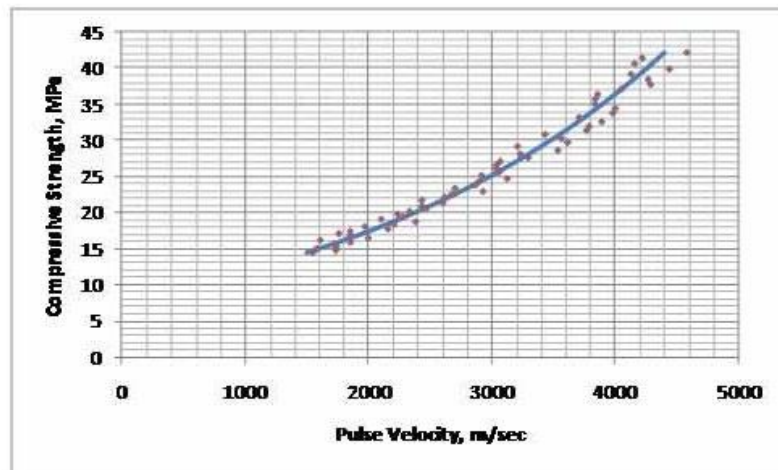


METODE PENGUJIAN UPVT

Karena jarak antara kedua transducer ini telah diketahui, maka kecepatan gelombang ultrasonik dalam material beton dapat dihitung.

Karena kecepatan rambat gelombang adalah merupakan fungsi dari kepadatan material, maka dengan diketahuinya cepat rambat gelombang ultrasonik di dalam beton, kecepatan tersebut dapat dikorelasikan ke nilai kepadatan beton, yang selanjutnya dikorelasikan lagi ke mutu beton, berdasarkan grafik empiris hubungan kecepatan rambat gelombang dengan mutu beton.

Berikut contoh grafik hubungan kecepatan dengan mutu beton :



Gambar 2. 27 Grafik Hubungan Kecepatan Dengan Mutu Beton

3) Ultra Pulse Vehicle (UPV) Kedalaman Retak

Pengujian keretakan pada struktur beton pada umumnya dilakukan dengan menggunakan alat uji retak guna mengetahui tingkat keretakan mulai dari kedalaman, sampai lebar retakan pada suatu objek pengujiannya. Lebar retakan minimum yang dapat dilihat secara kasat mata yaitu sebesar 0,13 mm, dan dikenal dengan retak mikro. Retak mikro apabila terus dibebani maka akan menjadi retak mayor atau retakan yang lebih besar lebar retak maksimum yang diijinkan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Pada dasarnya untuk lebar retakan pada beton dapat terlihat secara visual dimana terdapat adanya retakan makro dan retakan mikro sehingga akan ditunjukkan lebar retak yang diizinkan pada saat kondisi tertentu.

Tabel 2. 5 Lebar Retak Maksimum yang Diizinkan

No	Jenis struktur dan Kondisi	Toleransi Lebar retak (mm)
1	Struktur dalam ruangan, udara kering, pemberian lapisan kedap air	0,41
2	Struktur luar, kelembaban sedang, tidak ada pengaruh korosi	0,3
3	Struktur luar, kelembaban tinggi, pengaruh kimiawi	0,18
4	Struktur dengan kelembaban tinggi	0,15
5	Struktur berkaitan dengan air	0,1

Salah satu kondisi aktual komponen struktur beton yang harus diketahui adalah kondisi homogenitas beton dan kedalaman retakan bila terjadi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Alat Uji Ultrasonic Pulse Velocity (UPV/Pundit).

Alat Uji UPV tersebut nantinya akan memberikan kualitas homogenitas beton dalam bentuk cepat rambat gelombang ultrasonik dengan klasifikasi seperti yang terlampir pada Tabel 3-4 di bawah ini. terlampir foto-foto pengujian UPV dan hasil pengujian UPV dapat dilihat pada kajian NDT UPV.

Tabel 2. 6 Klasifikasi Kualitas Homogenitas Beton

Longitudinal Pulse Velocity		Quality wOff Concrete
km/s.10 ³	ft/s	
>4.5	>15	Excellent
3.5-4.5	12.0-15.0	Good
3.0-3.5	10.0-12.0	Doubtfull
2.0-3.0	7.0-10.0	Poor
<2.0	<7	Very Poor

*Sumber: INTERNATIONAL ATOMIC
ENERGY AGENCY (IAEA), VIENNA, 2002*

4) Profometer (Rebar Scan)

Dalam memperhitungkan kekuatan aktual struktur bangunan, perlu diketahui jumlah dan posisi tulangan serta ketebalan selimut beton terpasang. Berdasarkan hasil pemeriksaan ini dapat diketahui secara pasti kondisi aktual bangunan, sehingga dapat diketahui kapasitas bangunan terpasang.

Prinsip pengujiannya adalah dengan menggunakan medan elektromagnetik yang dipancarkan melalui *Probe*. Ketika tulangan baja atau benda metal lainnya berada di medan tersebut, garis gaya medan elektromagnetik akan terdistorsi. Baik orientasi dan kedekatan logam dengan *Probe* akan mempengaruhi pembacaannya. Oleh karena itu memungkinkan untuk menemukan lokasi tulangan baja dan orientasinya. Tebal selimut beton dan diameter tulangan juga dapat diperkirakan dengan alat ini



Gambar 2. 28 Alat Uji *Profometer/R-Bar* Gambar

a) Metode Covermeter Test/R-Bar Scan

Metode cover meter test menggunakan cara induksi pulsa berdasarkan teknologi pulsa elektromagnetik untuk melakukan deteksi tulangan. Kumputan yang ada di dalam probe secara berkala diisi berupa pulsa arus untuk menghasilkan medan magnetik.

Pada permukaan bahan yang mampu menghantarkan arus listrik, arus eddy dihasilkan. Apabila bahan tersebut berada di dalam medan magnet. Cara induksi medan magnet dapat dilakukan dengan arah berlawanan. Perubahan pada tegangan dapat digunakan untuk pengukuran. Tulangan yang berada di dekat probe dapat memberikan medan magnet kuat.

Metode yang digunakan pada covermeter tidak dapat dipengaruhi oleh bahan non konduktif. Beberapa diantaranya meliputi, kayu, batu, plastik dan lain sebagainya. sedangkan, bahan yang memiliki sifat konduktif dapat memengaruhi hasil pengukuran. Perubahan pada medan magnetik yang mentimpang dapat dilakukan pengukuran. Alat yang digunakan terdiri atas prober yang dikenal sebagai coil tunggal maupun ganda.

Prober tersebut ditempatkan pada muka beton *Ready Mix* dan alat ukur memiliki tanggapan perubahan medan secara digital. Peralatan tersebut

memiliki kinerja pada gelombang frekuensi 1 kilohertz sehingga sangat peka terhadap logam yang ada di sekitarnya.

Penggunaan alat covermeter dapat digunakan sebagai pengontrol kualitas untuk mengetahui nilai atau ketepatan ketebalan selimut, menentukan informasi elemen bangunan yang sudah tidak ada, menentukan posisi tulangan sebelum dilakukan pengecoran pada beton dan melakukan deteksi elemen baja.

b) Pengujian Covermeter Test/R-Bar Scan

Sinyal deteksi yang dikeluarkan oleh alat covermeter dapat membantu dalam pembacaan baja tulangan sesuai lokasi, menentukan nilai diameter tulangan dan ketebalan cover atau lapisan selimut beton. Metode ini hanya berlaku pada material yang memiliki sifat konduktif, sedangkan material seperti kayu maupun plastik tidak dapat digunakan karena bersifat non konduktif.

Pengujian dengan menggunakan alat deteksi covermeter dimanfaatkan untuk mengetahui keadaan yang ada di dalam beton. Alat ini dapat menentukan hasil kedalaman selimut melalui proses secara berulang-ulang. Hubungan timbal balik tersebut terjadi pada tulangan dan frekuensi tingkat rendah pada medan elektromagnetik.

c) *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ketelitian Covermeter Test/ R-Bar Scan*

Alat pendeteksi seperti cover meter memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran dan pembacaan. Faktor tersebut dipengaruhi oleh bagian-bagian struktur berupa baja tulangan dan beton. Kecuali perubahan cuaca juga ikut berpengaruh. Selain itu, kehandalan pengguna dalam mengoperasikan alat, getaran yang dapat mempengaruhi alat dan bahan material atau elemen besi dapat mempengaruhi hasil pembacaan. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi ketelitian yaitu bahan material pembentuk beton. Apabila bahannya terbuat dari material besi maka hasil deteksi covermeter akan mengalami penyimpangan.

Permukaan muka beton yang tidak halus juga dapat menghasilkan deskripsi tidak tepat. Hal ini dikarenakan alat pendeteksi hanya melakukan pengukuran

jarak mulai dari selimut beton hingga bagian tulangnya. Maka dari itu, mengetahui bahan material pada penutup, coating, waterproof dan penggunaan bahan additive juga perlu diketahui. Medan magnetik sebagai hasil output coil dapat mempengaruhi jangkauan tingkat kedetailan. Jenis besi yang dimanfaatkan juga memberikan efek pada kuat lemahnya medan magnetik.

Faktor lainnya yaitu, penampang tulangan. Alat detektor dapat melakukan pengukuran secara mendetail dengan material besi polos. Sedangkan, tulangan bergulir maupun kotak hanya menghasilkan nilai pengukuran mendekati nilai pasti. Faktor lainnya pemasangan tulangan secara rangkap dapat mempengaruhi hasil pembacaan.

d) Kalibrasi Alat Covermeter Test/R-Bar Scan

Kalibrasi sangat diperlukan dalam penggunaan alat pengukuran agar didapatkan hasil ukur terbaik dan akurat. Maka dari itu, sebelum digunakan alat harus dilakukan kalibrasi. Metode ini digunakan dalam *British Standard*. Alat pengujian berbentuk kubus berupa tulangan. Maka, pelindung beton harus melengkapi karakteristik alat yang dipakai. Permukaan beton untuk kalibrasi alat harus memiliki permukaan halus dan rata dengan simpangan berkisar 0,5 mm. Beton yang dipakai dibuat dari bahan semen PC dengan ukuran berat jenis mencapai 300 hingga 400 kg/meter. Sedangkan untuk agregat kasarnya atau halus tidak diperbolehkan mengandung besi. Saat melakukan pengecoran tulangan perlu dilakukan penjagaan agar tidak mengalami perubahan. Beton yang digunakan dan dibuat selama 28 hari dapat dilakukan pengukuran kalibrasi secara manual. tingkat ketelitiannya mencapai kurang lebih 0,5 mm. Sedangkan, tingkat ketebalannya mencapai 1 mm di bagian selimut atas maupun bawah.

2.5.5 Jenis Kerusakan

Jenis kerusakan pada material jembatan dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2. 7 Jenis kerusakan pada jembatan

Kode Kerusakan	Jenis Kerusakan
	BATU BATA
101	Penurunan mutu bata atau batu Keretakan
102	Permukaan pasangan yang menggembung
103	Bagian yang pecah atau hilang
	BETON
201	Kerontokan beton Beton keropos Beton yang berongga/berbunyi Mutu beton yang jelek Rembesan atau bocoran kedalam beton
202	Retak
203	Karat pada besi tulangan
204	Kerusakan komponen karena aus
205	Pecah atau hilangnya sebagian dar beton
206	Lendutan
Kode Kerusakan	Jenis Kerusakan
	BAJA
301	Penurunan mutu dari cat dan atau galvanis
302	Karat
303	Perubahan bentuk pada komponen
304	Retak
305	Komponen yang rusak atau hilang
306	Elemen yang salah
307	Kabel jembatan yang aus
308	Sambungan yang longgar
	KAYU
401	Pembusukan dan pelapukan serangan serangga Pecah atau retak pada kayu Menyerpihnya papan lantai Cacat pada kayu
402	Hancur atau hilangnya material
403	Menyusutnya kayu
404	Penurunan mutu lapisan pengaman
405	Sambungan yang longgar

2.5.6 Kerusakan pada Elemen

Kerusakan pada elemen-elemen jembatan dapat dilihat pada table di bawah.

Tabel 2. 8 Jenis kerusakan pada elemen jembatan

Kode Kerusakan	Elemen dan Kerusakan
	ALIRAN SUNGAI
501	Endapan/lumpur yang berlebihan
502	Sampah yang menumpuk dan terjadinya hambatan aliran sungai
503	Pengikisan pada daerah dekat sungai atau kepala jembatan
504	Air sungai macet yang menyebabkan terjadinya banjir
	BANGUNAN PENGAMAN
511	Bagian yang hilang atau tidak ada
	TIMBUNAN
521	Scouring
522	Retak/penurunan/penggembungan
	TANAH BERTULANG
531	Penggembungan permukaan
532	Retak, rontok, atau pecah dari panel tanah bertulang

Kode Kerusakan	Elemen dan Kerusakan
	ANGKER JEMBATAN GANTUNG DAN JEMBATAN KABEL
541	Tidak stabil
	KEPALA JEMBATAN DAN PILAR
551	Kepala jembatan atau pilar bergerak
	LANDASAN PENAHAN GEMPA
561	Elemen longgar atau hilang
	LANDASAN/PERLETAKAN
601	Tidak cukupnya tempat untuk bergerak
602	Kedudukan landasan yang tidak sempurna
603	Mortar dasar retak atau rontok
604	Perpindahan yang berlebihan
605	perubahan atau deformasi yang berlebihan
605	Aus karena umur
606	Landasan pecah atau retak
606	Bagian yang rusak atau hilang
607	Bagian yang longgar
	Kurangnya pelumasan pada landasan logam
	PELAT DAN LANTAI
701	Kesalahan sambungan lantai memanjang
702	Lendutan yang berlebihan
	PIPA DRAINASE DINDING, PIPA CUCURAN DAN DRAINASE LANTAI
711	Pipa cucuran dan drainase lantai yang tersumbat
712	Elemen hilang atau tidak ada

	LAPISAN PERMUKAAN
721	Permukaan licin permukaan kasar/berlubang
722	Retak pada lapisan permukaan
723	lapisan permukaan yang bergelombang
724	lapisan perkerasan yang berlebihan
	TROTOAR/KERB
731	Permukaan trotoar yang licin
732	Lubang pada trotoar
733	Bagian hilang
	SAMBUNGAN LANTAI
801	Kerusakan sambungan lantai yang tidak sama tinggi
802	Kerusakan akibat terisinya sambungan
803	Bagian yang longgar/lepas ikatannya
804	Bagian yang hilang
805	Retak pada aspal karena pergerakan di sambungan lantai
	RAMBU LALU LINTAS DAN MARKA JALAN
911	Tulisan tidak nyata/jelas
912	Bagian yang hilang
	UTILITAS
931	Tidak berfungsi

2.6 Dasar Pembebanan

Pedoman Pembebanan untuk perencanaan jembatan merupakan dasar dalam menentukan beban dan gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan. Pedoman pembebanan meliputi:

2.6.1 Beban Primer

Beban primer adalah beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Adapun yang termasuk beban primer adalah:

1. Beban Mati (M)

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

Dalam menentukan besarnya beban mati harus digunakan nilai berat isi untuk bahan-bahan bangunan seperti tersebut di bawah ini:

Tabel 2. 9 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kN/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt, or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8- 22,7	1920-2315
5	Beton Aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22	2245
6	Beton Ringan (<i>low density</i>)	12,5- 19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ Mpa	22,0- 25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ Mpa	22 + 0,022 f'_c	2240 + 2,29 f'_c
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11	1125

Beban mati terdiri dari:

A. Berat Sendiri (MS)

Menurut SNI 1725-2016, berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat sendiri adalah sebagai berikut.

$$MS = b \times h \times w$$

Dimana:

b = lebar berat yang ditinjau (m),

h = tebal berat yang ditinjau (m), dan

w = berat jenis (kN/m³)

B. Beban Mati Tambahan (MA)

Menurut SNI 1725-2016, beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban-beban tersebut adalah:

- peralatan pelengkap
- pelapisan ulang perkerasan jembatan yang berupa aspal beton setebal 50 mm
- pipa-pipa air.

2. Beban Lalu Lintas

A. Beban Lalu Lintas Rencana

Menurut SNI 1725-2016, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian integer dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar jalur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan terjadinya perubahan lebar bersih jembatan diwaktu yang akan datang sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2. 10 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan	Lebar Bersih Jembatan (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w \leq 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10.000$	3
	$10.000 \leq w < 12.500$	4
	$12.500 \leq w < 15.250$	5
	$w \geq 15.250$	6
Dua Arah, dengan	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10.750$	3
	$11.000 \leq w \leq 13.500$	4

Median	$13.750 \leq w \leq 16.250$	5
	$w \geq 16.500$	6

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

B. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 3.1. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 11 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{sMA})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{uMA})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

C. Intensitas beban “D”

1. Beban terbagi merata (BTR)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut.

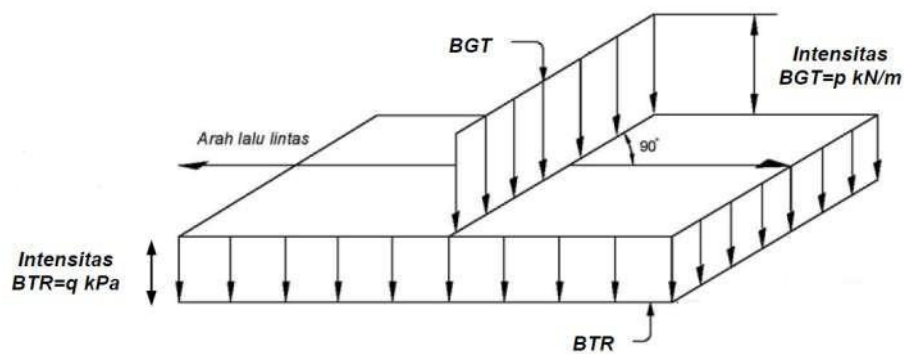
Jika $L \leq 30m$: $q = 9,0 \text{ kPa}$

Jika $L > 30m$: $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$

Dimana :

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

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter).



Gambar 2. 29 Beban Lajur “D”

2. Beban garis terpusat (BGT)

Menurut SNI 1725-2016, beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

3. Distribusi beban “D”

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1. Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb, dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

D. Beban Truk “T” (TT)

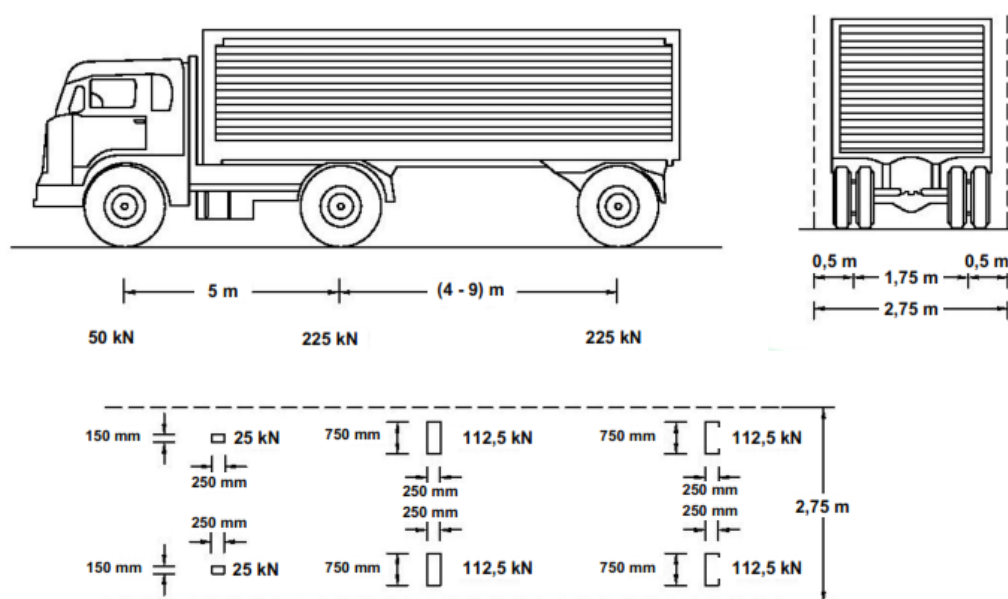
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 12 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{STT})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{UTT})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks girder baja	1,00	2,00

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

1. Besarnya Pembebanan truk “T”



Gambar 2. 30 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

Pembebanan truk terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3.2. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Dalam pendistribusian beban truk, besarnya beban yang akan diakumulasi pada plat lantai jembatan yaitu sebesar beban titik pada roda truk dalam kN, sehingga persamaan beban truk adalah sebagai berikut.

$$PTT = (1 + FBD) \times T$$

Dimana:

FBD = faktor beban dinamis dan

T = beban roda truk dalam kN.

2. Posisi dan penyebaran pembebanan truk “T” dalam arah melintang

Terlepas dari Panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana.

Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 3.2. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 3.2, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

E. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan disemua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

Tabel 2. 13 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _S	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	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_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
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_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

2.7 Finite Element Method (FEM)

Metode elemen hingga (Finite element method, FEM) adalah metode yang banyak digunakan untuk memecahkan persamaan diferensial numerik yang timbul dalam rekayasa dan pemodelan matematika. Area masalah umum yang menarik termasuk bidang tradisional analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensi elektromagnetik. FEM adalah metode numerik umum untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial dalam dua atau tiga variabel ruang (yaitu, beberapa masalah nilai batas). Untuk memecahkan masalah, FEM membagi sistem besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana yang disebut elemen hingga. Hal ini dicapai dengan diskritisasi ruang tertentu dalam dimensi ruang, yang diimplementasikan dengan konstruksi jaring objek: domain numerik untuk solusi, yang memiliki jumlah titik terhingga. Rumusan metode elemen hingga dari masalah nilai batas akhirnya menghasilkan sistem persamaan aljabar. Metode ini mendekati fungsi yang tidak diketahui di atas domain.

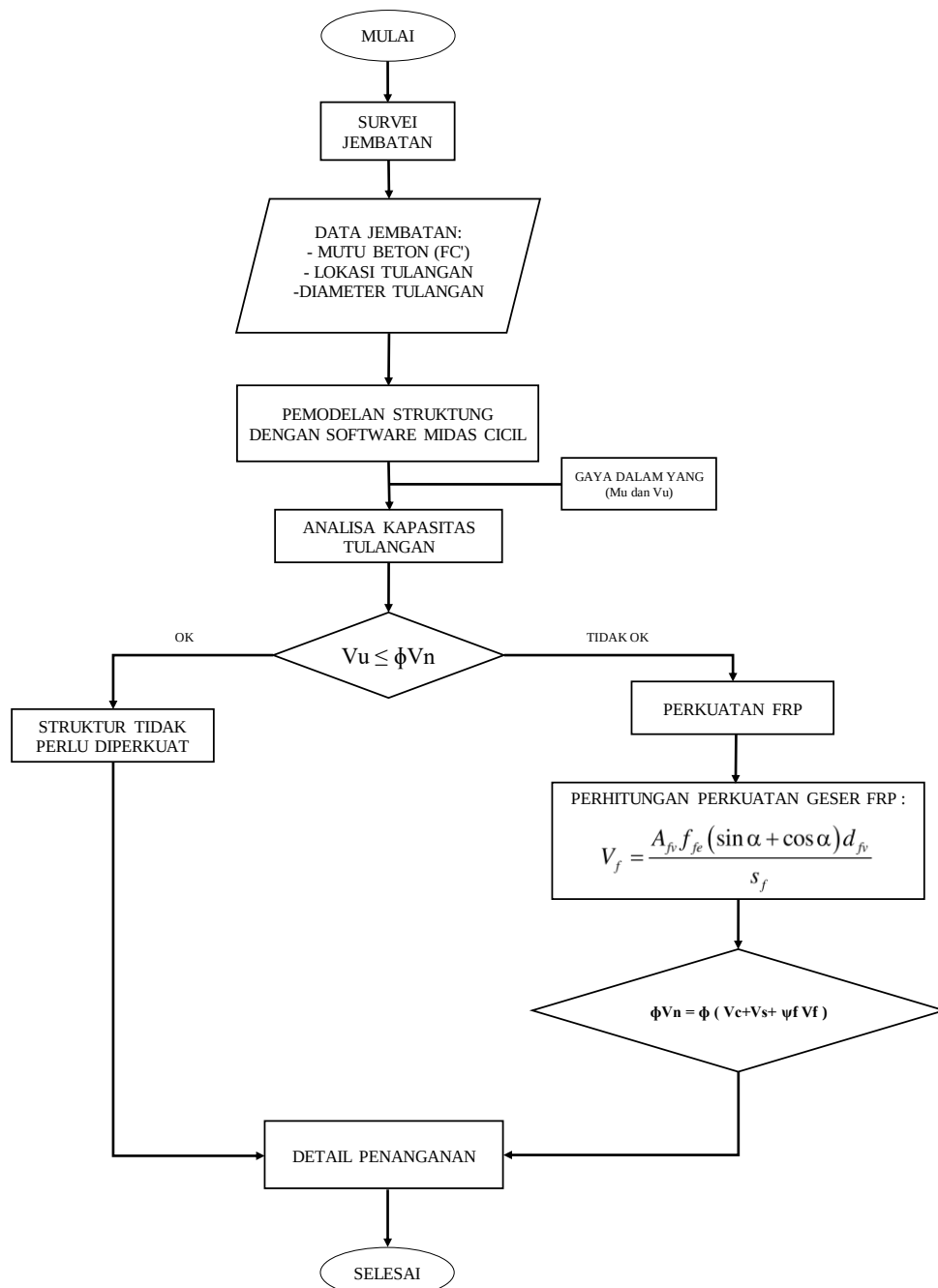
2.7.1 Midas Civil Design

Program MIDAS/Civil merupakan sebuah program yang dibuat untuk analisa struktur dan desain struktur dalam bidang ilmu teknik sipil. Program ini dikhususkan pada pengenalan sistem perencanaan struktur yang termasuk didalamnya analisis dan cara mengoptimalkan suatu desain secara khusus dalam perencanaan jembatan. Program ini dikembangkan dari bahasa pemrograman Visual C++ dan dapat bekerja secara cepat dan sangat mudah untuk dipelajari. Program ini dapat digunakan lebih dari 5000 proyek dan hasilnya tetap realistis dan efektif. Setiap fungsi dari program ini telah diverifikasi berdasarkan teori dan hasil dari program – program sejenisnya.

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Metodologi merupakan sebuah acuan untuk membantu penyelesaian seluruh rangkaian dalam kegiatan penelitian.



Gambar 3. 1 Flow chart kegiatan penelitian

3.2 Survei Inventaris

Pemeriksaan inventarisasi dilaksanakan untuk mencatat data administrasi, dimensi, material, dan kondisi setiap struktur utama dan komponen jembatan dalam Sistem Informasi Manajemen Jembatan. Semua jembatan, lintasan kereta api, lintasan bawah, lintasan feri, dan gorong-gorong yang memiliki panjang dua meter atau lebih harus dicatat dalam formulir pemeriksaan inventarisasi.

3.3 Survei Detail

Pemeriksaan detail dilaksanakan untuk menilai secara detail kondisi suatu jembatan. Semua kerusakan komponen dan elemen jembatan diperiksa, diidentifikasi dan didata.

3.3.1 Prosedur Pemeriksaan Detail

a. Data administrasi dan inventarisasi

Identifikasi suatu jembatan yang akan diperiksa, dengan mencatat semua data yang ada pada pelat nama jembatan. Data tersebut dicocokkan dengan data dalam formulir laporan pemeriksaan Inventarisasi jembatan. Bila ada koreksi yang harus dilakukan karena data hilang atau tidak benar, tandai menggunakan pena merah yang tahan air.

b. Gambaran secara keseluruhan

Dalam upaya memperoleh gambaran secara keseluruhan dari jembatan, pemeriksa harus berjalan di sekeliling dan di bawah jembatan serta mengamati bentuk umum, kondisi secara keseluruhan, dan kinerja dalam keadaan lalu lintas penuh. Dalam melakukan pengawasan ini, setidaknya-jidaknya jembatan harus dilewati satu kendaraan berat.

Selama pemeriksaan awal harus dicatat elemen-elemen jembatan yang rusak, elemen yang penampilan dan kondisinya berbeda dari bagian-bagian lainnya atau elemen-elemen struktur dengan level hierarki yang sama. Hal ini akan membantu pemeriksa untuk merencanakan pemeriksaan secara keseluruhan dan menentukan tingkat dimulainya penilaian elemen.

Hal ini dapat dilakukan dengan mudah dengan jalan mengacu pada daftar komponen pada Level 3 yang terdapat dalam formulir pemeriksaan detail, memilih komponen

yang relevan terhadap jembatan yang sedang diperiksa dan mengamati elemen dari setiap kelompok Level 3, yaitu pada Level 4, untuk menentukan apakah elemen tersebut pada kondisi yang mirip. Jika belum mengenali hierarki jembatan, pemeriksa harus mengacu pada daftar Elemen level 4 itu sendiri untuk melaksanakan kegiatannya.

Bila semua elemen pada level 4 dari suatu komponen level 3 berada dalam kondisi yang sama dengan kerusakan yang sama atau tidak ada kerusakan, komponenlevel 3 yang bersangkutan dapat dinilai tanpa perlu mencatat kerusakan yang berada pada elemen dari level yang lebih rendah.

Bila elemen dari komponen Level 3 berada dalam kondisi yang berbeda atau memiliki cacat yang berbeda, kerusakan tersebut harus dicatat untuk elemen yang bersangkutan dan penilaian dilaksanakan pada Level 4 atau Level 5.

c. Elemen yang rusak

Jembatan harus diperiksa secara sistematis dan setiap elemen yang rusak harus dicatat pada halaman 2 dari formulir laporan pemeriksaan detail, sesuai dengan kode elemen dan kode kerusakan. Bila perlu, uraian mengenai elemen dan kerusakan dicatat.

Bila ada lebih dari satu kerusakan yang serius dalam elemen yang sama, setiap kerusakan harus dicatat.

Bila suatu pemeriksaan detail dilaksanakan sesudah rehabilitasi atau perbaikan besar, semua elemen rusak yang dicatat sebelumnya harus diperiksa ulang untuk memastikan bahwa pekerjaan yang dilakukan sudah efektif, dan suatu penilaian baru mengenai kondisi harus dilakukan.

Tabel 3. 1 Contoh elemen yang rusak

Elemen		Kerusakan		Level 5										Level 3 –4									
Kode	Uraian (pilihan)	Kode	Uraian (pilihan)	Lokasi					Kondisi					Kondisi									
				A/P	B	X	Y	Z	S	R	K	F	P	NK	S	R	K	F	P	NK			
4.462	BATANG TEPI BAWAH	302	KARAT																				
4.461	BATANG TEPI ATAS	302	KARAT																				
4.463	BATANG DIAGONAL	302	KARAT																				
4.612	PERLETAKAN	712	PERUBAHAN BENTUK																				
3.210	ALIRAN SUNGAI	503	PENGIKISAN																				

3.4 Survei Khusus

Survei Khusus Jembatan dilakukan untuk memberikan informasi yang lebih detail dalam menilai kondisi dari suatu struktur atau dari suatu kerusakan tertentu. Survei khusus dilakukan untuk :

- Menganalisa material atau memantau kinerja komponen-komponen tertentu yang terdeteksi memiliki kerusakan dengan menggunakan peralatan khusus.
- Menjangkau lokasi yang biasanya tidak dapat diperiksa hanya dengan metode visual.

Pemeriksaan khusus memerlukan teknik dan peralatan yang canggih, tanpa mengabaikan teknik pemeriksaan secara visual.

3.4.1 Non Destructive Test

Non destructive test (NDT) merupakan pengujian material yang dilakukan tanpa merusak benda uji untuk mengetahui kerusakan yang terjadi dengan tujuan untuk pemeliharaan.

a. Uji Kepadatan dan Mutu Beton dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

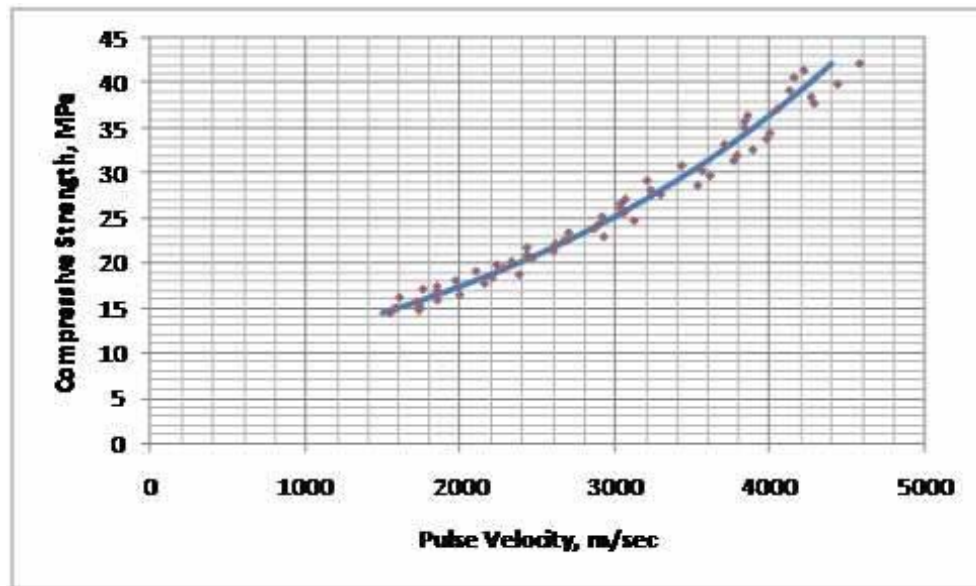
- Prinsip Pengujian

Metode pengukuran kepadatan beton dengan mengirim sinyal pulsa (*pulse*) dari *transiver* melewati beton dan diterima oleh *receiver* yang dihitung berdasarkan kecepatan rambat. Pengolahan Data

Pengujian identifikasi kuat tekan beton dengan Ultrasonic Pulse Velocity Test dilakukan dengan mengukur kecepatan gelombang ultrasonik di dalam beton yang dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{L}{T}$$

dimana L adalah jarak antara transmitter dan receiver dan T adalah waktu yang ditempuh oleh gelombang di dalam beton. Karena kedua parameter ini telah diukur maka kecepatan gelombang dapat diketahui. Kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan kurva hubungan antara kecepatan gelombang dan mutu beton seperti pada gambar berikut:



Grafik diatas merupakan hubungan empirik antara velocity hasil UPVT dengan kuat tekan beton hasil uji tekan (crushing). Selain itu, hasil pengujian UPV dapat menunjukkan kualitas beton dengan menggunakan pulse velocity-nya sebagai parameter sebagai berikut:

Cepat Rambat Gelombang Ultrasonic (km/sec)	Kualitas/Homogenitas Beton
< 2,13	Kurang
2,13 – 3,05	Cukup
3,05 – 3,66	Cukup Baik
3,66 – 4,57	Baik
> 4,57	Baik Sekali

b. Uji Kedalaman Retak Beton dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

- Prinsip Pengujian

Metode pengukuran kedalaman retak pada beton dengan mengirimkan sinyal elektromagnetik yang dikirim dari transiver kemudian melewati retakan dan diterima oleh receiver.

- Pengolahan Data

Pengujian identifikasi kuat tekan beton dengan Ultrasonic Pulse Velocity Test dilakukan dengan mengukur kecepatan gelombang ultrasonik di dalam beton yang dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{L}{T}$$

dimana L adalah jarak antara transmitter dan receiver dan T adalah waktu yang ditempuh oleh gelombang di dalam beton. Karena kedua parameter ini telah diukur maka kecepatan gelombang dapat diketahui.

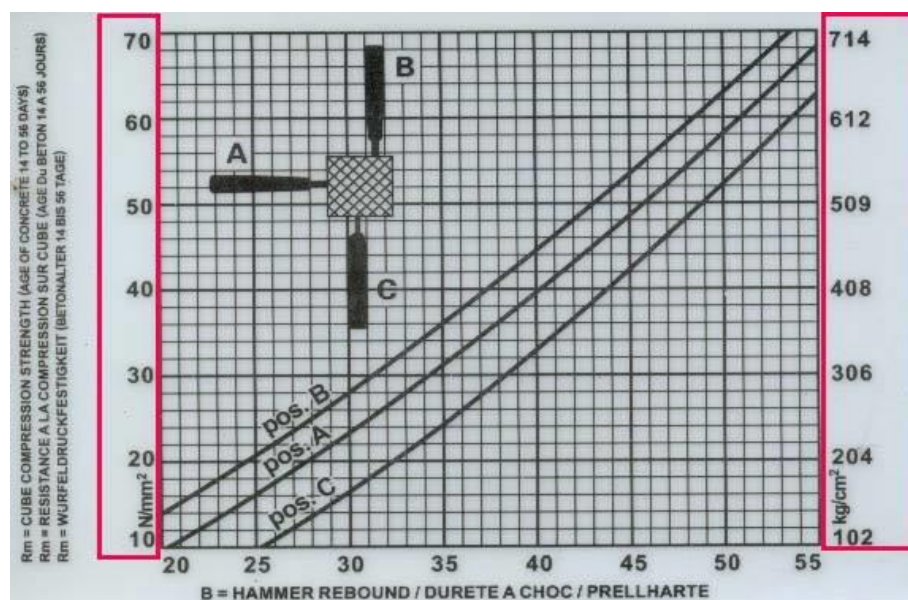
c. Uji mutu dan kepadatan beton dengan palu beton (Hammer Test)

- Prinsip Pengujian

Metode pengujian elemen struktur beton dengan alat palu beton dilakukan dengan memberikan beban intact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu.

- Pengolahan Data

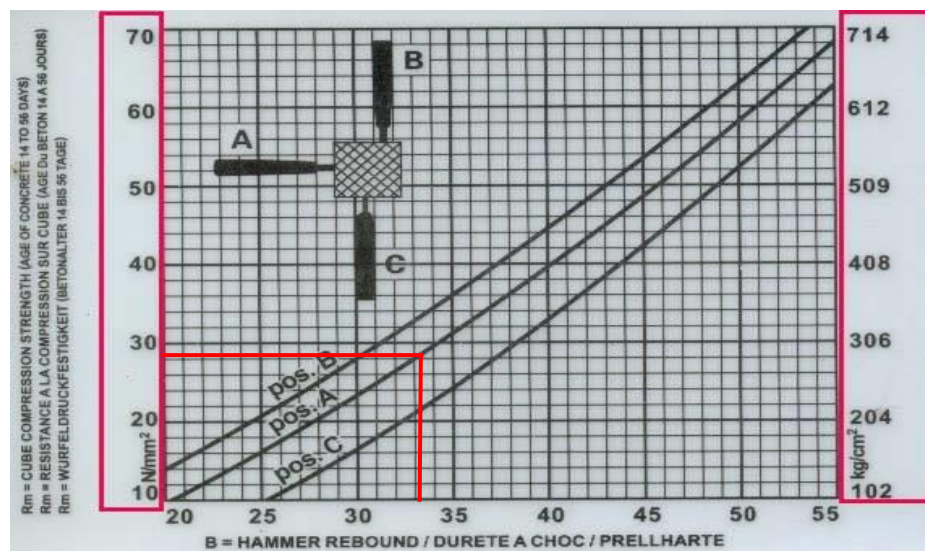
Pengujian identifikasi kuat tekan beton dengan Hammer Test dilakukan dengan mengukur nilai pantul dari alat Rebound Schmidt Hammer, kuat tekan diperkirakan berdasarkan nilai lenting yang diperoleh atau yang telah dikoreksi nilai inklinasinya dengan menggunakan table atau kurva korelasi pada petunjuk penggunaan alat palu beton yang dipakai untuk pengujian seperti gambar di bawah.



Grafik diatas merupakan hubungan empirik antara nilai pantul Rebound Schmidt Hammer dengan kuat tekan beton hasil uji tekan (crushing).

Contoh hasil pengujian hammer test adalah sebagai berikut :

HAMMER TEST						
ELEMEN STRUKTUR	ARAH PENGUJIAN	TITIK PENGUJIAN	FAKTOR KOREKSI ALAT	PEMBACAAN HAMMER	PEMBACAAN HAMMER SETELAH KOREKSI	ESTIMASI MUTU BETON
PILAR		TITIK 1	1,01	34	34,3	30
		TITIK 2	1,01	34	34,3	30
		TITIK 3	1,01	34	34,3	30
		TITIK 4	1,01	32	32,3	26
		TITIK 5	1,01	34	34,3	30
		TITIK 6	1,01	34	34,3	30
		TITIK 7	1,01	34	34,3	30
		TITIK 8	1,01	30	30,3	30
		TITIK 9	1,01	34	34,3	30
		TITIK 10	1,01	32	32,3	26
RATA-RATA			33,2	33,5	29,2	



Tabel diatas menunjukkan pencatatan hasil dari setiap pengujian, nilai yang didapat kemudian di rata-ratakan dan di plot kedalam grafik korelasi antara nilai pembacaan pada alat dan nilai kuat tekan beton.

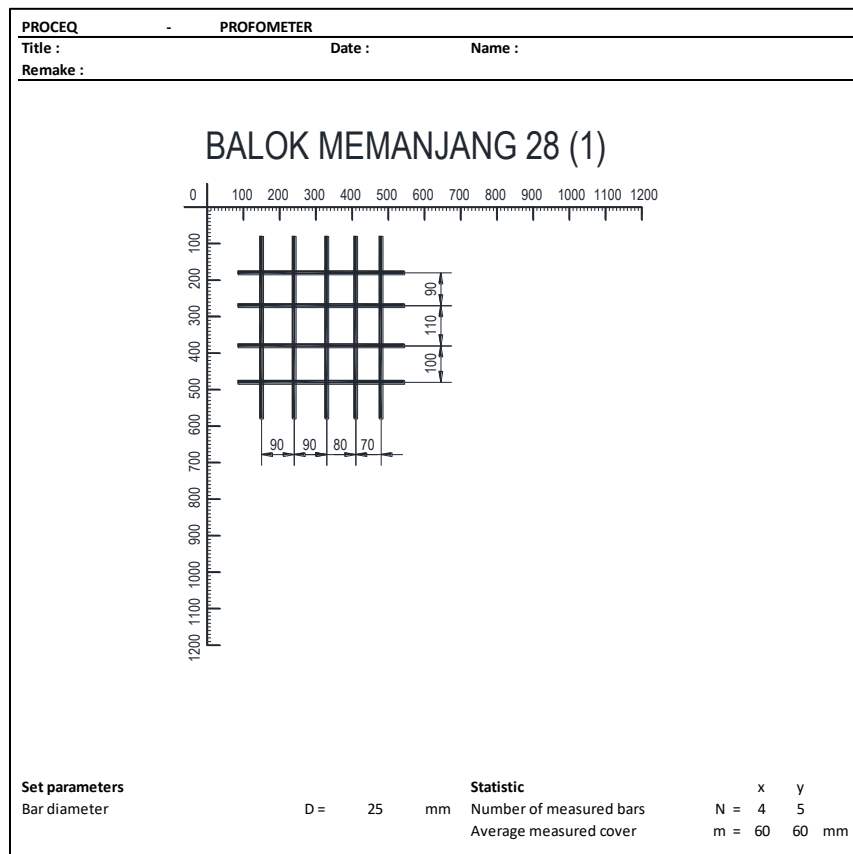
d. Rebar Scan (Rebar Locator)

- Prinsip Pengujian

Metode pengukuran tulangan pada struktur beton bertulang dengan menggunakan sensor untuk mengetahui diameter tulangan, jarak antar tulangan, dan tebal selimut beton.

- Pengolahan Data

Contoh hasil pengolahan data pengujian rebar scanner adalah sebagai berikut:



Gambar diatas menunjukkan hasil pengujian rebar scanner, dari pengujian tersebut didapat data tebal selimut beton, dimensi tulangan, dan jarak antar tulangan.

3.5 Analisis Perkuatan Geser

3.5.1 Perencanaan Kekuatan Balok Terhadap Geser

Kekuatan geser pada penampang balok harus memenuhi persyaratan berikut.

$$V_u \leq \phi V_n \quad \dots$$

III.1

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots$$

III.2

Nilai kuat geser yang disumbangkan oleh beton dan hanya dibebani geser dan lentur saja dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b_w \cdot d \quad \dots \quad \text{III.3}$$

Nilai kuat geser yang disumbangkan oleh baja tulangan adalah sebagai berikut.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad \dots \quad \text{III.4}$$

3.5.1 Kontribusi FRP Terhadap Kekuatan Geser

Kekuatan geser yang diberikan oleh FRP didasarkan pada orientasi serat dan asumsi pola retak. Berikut adalah contoh perkuatan FRP pada balok dapat dilihat pada gambar di bawah.

Besarnya kontribusi kekuatan geser FRP dapat dilihat pada persamaan dibawah.

$$V_f = \frac{A_{vf} \cdot f_{fe} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{ef}}{s_f} \quad \dots \quad \text{III.5}$$

Sehingga untuk kekuatan geser desain dapat menggunakan persamaan dibawah.

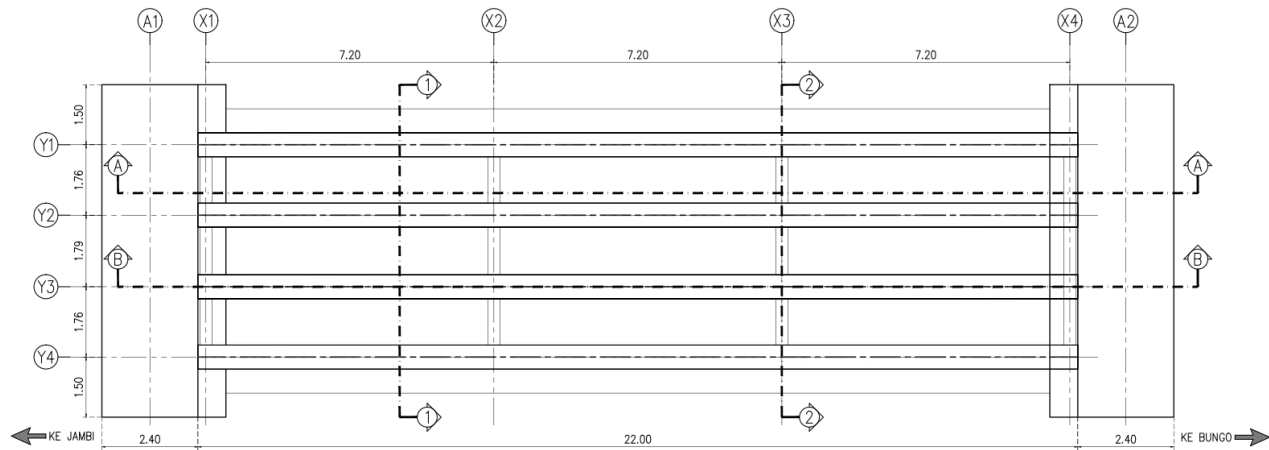
$$\phi V_n = \phi (V_c + C_s + \psi_f V_f) \quad \dots \quad \text{III.6}$$

3.6 Hasil Pemeriksaan Jembatan

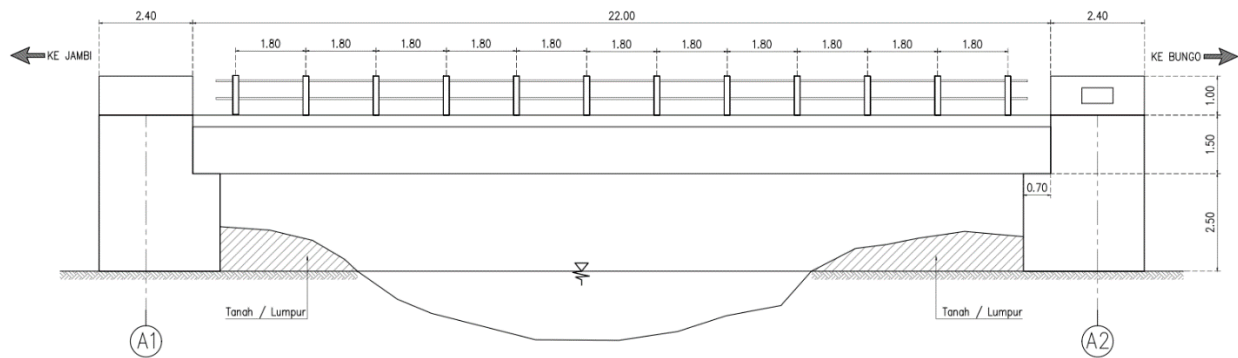
Setelah dilaksanakan pemeriksaan pada jembatan didapatkan data-data jembatan yang dibutuhkan untuk perencanaan perkuatan dengan menggunakan *fiber reinforced polymer*.

3.6.1 Survei detail

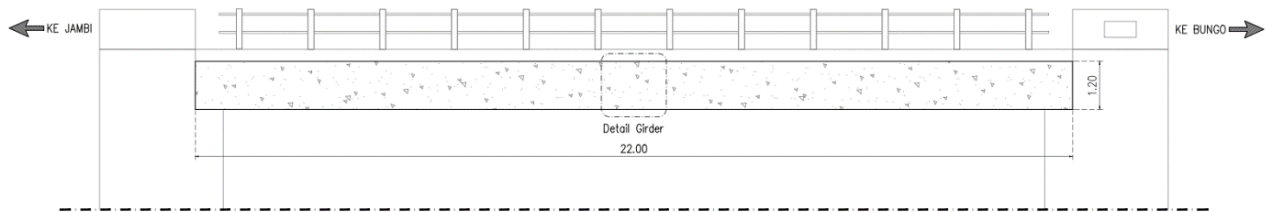
1. Gambar *Detail Engineering Design* (DED)



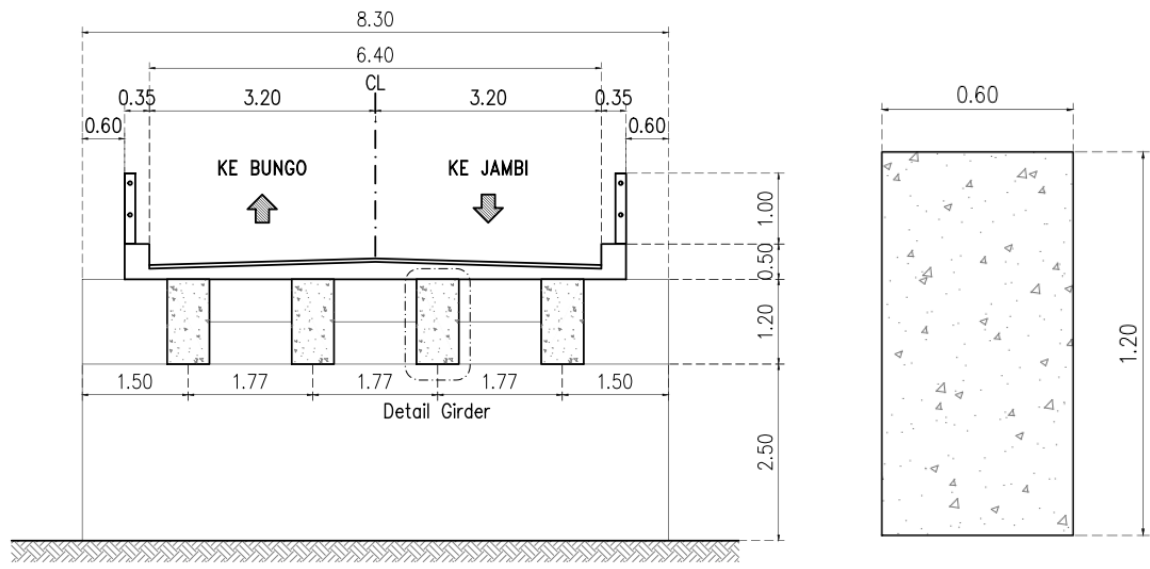
Gambar 3. 2 Denah struktur jembatan



Gambar 3. 3 Potongan memanjang jembatan



Gambar 3. 4 Potongan A - A



Gambar 3. 5 Potongan 1-1

2. Data Kerusakan Jembatan

Tabel 3. 2 Kerusakan pada jembatan sei ketalo kecil

JEMBATAN	KERUSAKAN	FOTO KERUSAKAN
SEI KETALO KECIL	PENURUNAN MUTU CAT PADA RAILING KIRI & KANAN	 
	PERKERASAN TERKELUPAS PADA OPRIT	 
	KERUSAKAN PADA EXPANSION JOINT A1 DAN A2	 
	PELAT LANTAI MENGALAMI RETAK	 
	DIAFRAGMA MENGALAMI RETAK	

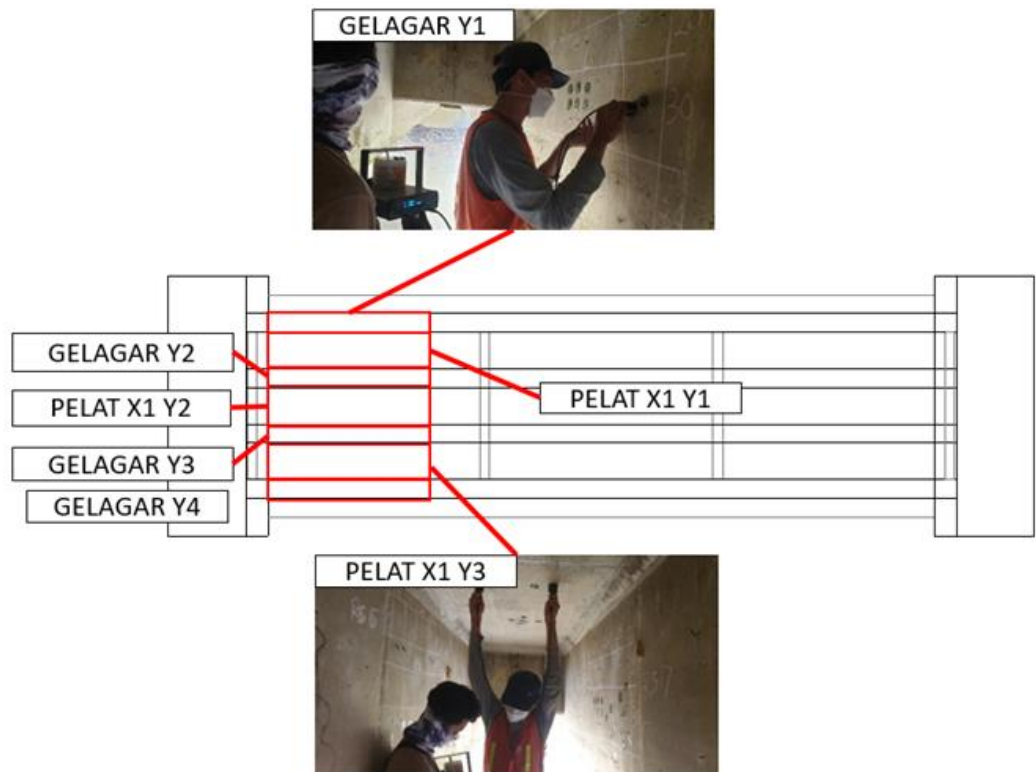
JEMBATAN	KERUSAKAN	FOTO KERUSAKAN
SEI KETALO KECIL	GELAGAR MENGALAMI RETAK	 
	TIDAK TERDAPAT BEARING	 
	ABUTMEN MENGALAMI RETAK	
	MARKA JALAN PUDAR	

3.6.2 Survei Khusus

Pada survei khusus dilaksanakan pengujian non destructive test (NDT) pada elemen - elemen jembatan untuk mengetahui mutu beton, lebar retak, dan konfigurasi tulangan yang digunakan, berikut adalah hasil dari pengujian tersebut :

1. Ultrasonic Pulse Velocity Mutu Beton dan Kedalaman Retak

- Ultrasonic Pulse Velocity Mutu Beton



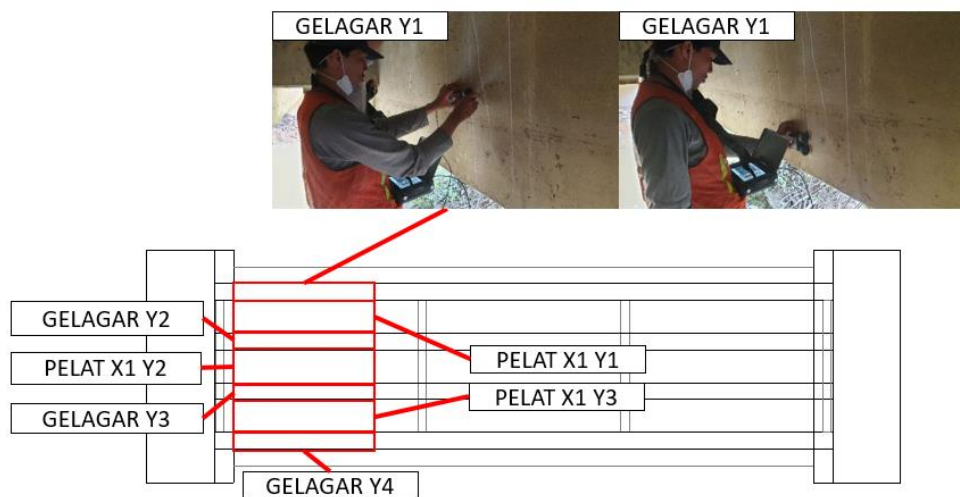
Gambar 3. 6 Lokasi pengujian UPV mutu beton

Hasil Pengujian UPV (Mutu Beton)							
Lokasi : Jembatan Ketalo Kecil							
Elemen : Gelagar & Pelat							
Jumlah : 7 TITIK							
NO	ELEMEN JEMBATAN	TITIK UJI	NILAI UPV			KUAT TEKAN BETON (Mpa)	KUALITAS BETON
			t1	t2	V (km/s)		
1	GELAGAR Y1	Titik 1	34.9	66.1	2.40	20	CUKUP
2	PELAT X1 Y1	Titik 2	38.3	74.6	2.07	17	KURANG
3	GELAGAR Y2	Titik 3	28.9	57.4	2.63	22	CUKUP
4	PELAT X1 Y2	Titik 4	26.4	55.9	2.54	21	CUKUP
5	GELAGAR Y3	Titik 5	25.9	54.6	2.61	22	CUKUP
6	PELAT X1 Y3	Titik 6	21.2	52.7	2.38	19	CUKUP
7	GELAGAR Y4	Titik 7	33.4	59.9	2.83	24	CUKUP
Kesimpulan : Rata-rata kualitas dari homogenitas beton termasuk kedalam kondisi beton cukup dengan mutu beton antara 17 – 24 Mpa							

- Ultrasonic Pulse Velocity Kedalaman Retak

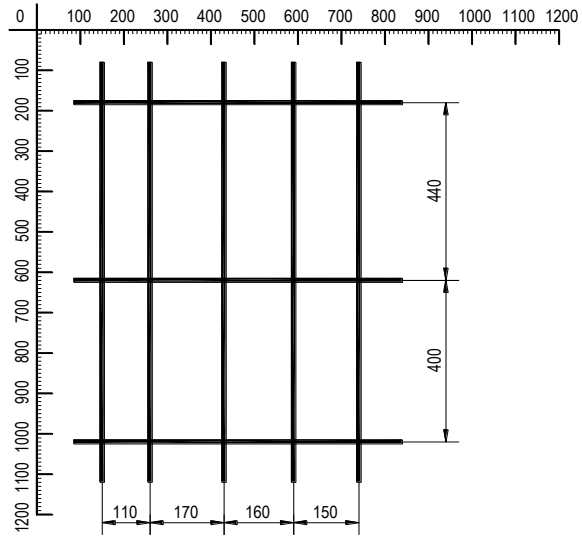
SUMMARY PENGUJIAN ESTIMASI KEDALAMAN RETAK			
NO. CRACK	LOKASI	NO. SAMPEL	CRACK DEPTH (CM)
1	GELAGAR Y1	TITIK 1	3.8
		TITIK 2	6.2
		TITIK 3	6
2	PELAT X1 Y1	TITIK 1	2.6
		TITIK 2	11.7
		TITIK 3	6.6
3	GELAGAR Y2	TITIK 1	4.6
		TITIK 2	4
		TITIK 3	1.5
4	PELAT X1 Y2	TITIK 1	5.8
		TITIK 2	7.4
		TITIK 3	6.4
5	GELAGAR Y3	TITIK 1	3.7
		TITIK 2	6.5
		TITIK 3	8.2
6	PELAT X1 Y3	TITIK 1	6.8
		TITIK 2	3.2
		TITIK 3	5.6
7	GELAGAR Y4	TITIK 1	14.2
		TITIK 2	2.2
		TITIK 3	9.1
8	GELAGAR Y3 (ABUTMENT 2)	TITIK 1	9.8
		TITIK 2	9.3
		TITIK 3	18.4

2. Rebar Scan (Profometer)



Gambar 3. 7 Lokasi pengujian UPV kedalaman retak

GELAGAR Y1



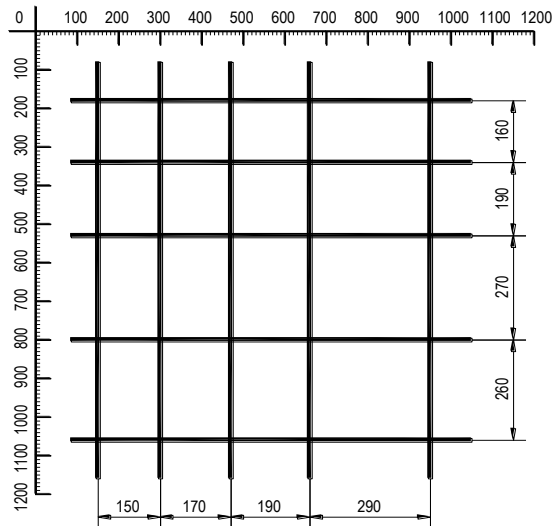
Set parameters
Bar diameter

D = 25 mm

Statistic
Number of measured bars
Average measured cover

	x	y
N =	7	6
m =	50	50 mm

GELAGAR Y2



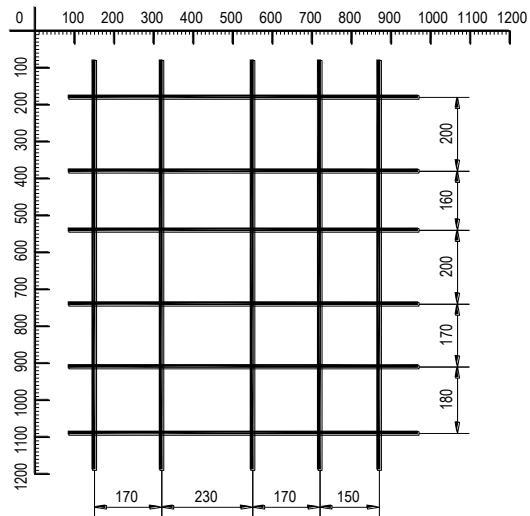
Set parameters
Bar diameter

D = 25 mm

Statistic
Number of measured bars
Average measured cover

	x	y
N =	5	6
m =	50	50 mm

GELAGAR Y3



Set parameters

Bar diameter

D = 25 mm

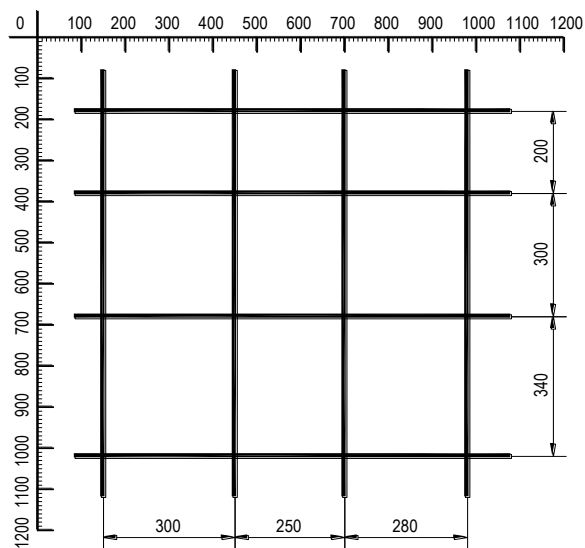
Statistic

Number of measured bars

Average measured cover

	x	y
N =	6	8
m =	50	50 mm

GELAGAR Y4



Set parameters

Bar diameter

D = 25 mm

Statistic

Number of measured bars

Average measured cover

	x	y
N =	4	5
m =	50	50 mm

Hasil Pengujian Rebar Scanner						
Lokasi : Jembatan Ketalo Kecil						
Jumlah : 7 TITIK						
No	Elemen Jembatan	Titik Uji	Diameter Tulangan Utama	Cover	Jarak Rata-rata Tul. Utama	Jarak Rata-rata Tul. Bagi/Sengkang
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	GELAGAR Y1	Titik 1	25	50	420	147.5
2	PELAT X1 Y1	Titik 2	16	50	200	286.6
3	GELAGAR Y2	Titik 3	25	50	220	200
4	PELAT X1 Y2	Titik 4	16	60	205	195
5	GELAGAR Y3	Titik 5	25	50	182	180
6	PELAT X1 Y3	Titik 6	16	50	213.3	190
7	GELAGAR Y4	Titik 7	25	50	276.6	280

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Jembatan

- Nama Jembatan : Sei Ketalo Kecil
- Tipe Jembatan : GTI
- Tahun Dibangun : 1988
- Panjang Bentang Jembatan : 22,6 m
- Lebar Jembatan : 6,4 m
- Jumlah Span Jembatan : 1 span
- Spasi Girder : 1,77 m
- Tebal Pelat Lantai : 0,25 m
- Mutu Beton : $f_c' 25 \text{ MPa}$

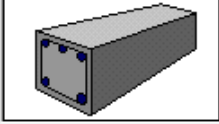
4.2 Pemodelan Elemen Girder

Pemodelan elemen girder ini menggunakan software MIDAS CIVIL 2019. Elemen girder ini dimodelkan dengan balok T kemudian dilakukan pembebanan dengan beban terpusat dan beban merata, untuk model elemen girder dapat dilihat pada gambar di bawah.

General

Material ID: Name:

Elasticity Data

Type of Design: 

Type of Material: ☒ Isotropic ☐ Orthotropic

Steel

Standard: DB:

Concrete

Standard: Code: DB:

Steel Properties

Modulus of Elasticity: kN/m²

Poisson's Ratio:

Thermal Coefficient: 1/[F]

Weight Density: kN/m³

☐ Use Mass Density: kN/m³/g

☐ **Concrete Properties**

Modulus of Elasticity: kN/m²

Poisson's Ratio:

Thermal Coefficient: 1/[F]

Weight Density: kN/m³

☐ Use Mass Density: kN/m³/g

Plasticity Data

Plastic Material Name:

Inelastic Material Properties for Fiber Model

Concrete: Rebar:

Thermal Transfer

Specific Heat: Btu/kN*[F]

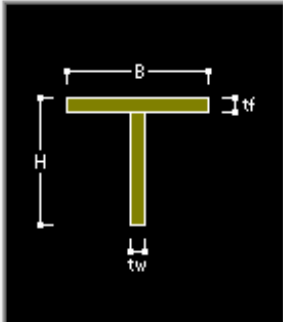
Heat Conduction: Btu/m*hr*[F]

Damping Ratio:

Gambar 4. 1 Material Properties Pemodelan Midas Civil 2019

Section ID T-Section

Name ☒ User ☐ DB AISC10(US)



Sect. Name

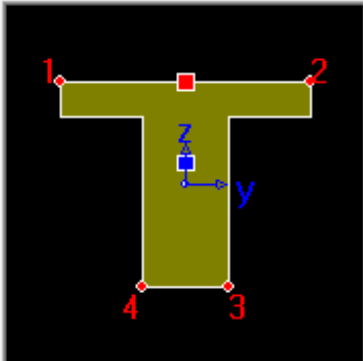
☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

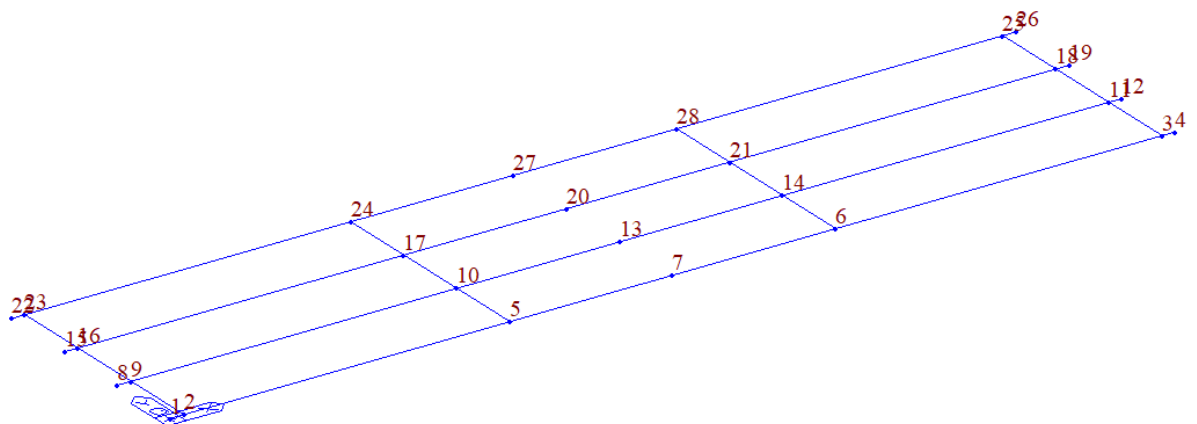
DB Name AISC10(US)

Sect. Name

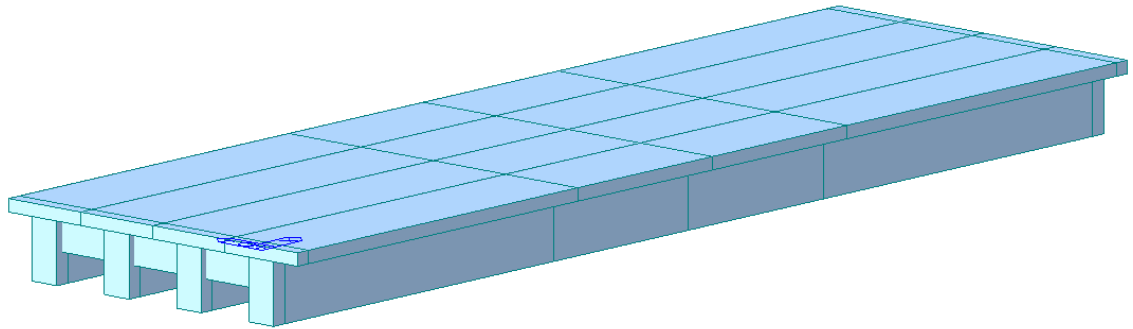
H	<input type="text" value="1.45"/>	m
B	<input type="text" value="1.77"/>	m
tw	<input type="text" value="0.6"/>	m
tf	<input type="text" value="0.25"/>	m



Gambar 4. 2 Section Properties Pemodelan Midas Civil 2019



Gambar 4. 3 Model Elemen Girder 3D (Node dan Frame)



Gambar 4. 4 Model Elemen Girder (Solid 3D)

4.3 Pembebanan Elemen Girder

Perhitungan pembebanan pada jembatan mengacu pada SNI 1725-2016 tentang Pembebanan Pada Jembatan. Untuk perhitungan, semua beban dibuat menjadi beban terpusat dan merata, untuk elemen girder dibagi menjadi girder eksterior dan girder interior. Beban yang terjadi adalah sebagai berikut :

Beban Permanen :

- Berat sendiri (MS)
- Berat beban mati tambahan (MA)

Beban Lalu lintas :

- Beban Lajur D (D)
- Berat rem (TB)
- Beban Truk (T)

4.3.1 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan merupakan gabungan dari berbagai macam pembebanan yang bekerja pada jembatan untuk mendapatkan kondisi paling ekstrem. Kombinasi Pembebanan mengacu pada SNI 1725 – 2016 dan dianalisis menggunakan aplikasi MIDAS CIVIL 2019. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang terjadi pada elemen girder

Tabel 4. 1 Tabel Kombinasi Pembebanan Pada Jembatan

No	Nama	MS	MA	D	TB	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Layan 1	Layan 1.1	Layan 1.2	Layan 1.3	Kuat 1	Kuat 1.1	Kuat 1.2	Kuat 1.3
1	Layan 1	1.0	1.0	1.0	1.0											
2	Layan 1.1	1.0	1.0		1.0	1.0										
3	Layan 1.2	1.0	1.0		1.0		1.0									
4	Layan 1.3	1.0	1.0		1.0			1.0								
5	Kuat 1	1.3	2.0	1.8	1.8											
6	Kuat 1.1	1.3	2.0		1.8	1.8										
7	Kuat 1.2	1.3	2.0		1.8		1.8									
8	Kuat 1.3	1.3	2.0		1.8			1.8	1.0	1.0	1.0	1.0				
9	ENV Layan												1.0	1.0	1.0	1.0
10	ENV Kuat															

➤ Girder Eksterior

The diagram shows a cross-section of a composite bridge deck. The total width is 8.30. The deck is divided into sections with widths of 0.35, 3.20, 6.40 (centerline to centerline), 3.20, and 0.35. The height of the deck is 0.60. The deck is supported by two main girders, labeled 'KE BUNGO' and 'KE JAMBI'. The girders are shown in cross-section with dimensions 1.50, 1.77, 1.77, 1.77, and 1.50. The label 'Detail Girder' is placed below the girder cross-sections. The overall height of the bridge structure is 2.50. The deck is shown with a top layer of 0.50 and a bottom layer of 1.20. The label 'Detail Girder' is placed below the girder cross-sections.

74

Tabel 4. 2 Panjang Bentang dan Jarak CTC Girder Eksterior

Girder Eksterior			
Bentang Jembatan	=	22.6	m
CTC Girder	=	1.3	m

1). Beban Mati Sendiri (MA)

Beban mati sendiri terdiri atas beban pelat, beban girder dan beban diafragma. Untuk perhitungan pembebanan yaitu, Berat = Volume x γ beton. Berat pelat lantai, girder, dan diafragma diinput otomatis pada software Midas Civil 2019.

2). Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan terdiri atas aspal, genangan air hujan, railing, dan trotoar. Untuk perhitungan pembebanan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Beban Mati Tambahan pada Girder Eksterior

----- Beban Mati Tambahan (MA) -----				
Elemen	Tebal (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat (kN/m)
Aspal	0.1	1	1.3	2.925
Genangan	0.05	1	1.3	0.638
Total				3.56
Elemen	Luas (m ²)	Panjang (m)	Volume (m ³)	Berat (kN/m)
Barrier	0.0875	1	0.088	2.188
Trotoar	0	1	0.000	0.000
Total				2.2
Elemen	Luas (m ²)	Panjang (m)	Jumlah	Berat (kN/m)
Railing	0.000	1	2.000	0.036
Tiang railing	0.060	0.14	0.008	0.047
Total				0.092
Total Beban Mati Sendiri				5.842

Total beban mati tambahan (Aspal + Genangan Air + Barrier + Trotoar + Railing + Tiang Railing) adalah 5,842 kN.

3). Beban Lajur "D" (BTR + BGT)

Pembebanan gaya rem mengacu pada SNI 1725 – 2016 Pasal 8.3.1 dimana nilai intensitas dari UDL dan KEL adalah sebagai berikut:

Karena $L \leq 30$ m, maka intensitas UDL, $q = 9$ KPa dan KEL, $p = 49$ kN/m dan untuk nilai FBD adalah 40%.

Berikut adalah perhitungan UDL dan KEL:

$$\text{BTR} = q \times \text{CTC} \times L$$

$$\text{BGT} = (1 + \text{FBD}) \times p \times \text{CTC}$$

Tabel 4. 4 Beban Lajur "D" pada Girder Eksterior

----- Beban Lajur "D" (BTR + BGT) -----			
CTC Girder	=	1.3	m
Beban Terbagi Rata (UDL)	=	10.47	kPa
Beban UDL	=	13.615	kN/m
Beban Garis Terpusat (KEL)	=	49	kN/m
Faktor Beban Dinamis (FBD)	=	0.4	
Reaksi Beban KEL	=	89.180	kN
Reaksi Beban Lajur "D"	=	95.988	kN

4). Beban Rem (TB)

Pembebanan gaya rem mengacu pada SNI 1725 – 2016 Pasal 8.7 dimana gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

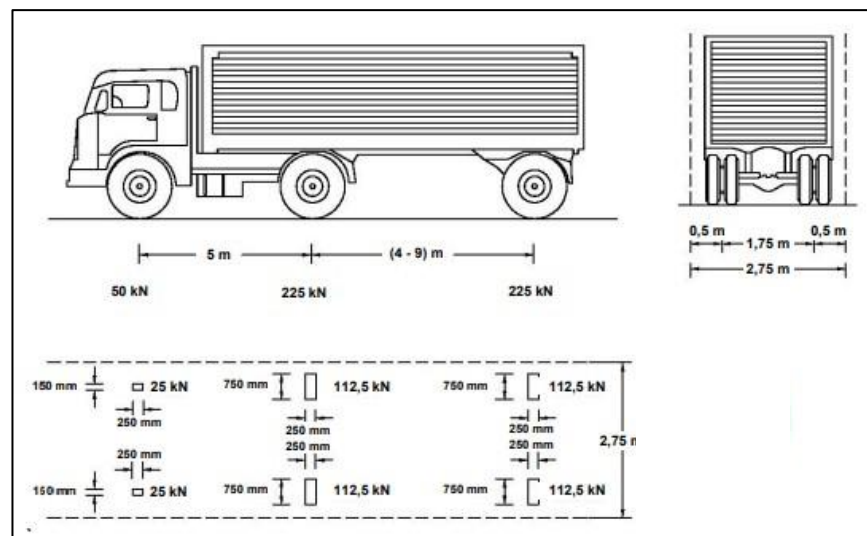
- 25% Berat gandar truk desain rencana
- 5% Berat truk desain rencana ditambah beban lajur terbagi rata

Tabel 4. 5 Beban Rem (TB) pada Girder Eksterior

----- Beban Rem (TB) -----			
Berat Gandar (P)	=	225	kN
Berat Truk	=	500	kN
Gaya rem 1	=	56.25	kN
Gaya rem 2	=	40.386	kN
Reaksi Beban Rem Horizontal	=	56.25	kN
Reaksi Beban Rem Vertikal	=	25.313	kN
Reaksi Beban Rem Horizontal (Sb y)	=	48.714	kN

5). Beban Truk (T)

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan antara gandar depan dengan gandar tengah berjarak 5 m dengan berat gandar depan sebesar 50 kN dan susunan antara gandar tengah dengan gandar belakang berjarak 4-9 m dengan berat gandar masing-masing sebesar 225 kN seperti terlihat pada di bawah ini.



Gambar 4. 7 Pembebanan Truk “T”

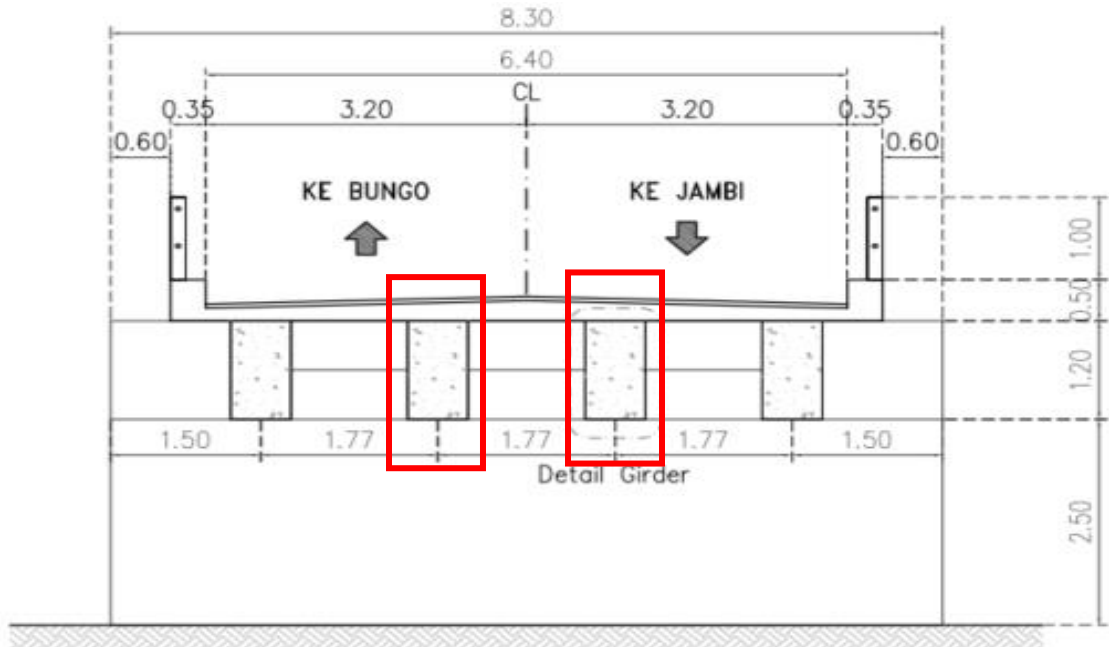
Kemudian beban truk dikalikan dengan faktor beban kejut sebesar 1,35 dan dari hasil operasi perhitungan tersebut lalu beban dimasukkan ke dalam software.

Tabel 4. 6 Beban Truk pada Girder Eksterior

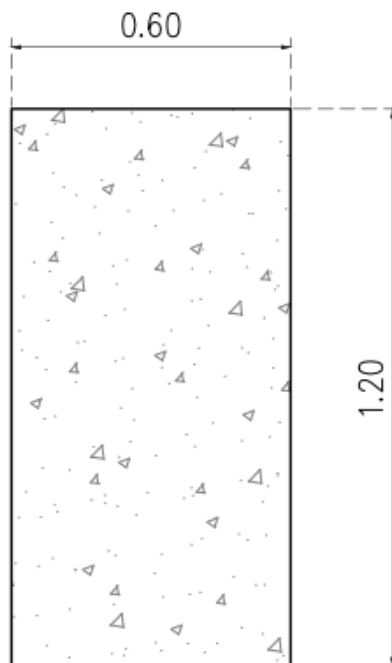
----- Beban Truk (T) -----				
Gandar	Beban	Faktor	Beban Terfaktor	
1	25	1.35	65	kN
2	112.5	1.35	292.5	kN
3	112.5	1.35	292.5	kN

➤ Girder Interior

Pembebanan girder interior pada jembatan terjadi pada bagian tengah jembatan atau tengah balok girder seperti pada gambar di bawah.



Gambar 4. 8 Potongan Melintang Jembatan



Gambar 4. 9 Detai Girder Interior

Tabel 4. 7 Panjang Bentang dan Jarak CTC Girder Interior

Girder Interior			
Bentang Jembatan	=	22.6	m
CTC Girder	=	1.77	m

1). Beban Mati Sendiri (MA)

Beban mati sendiri terdiri atas beban pelat, beban girder dan beban diafragma Untuk perhitungan pembebanan yaitu, Berat = Volume x γ beton. Berat pelat lantai, girder, dan diafragma diinput otomatis pada software Midas Civil 2019.

2). BebanMati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan terdiri atas aspal, genangan air hujan, railing, dan trotoar. Untuk perhitungan pembebanan yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Beban Mati Tambahan pada Girder Interior

----- Beban Mati Tambahan (MA) -----				
Elemen	Tebal (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat (kN/m)
Aspal	0.1	1	1.77	3.983
Genangan	0.05	1	1.77	0.868
Total				4.85

Total beban mati tambahan (Aspal + Genangan Air) adalah 4.85 kN

3). Beban Lajur “D” (BTR + BGT)

Pembebanan gaya rem mengacu pada SNI 1725 – 2016 Pasal 8.3.1 dimana nilai intensitas dari UDL dan KEL adalah sebagai berikut:

Karena $L \leq 30$ m, maka intensitas UDL, $q = 9$ KPa dan KEL, $p = 49$ kN/m dan untuk nilai FBD adalah 40%.

Berikut adalah perhitungan UDL dan KEL:

$$BTR = q \times CTC \times L$$

$$BGT = (1 + FBD) \times p \times CTC$$

Tabel 4. 9 Beban Lajur "D" pada Girder Interior

----- Beban Lajur "D" (BTR + BGT) -----			
CTC Girder	=	1.77	m
Beban Terbagi Rata (UDL)	=	9.00	kPa
Beban UDL	=	15.930	kN/m
Beban Garis Terpusat (KEL)	=	49	kN/m
Faktor Beban Dinamis (FBD)	=	0.4	
Reaksi Beban KEL	=	121.422	kN
Reaksi Beban Lajur "D"	=	129.387	kN

4). Beban Rem (TB)

Pembebanan gaya rem mengacu pada SNI 1725 - 2016 Pasal 8.7 dimana gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

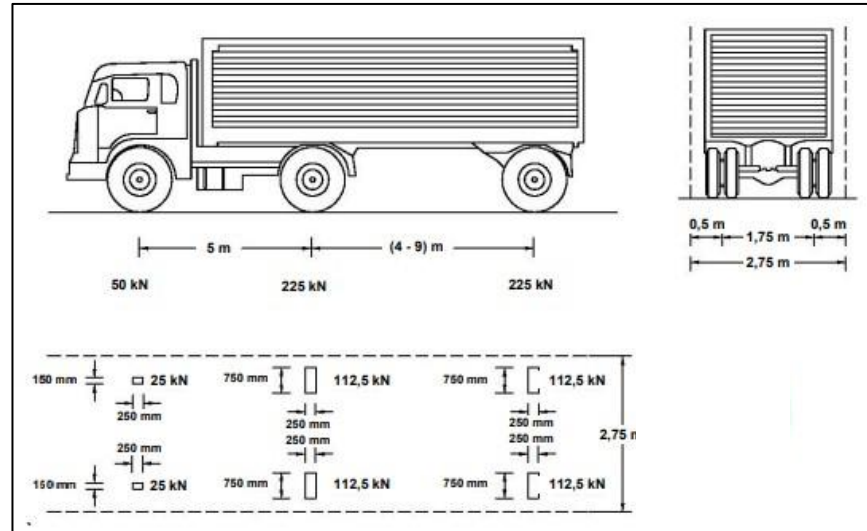
- 25% Berat gandar truk desain rencana
- 5% Berat truk desain rencana ditambah beban lajur terbagi rata

Tabel 4. 10 Beban Rem (TB) pada Girder Interior

----- Beban Rem (REM) -----			
Berat Gandar (P)	=	225	kN
Berat Truk	=	500	kN
Gaya rem 1	=	56.25	kN
Gaya rem 2	=	43.001	kN
Reaksi Beban Rem Horizontal	=	56.250	kN
Reaksi Beban Rem Vertikal	=	25.313	kN
Reaksi Beban Rem Horizontal (Sb y)	=	14.063	kN

5). Beban Truk (T)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan antara gandar depan dengan gandar tengah berjarak 5 m dengan berat gandar depan sebesar 50 kN dan susunan antara gandar tengah dengan gandar belakang berjarak 4-9 m dengan berat gandar masing-masing sebesar 225 kN seperti terlihat pada di bawah ini.



Gambar 4. 10 Pembebanan Truk “T”

Kemudian beban truk dikalikan dengan faktor beban kejut sebesar 1,35 dan dari hasil operasi perhitungan tersebut lalu beban dimasukkan ke dalam software.

Tabel 4. 11 Beban Truk pada Girder Interior

----- Beban Truk (T) -----			
Gandar	Beban	Faktor	Beban Terfaktor
1	25	1.35	65 kN
2	112.5	1.35	292.5 kN
3	112.5	1.35	292.5 kN

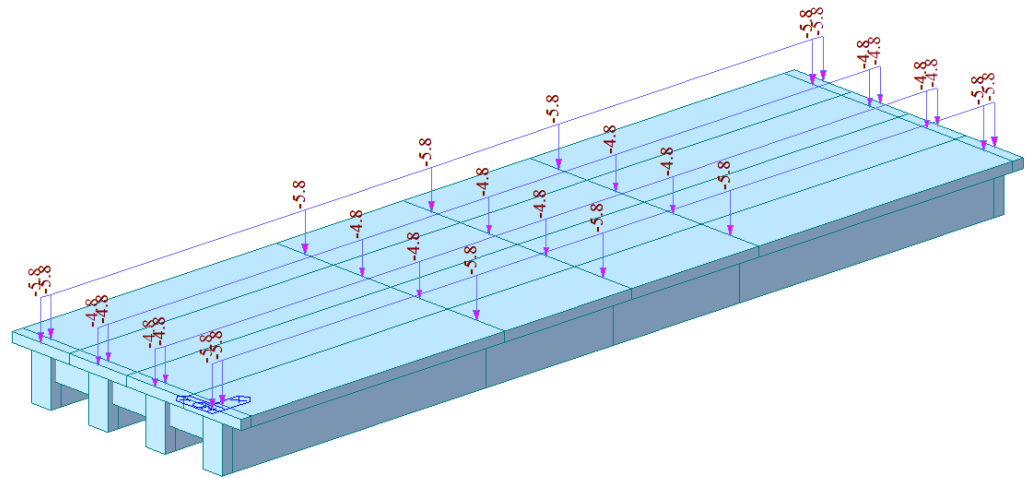
4.3.3 Rekapitulasi Pembebanan Elemen Girder

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Pembebanan Pada girder

Beban	Eksterior	Interior
	(kN)	(kN)
MA	5.842	4.851
BTR	13.615	15.930
BTG	89.180	121.422
TB	56.25	56.250

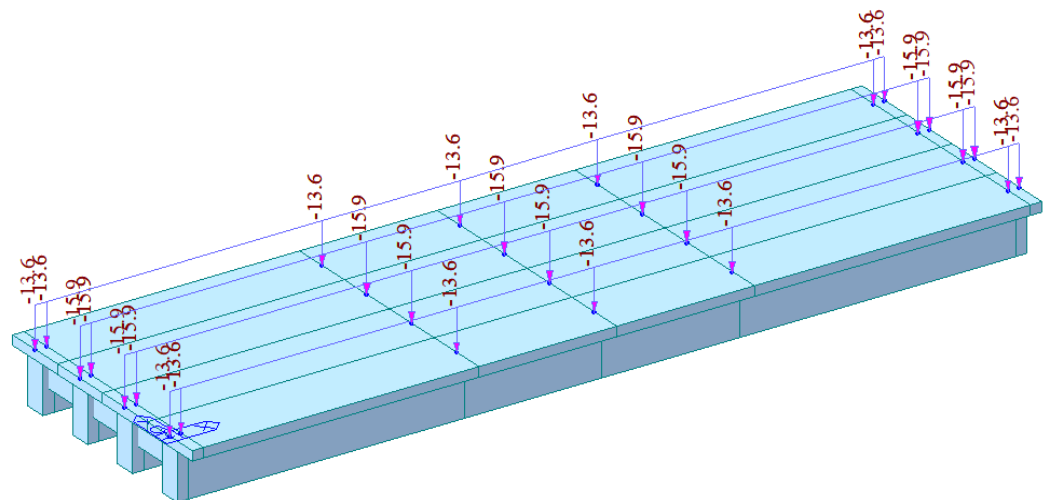
4.4 Aplikasi pembebanan pada Model Elemen Girder

1). Beban Mati Tambahan (MA)



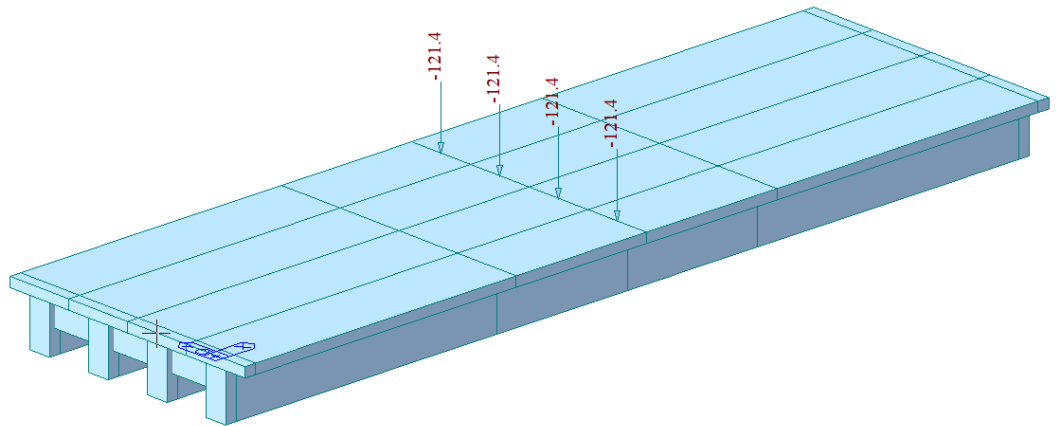
Gambar 4. 11 Aplikasi Beban Mati Tambahan pada Girder (Unit:kN/m)

2). Beban Terbagi Rata (BTR)



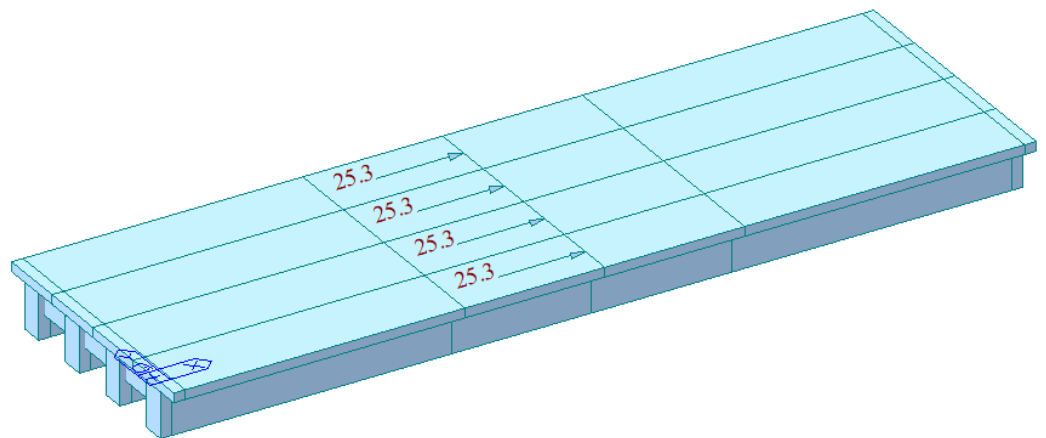
Gambar 4. 12 Aplikasi Beban Terbagi Rata pada Girder (Unit:kN/m)

3). Beban Garis Terpusat (BGT)



Gambar 4. 13 Aplikasi Beban Garis Terpusat pada Girder (Unit:kN)

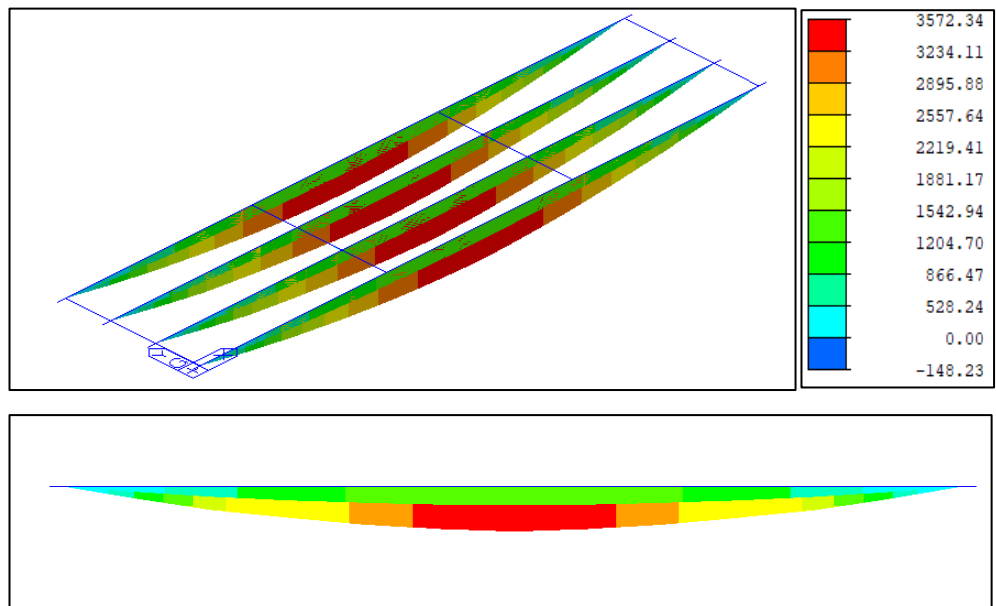
4). Beban Rem (TB)



Gambar 4. 14 Aplikasi Beban Rem (Unit:kN)

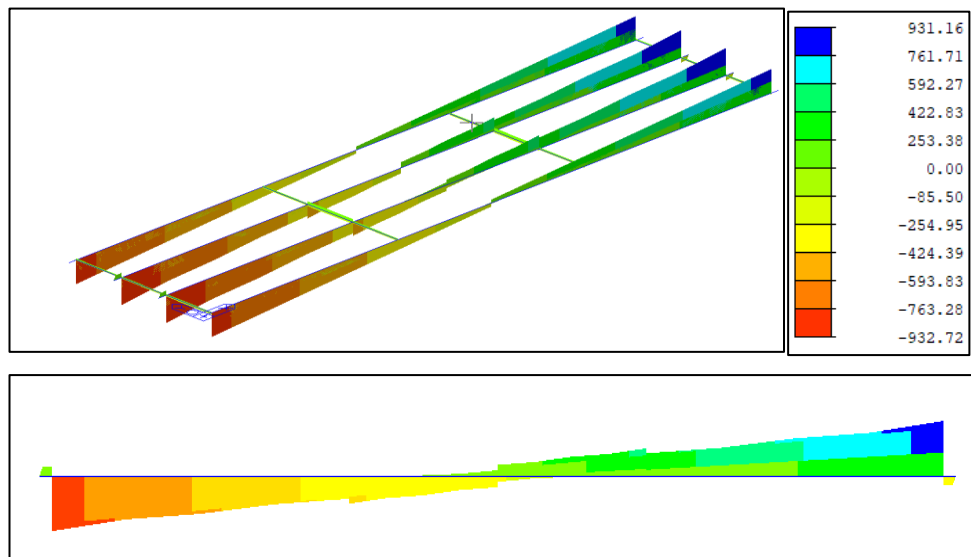
4.5 Gaya-gaya Dalam Elemen Girder

1). Diagram Momen Lentur Akibat Kombinasi Pembebanan Layan



Momen lentur maksimal yang diakibatkan oleh kombinasi pembebanan layan adalah 3572.34 kN/m

2). Diagram Gaya Geser Akibat Kombinasi Pembebanan Layan



Gaya geser maksimal yang diakibatkan oleh kombinasi pembebanan layan adalah 932.72 kN

4.6 Analisa Kapasitas Momen Lentur Penampang

DATA BETON

K =	300
$f_c' =$	24.9 MPa
$E_c =$	23452953 kN/m ²
$\epsilon_c =$	0.003
$b_1 =$	0.85

DATA TULANGAN

$f_y =$	240 MPa
$E_s =$	200000 MPa
$\epsilon_s =$	0.0012

FAKTOR REDUKSI (f)

LENTUR	0.9
GESER	0.7

DATA PENAMPANG

Dimensi

b =	600 mm
h =	1200 mm

Tulangan

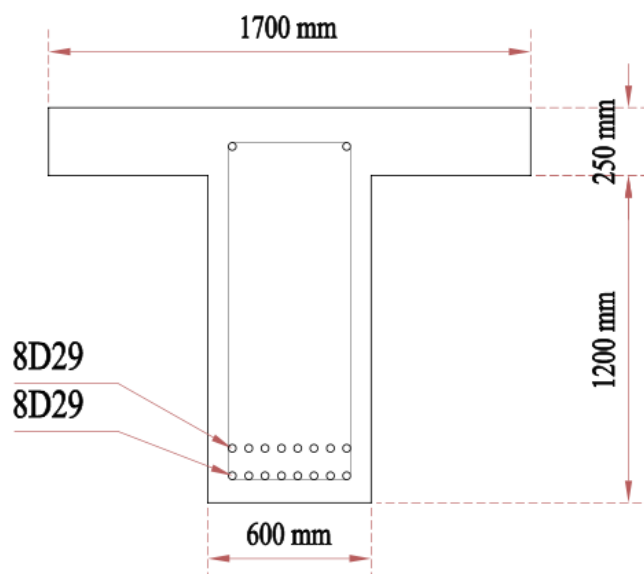
du =	29 mm
ndu =	14 bh
ds =	13 mm
spasi =	100 mm

Selimut beton

p =	50 mm
db =	77.5 mm
d =	1122.5 mm

DATA BEBAN

$M_u =$	3572 kNm
$V_u =$	917.2 kN



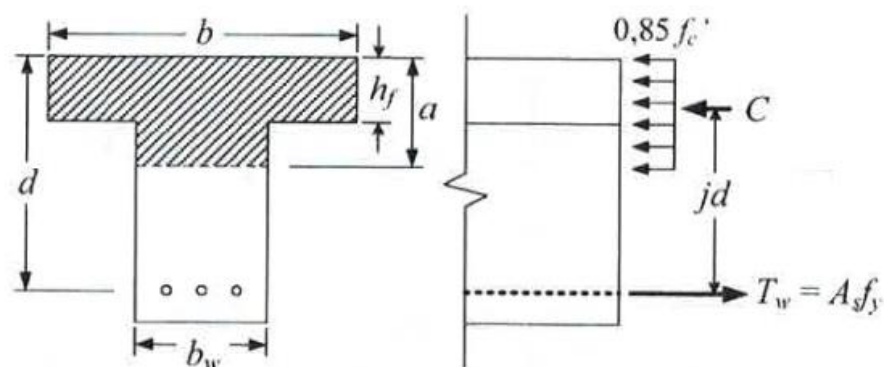
Gambar 4. 15 Penampang Balok T

Pada analisa kapasitas penampang akan dihitung dengan penampang berbentuk balok T karena pada saat pelaksanaan pelat lantai dan balok dicor secara monolit. Ada dua kasus dalam analisa perhitungan balok T yaitu :

- Bila tinggi blok tegangan tekan lebih kecil atau sama dengan ketebalan sayap ($a \leq h_f$) maka balok T dapat dihitung seperti perhitungan balok biasa (tanpa sayap/flens).
- Bila tinggi blok tegangan tekan lebih besar dari ketebalan sayap ($a > h_f$) maka balok dibagi menjadi dua bagian yaitu badan balok dan sayap/flens.

Selanjutnya balok T akan dianalisa apakah balok T termasuk Balok T asli ($a > h_f$) atau palsu ($a \leq h_f$).

Asumsi bahwa zona blok tegangan tekan berada di bawah sayap :



Gambar 4. 16 Asumsi Balok T dengan Zona Blok Tegangan Tekan di bawah sayap

1. Analisa zona blok tegangan tekan

Asumsikan zona blok tegangan tekan berada dibawah sayap :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$$

untuk dapat menghitung tinggi zona blok tegangan tekan maka perlu menghitung luas tulangan yang tersedia terlebih dahulu.

$$\begin{aligned} A_s &= 8D29 + 8D29 \\ &= 8 \cdot \pi d^2 + 8 \cdot \pi d^2 \end{aligned}$$

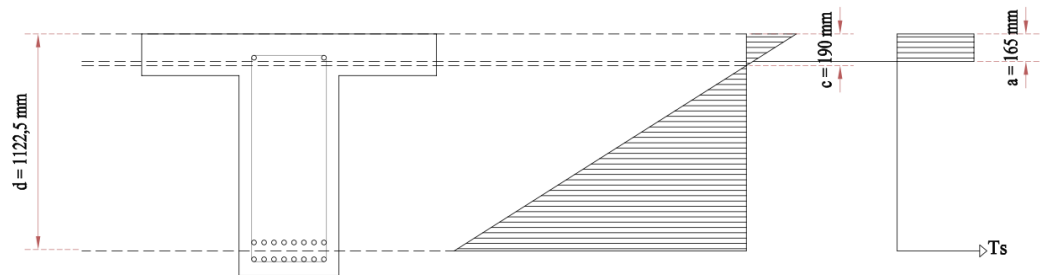
$$\begin{aligned}
&= 8.(660,185)+8.(660,185) \\
&= 5281,48 + 5281,48 \\
&= 10562,96 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat luas tulangan yaitu 9242,59 mm².

Selanjutnya menghitung tinggi zona blok tegangan tekan :

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s.f_y}{0,85.f_c.b} \\
&= \frac{10562,96.390}{0,85.25.1770} \\
&= \frac{4119554,4}{25500} \\
&= 161,55 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat tinggi zona blok tegangan tekan yaitu 161,55 mm. Dengan demikian balok T tidak sesuai dengan asumsi sebelumnya maka balok T akan dianalisa sebagai balok biasa ($a \leq hf$).



Gambar 4. 17 Diagram Distribusi Tegangan Penampang Balok T

2. Kedalaman efektif penampang

Berdasarkan dari data penampang maka didapatkan kedalaman efektif penampang adalah 1122.5 mm

3. Analisa kapasitas momen nominal balok T

Asumsi $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ sehingga $f_s = f_y$

- Cek $\epsilon_s \geq \epsilon_y$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{165}{0,85} = 195 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
\epsilon_s &= \left(\frac{d - c}{c} \right) \epsilon_{cu} \geq \epsilon_y \\
&= \frac{1122,5 - 195}{195} 0.003 \geq \frac{f_y}{E_s}
\end{aligned}$$

$$= \frac{1122,5 - 195}{195} 0.003 \geq \frac{390}{200000}$$

$$= 0,014 \geq 0,002 \text{ (Tulangan leleh)}$$

- Momen nominal penampang

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 10562,96 \cdot 390 \left(1122,5 - \frac{165}{2} \right)$$

$$= 4119554,4 \cdot 1072,5$$

$$= 4284336576 \text{ N/mm} \rightarrow 4284,4 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 4284,4 = 3855,9 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_u = 3855,9 \text{ kN/m} > 3572.34 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat nilai momen nominal penampang eksisting sebesar 3855,9 kN/m sedangkan momen ultimit yang terjadi sebesar 3572.34 kN/m, dengan demikian penampang masih kuat menahan momen lentur yang terjadi dan tidak perlu dilakukan perkuatan pada daerah lentur.

4.7 Analisa Kapasitas Geser Penampang

1. Analisa Perhitungan Kuat Geser Nominal Beton

untuk analisa perhitungan kuat geser nominal yang disediakan oleh beton diabaikan karena telah terjadi retak.

$$V_c = 0$$

2. Analisa Perhitungan Kuat Geser Nominal Tulangan

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$= \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 13^2 \cdot 3,14 \cdot 390 \cdot 1122,5}{100}$$

$$= 116154840,75 \text{ N} \rightarrow 1161,5 \text{ kN}$$

3. Kuat Geser Nominal Penampang Eksisting

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s)$$

$$= 0.7(0 + 1161,5)$$

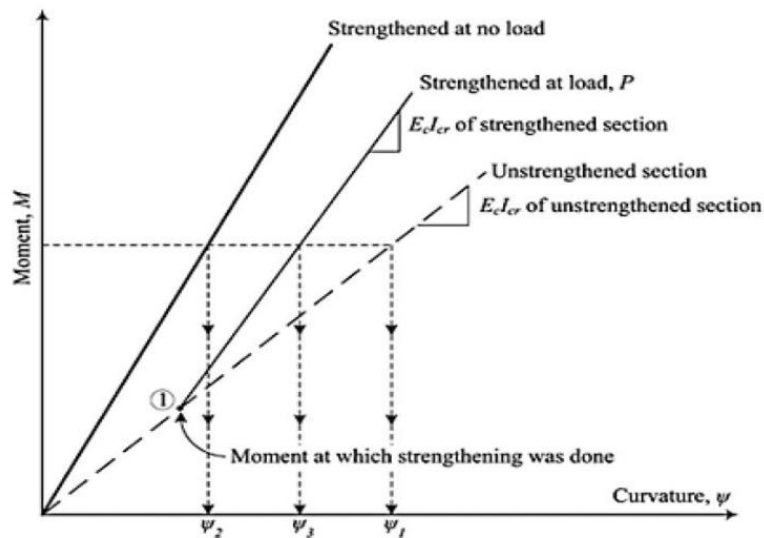
$$= 813,1 \text{ kN}$$

$$\phi V_n < V_n = 813,1 \text{ kN} < 917,2 \text{ kN}$$

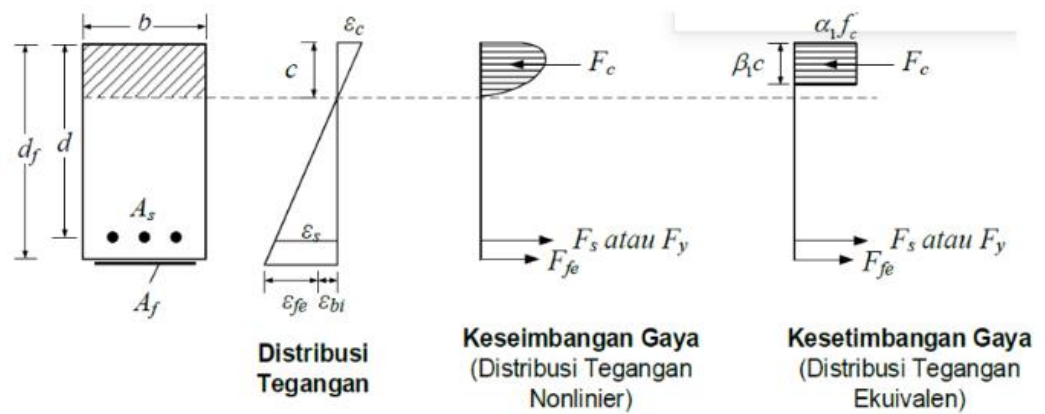
Hasil analisa perhitungan kapasitas penampang di atas kuat geser nominal penampang eksisting adalah 813,1 kN sedangkan kuat geser ultimit yang terjadi adalah 932,72 kN, dengan demikian perlu dilakukan perkuatan pada daerah geser pada elemen girder dengan menggunakan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*.

4.8 Konsep Perkuatan *Fiber Reinforced Polymer* pada Elemen Girder

Perkuatan FRP dipasang pada saat beban tertentu sudah ada dan bekerja, kurvatur aktual (ψ_3) berada diantara ψ_1 dan ψ_2 . Nilai ψ_3 tergantung pada level beban yang bekerja pada saat perkuatan dilakukan. Hal yang sama juga berlaku pada tegangan actual yang terjadi. Tegangan dan kekuatan ekuivalen yang dipakai menghitung defleksi mengikuti ketentuan pada SNI 8971:2021.



Gambar 4. 18 Diagram Kurvatur Terhadap Momen yang Bekerja



Gambar 4. 19 Diagram Distribusi Tegangan Dalam Beton

1. Regangan di Dalam Perkuatan FRP

Untuk setiap kedalaman garis netral, regangan di dalam perkuatan FRP (ϵ_{fe}) dihtung dengan:

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$$

2. Tegangan di Dalam Perkuatan FRP

Tegangan efektif di dalam perkuatan FRP (f_{fe}) dapat dihitung dari regangan di dalam FRP (ϵ_{fe}) dengan asumsi perilaku elastic material dengan:

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe}$$

Tegangan di dalam tulangan baja (f_s) ditentukan dari regangan di dalam tulangan.

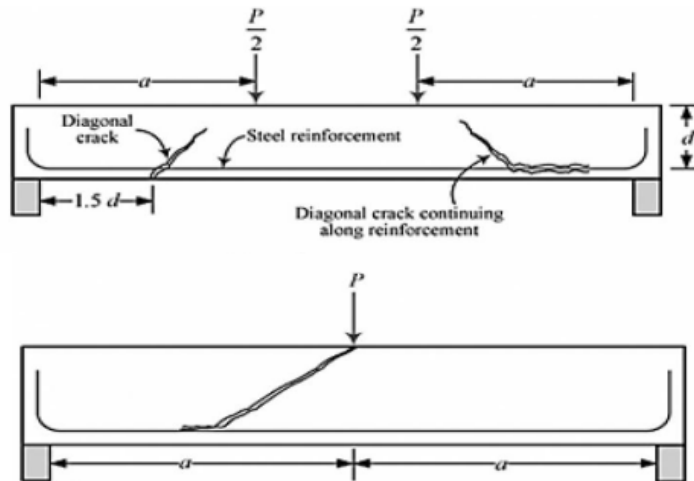
$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y$$

Setelah tegangan-tegangan di dalam FRP dan tulangan baja diperoleh (berdasarkan asumsi kedalaman garis netral tertentu) maka kesetimbangan gaya-gaya eksternal dapat diperiksa dengan:

$$\alpha_1 f_c' \beta_1 bc = A_s f_s + A_f f_{fe}$$

3. Pola Retak dan Moda Kegagalan Geser

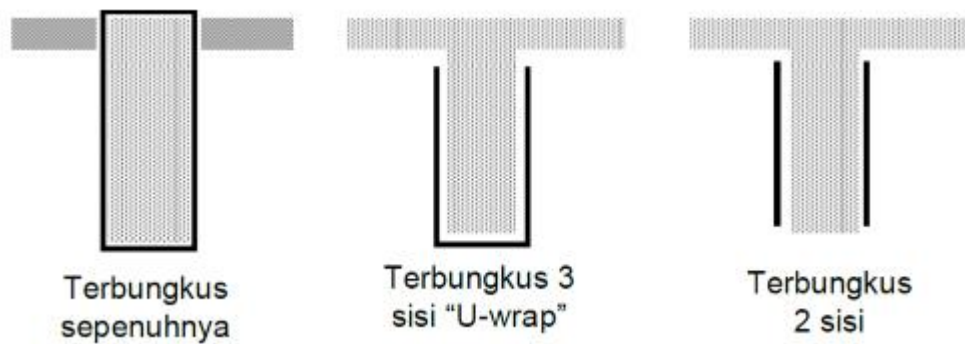
Kegagalan geser terjadi karena kegagalan Tarik diagonal dan kegagalan desak geser yang ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4. 20 Pola Retak Geser pada Balok

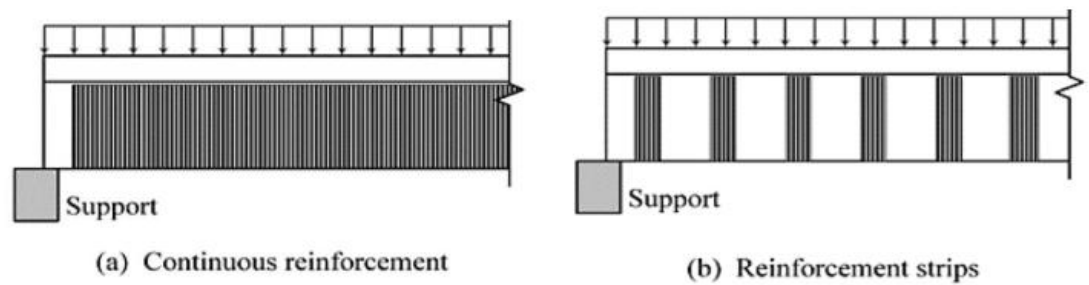
4. Skema Lilitan Tipikal Laminasi FRP

Skema lilitan yang digunakan dalam penanganan perkuatan geser adalah tipe terbungkus 3 sisi “U-wrap”, dengan skema lilitan tersebut balok terbungkus sempurna dan dapat meningkatkan kekuatan geser secara signifikan.

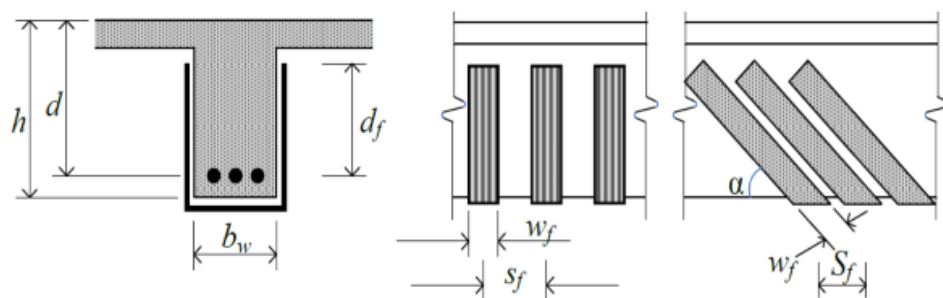


Gambar 4. 21 Tipe Skema Lilitan FRP

Material komposit FRP diaplikasikan sebagai lembar menerus atau strip dengan jarak spasi tertentu (Balaguru, Nanni, & Giancaspro 2009), aplikasi pemasangan FRP yang digunakan adalah tipe menerus (*continuous reinforcement*):



Gambar 4. 22 Aplikasi Perkuatan FRP pada Balok (a) *Continuous reinforcement*
(b) *Reinforced strip*



Gambar 4. 23 Variabel Dimensi dalam Perhitungan Perkuatan Geser

5. Sifat Material

Pengaruh jangka panjang lingkungan dapat menurunkan ketahanan Tarik, runtuh rangkai dan kelelahan laminasi FRP, sifat material yang digunakan dalam desain (f_{fu}^*) harus dikurangi untuk memperhitungkan pengaruh kerja jangka panjang lingkungan. Kuat tarik ultimit (f_{fu}) dalam desain harus ditentukan dengan menggunakan faktor pengurang (C_E) yang diberikan sesuai dengan jenis serat yang dipakai.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

Regangan runtuh desain (ϵ_{fu}) juga harus diturunkan untuk memperhitungkan pengaruh lingkungan jangka panjang.

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^*$$

Karena material FRP bersifat linier elastis sampai runtuh, nilai modulus elastisitas material FRP dapat ditentukan dengan hukum Hooke.

$$E_f = f_{fu} / \epsilon_{fu}$$

Faktor reduksi lingkungan tercantum dalam table berikut ditentukan secara konservatif berdasarkan keawetan relative masing-masing serat.

Tabel 4. 13 Faktor Reduksi Lingkungan untuk system FRP dan jenis paparannya (*exposure*)

Kondisi lingkungan	Jenis serat	Faktor reduksi lingkungan (C_E)
Lingkungan terlindung, di dalam ruangan	Karbon	0,95
	Gelas	0,75
	Aramid	0,85
Lingkungan tidak terlindung (jembatan, pilar, atau garasi terbuka)	Karbon	0,85
	Gelas	0,65
	Aramid	0,75
Lingkunagn agresif (pabrik kimia dan pabrik penjernihan limbah)	Karbon	0,85
	Gelas	0,50
	Aramid	0,70

6. Kekuatan Geser Nominal

Kekuatan geser rencana komponen beton yang diperkuat dengan system FRP harus melebihi kekuatan geser perlu. Kekuatan geser perlu dari komponen beton yang diperkuat dengan FRP dihitung dengan faktor bebam yang disyaratkan oleh pasal 5 SNI 2847:2019. Kekuatan geser desain harus dihitung dengan mengalikan kekuatan geser nominal dengan faktor reduksi kekuatan ϕ , sebagaimana ditentukan oleh SNI 2847:2019.

$$\phi V_n \geq V_u$$

Kekuatan geser nominal dari komponen beton yang diperkuat FRP dapat ditentukan dengan menambahkan kontribusi kekuatan geser eksternal FRP ke kontribusi baja tulangan (sengkang, sengkang ikat, atau spiral) dan beeton. Factor reduksi tambahan, ψ_f , diterapkan pada kontribusi system FRP.

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s + \psi_f V_f)$$

V_c dan V_s adalah kontribusi beton dan baja tulangan internal untuk kapasitas geser yang masing masing dihitung menggunakan ketentuan SNI 2847:2019. Factor ψ_f dikalibrasi berdasarkan sifat material desain. Rekomendasi tersebut diberikan pada table di bawah ini.

Tabel 4. 14 Faktor Reduksi Lingkungan untuk system FRP dan jenis paparanya (*exposure*)

$\psi_f = 0,95$	Komponen-komponen yang terbungkus sepenuhnya
$\psi_f = 0,85$	Skema dua sisi berlawanan dan tiga sisi

Estimasi kontribusi mutu beton terhadap tahanan geser secara konservatif dapat dihitung dengan persamaan dari SNI 2847:2019.

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c' b w d}$$

Bila tersedia sengkang baja dengan luas semua kaki A_v dan spasi antar sengkang s maka kontribusi dari tulangan aja dihitung dengan persamaan dari SNI 2847:2019

$$V_s = \frac{A_v f_y t (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{s}$$

Sudut α adalah sudut di antara sengkang miring dan sumbu longitudinal komponen, s diukur secara parallel sampai tulangan longitudinal.

7. Kontribusi FRP Terhadap Kekuatan Geser

Kontribusi system FRP terhadap kekuatan geser suatu komponen didasarkan pada orientasi serat dan asumsi pola retak. Kekuatan geser yang disediakan oleh perkuatan FRP dapat ditentukan dengan menghitung gaya dari tegangan Tarik FRP sepanjang retak yang diasumsikan. Kontribusi geser dari penulangan FRP diperoleh dengan persamaan berikut.

$$V_f = \frac{A_v f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d f_v}{s f}$$

Untuk penampang persegi panjang, A_{fv} adalah :

$$A_{fv} = 2 n t_f w_f$$

Tegangan Tarik dalam perkuatan geser FRP, f_{fe} pada kuat nominal proporsional langsung dengan regangan yang dapat berkembang dalam perkuatan geser FRP pada kekuatan nominal.

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe}$$

8. Regangan Efektif dalam Laminasi FRP

Regangan efektif, ϵ_{fe} adalah regangan maksimum yang dapat dicapai dalam system FRP pada kekuatan nominal dan ditentukan oleh pola

kegagalan system FRP dan oleh komponen beton bertulang yang diperkuat. Regangan efektif untuk berbagai konfigurasi laminasi FRP yang dipakai untuk perkuatan geser pada komponen beton bertulang ditentukan sebagai berikut.

a. Pembungkusan U Terekat (U-wrap)

Hasil pengamatan menunjukkan system FRP yang tidak membungkus seluruh penampang (pembungkusan dua dan tiga sisi) mengalami delaminasi dari beton sebelum kehilangan keterikatan antar agregat dari penampang. Regangan efektif, ε_{fe} dihitung dengan koefisien reduksi gaya rekat, K_v yang dapat diaplikasikan untuk geser.

$$\varepsilon_{fe} = K_v \varepsilon_{fu} \leq 0,004$$

Koefisien reduksi daya rekat, K_v merupakan fungsi kekuatan beton, tipe skema pembungkusan yang dipakai, dan kekakuan laminasi. Koefisien reduksi daya rekat, K_v dihitung dengan persamaan berikut.

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11.900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75$$

Panjang lekatan efektif, L_e adalah panjang dimana mayoritas tegangan lekatan dipertahankan. Panjang lekatan ini diperoleh dengan persamaan berikut.

$$L_e = \frac{23300}{(n t f E f)}$$

Koefisien reduksi daya rekat, K_v juga tergantung pada dua factor modifikasi, k_1 dan k_2 , yang memperhitungkan masing-masing kekuatan beton dan tipe skema pembungkusan yang dipakai. Kedua factor modifikasi ini dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3}$$

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & \text{untuk pembungkusan tiga sisi} \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & \text{untuk pembungkusan dua sisi} \end{cases}$$

Metodologi untuk menentukan K_v telah divalidasi untuk komponen di daerah-daerah dengan gaya geser tinggi dan momen rendah, seperti balok dengan tumpuan sederhana yang menerima beban monotonik. Meskipun metodologi nya belum dikonfirmasi untuk kekuatan geser di daerah-daerah dimana bagian badan mengalami desak (daerah momen negatif)

b. Spasi

Spasi lajur-lajur FRP yang dipakai untuk perkuatan geser harus diperiksa untuk mengevaluasi kontribusinya terhadap kekuatan geser. Spasi harus mengikuti batasan-batasan dari SNI 2847:2019 untuk penulangan geser baja internal. Spasi lajur-lajur FRP didefinisikan sebagai jarak antar garis tengah jalur-jalur FRP tersebut.

c. Batas-batas penulangan

Kekuatan geser total yang disediakan oleh perkuatan diambil sebagai jumlah kontribusi perkuatan geser FRP dan tulangan geser baja. Jumlah dari kekuatan-kekuatan geser dari perkuatan geser dibatasi berdasar kriteria untuk baja saja dalam SNI 2847:2019.

$$V_s + V_f \leq 0,66\sqrt{f'_c}bwd$$

Untuk penampang lingkaran, nilai $b_w d$ pada persamaan di atas adalah $0,8D^2$, dimana D adalah diameter komponen.

4.9 Analisa Perhitungan Perkuatan Fiber Reinforced Polymer pada Elemen Girder

DATA FRP

tebal pelat lantai =	250 mm
wf =	300 mm
sf =	100 mm
Panjang =	1778 mm
dfv =	872.5
tf =	0.165 mm
ffu* =	3790 MPa
εfu* =	0.017
Ef =	227530 MPa
n =	1 lembar

DATA BEBAN

Mu =	3572 kNm
Vu =	917.2 kN

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk perkuatan elemen girder dengan bahan fiber reinforced polymer (FRP), didapatkan nilai

4. Analisa Perhitungan Perkuatan dengan *Fiber Reinforced Polymer*

a. Kuat Tarik Ultimit

$$\begin{aligned}f_{fu} &= C_E \cdot f_{fu}^* \\&= 0,85 \cdot 3790 \\&= 3221,5 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

b. Regangan Ultimit

$$\begin{aligned}\epsilon_{fu} &= C_E \cdot \epsilon_{fu}^* \\&= 0,85 \cdot 0,17 \\&= 0,014\end{aligned}$$

c. Kuat Tarik Ultimit

$$\begin{aligned} L_e &= \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0.58}} \\ &= \frac{23300}{(1.0 \cdot 165.227530)^{0.58}} \\ &= 51,78 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Faktor Modifikasi 1

$$\begin{aligned} k_1 &= \left(\frac{f_c'}{27} \right)^{2/3} \\ &= \left(\frac{25}{27} \right)^{2/3} \\ &= 0,947 \end{aligned}$$

e. Faktor Modifikasi 2

$$\begin{aligned} k_2 &= \left(\frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} \right) \\ &= \left(\frac{872,5 - 51,78}{872,5} \right) \\ &= 0,941 \end{aligned}$$

f. Koefisien Reduksi Gaya Lekat

$$\begin{aligned} k_v &= \left(\frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_e}{11900 \cdot \epsilon_{fu}} \right) \leq 0.75 \\ &= \left(\frac{0,947 \cdot 0,941 \cdot 51,78}{11900 \cdot 0,014} \right) \leq 0.75 \\ &= 0,268 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

g. Regangan Efektif

$$\begin{aligned} \epsilon_{fe} &= k_v \cdot \epsilon_{fu} \leq 0.004 \\ &= 0,268 \cdot 0,017 \leq 0.004 \\ &= 0,0039 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

h. Luas Perkuatan *Fiber Reinforced Polymer*

$$\begin{aligned} A_{fv} &= 2n \cdot t_f \cdot w_f \\ &= 2 \cdot 1.0 \cdot 165 \cdot 300 \\ &= 99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

i. Tegangan Efektif *Fiber Reinforced Polymer*

$$\begin{aligned} f_{fe} &= \varepsilon_{fe} \cdot E_f \\ &= 0,0039 \cdot 227530 \\ &= 882,293 \text{ MPa} \end{aligned}$$

j. Kuat Geser *Fiber Reinforced Polymer*

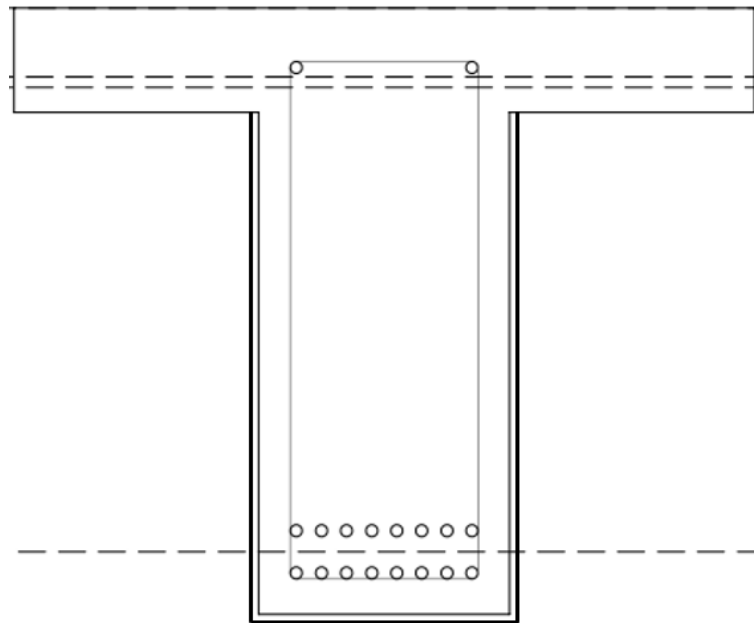
$$\begin{aligned} V_f &= \frac{A_{fv} \cdot f_{fe} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d_{fv}}{s_f} \\ &= \frac{99 \cdot 882,293 \cdot (\sin 90 + \cos 90) \cdot 872,5}{100} \\ &= 762,103 \text{ kN} \end{aligned}$$

k. Kuat Geser Penampang dengan *Fiber Reinforced Polymer*

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi (V_c + V_s + \Psi_f V_f) \\ &= 0,7 (0 + 1161,5 + 0,85 \cdot 762,103) \\ &= 1266,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

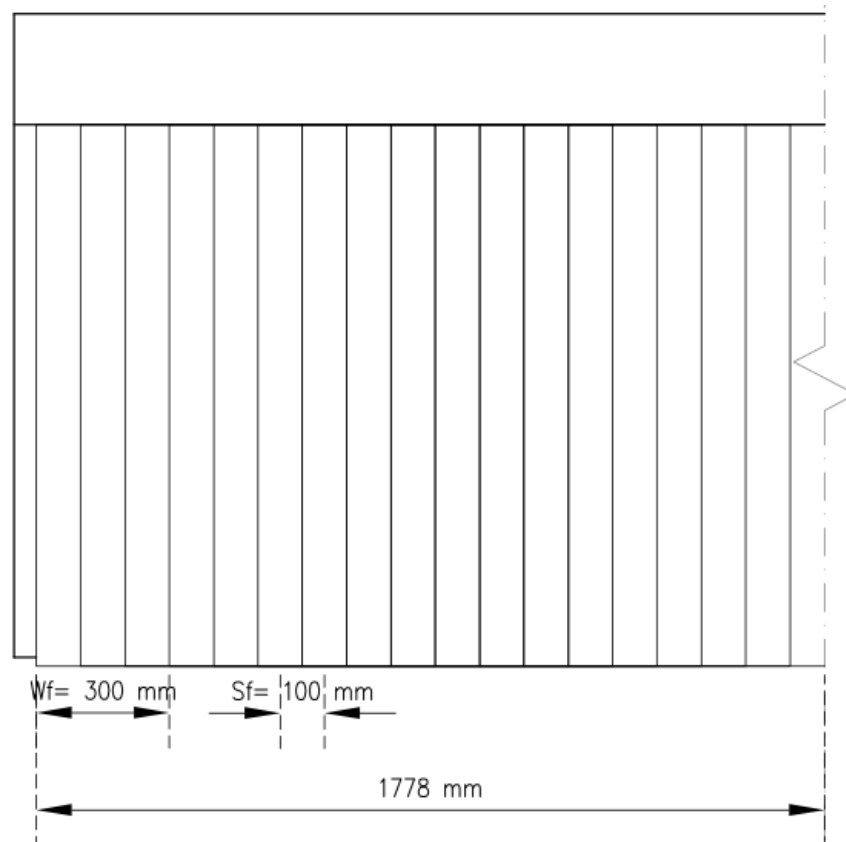
Dari hasil analisa perhitungan di atas kuat geser kontribusi dari FRP sebesar 762.103 kN sedangkan kuat geser nominal penampang eksisting sebesar 813,1 kN, terjadi peningkatan sebesar 453.3 kN dan kuat geser nominal penampang setelah pemasangan FRP naik menjadi sebesar 1266.5 kN.

5. Konfigurasi Perkuatan dengan *Fiber Reinforced Polymer*



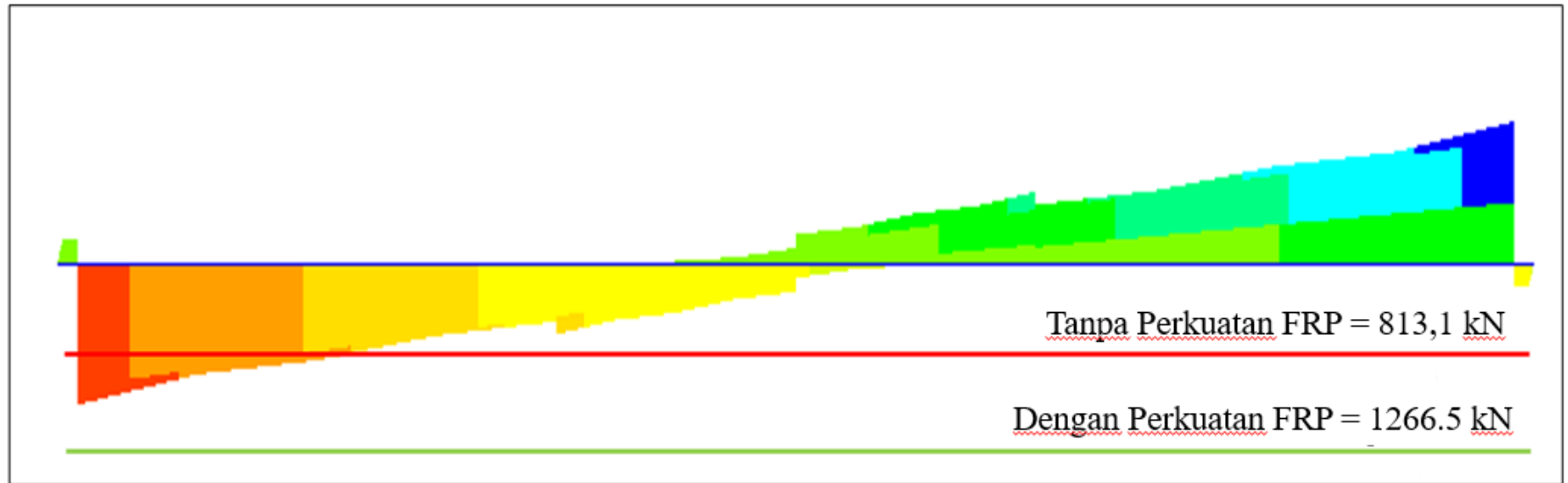
Gambar 4. 24 Skema Terbungkus 3 Sisi “U-wrap)

Dilakukan pemasangan perkuatan *fiber reinforced polymer* secara menerus (*continuous reinforcement*) pada balok.



Gambar 4. 25 Skema Perkuatan Menerus (*Cpntinuous Reinforcement*)

6. Perbandingan Kuat Geser Sebelum dan Sesudah Perkuatan *Fiber Reinforced Polymer*



Gambar 4. 26 Perbandingan Kapasitas Girder Setelah Penanganan dengan FRP

Dengan demikian kuat geser nominal penampang yang telah dipasang *Fiber Reinforced Polymer* mampu menahan gaya geser maksimum yang terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari survei di lapangan dan analisa struktur eksisting jembatan sei ketalo kecil dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kapasitas lentur penampang sebesar 3978,4 kN/m sedangkan momen lentur yang terjadi adalah sebesar 3572 kN/m. Dengan demikian kuat momen lentur nominal penampang mampu menahan momen lentur ultimit yang terjadi.
2. Setelah dilakukan perbandingan dari hasil analisa kapasitas tulangan penampang eksisting dengan gaya geser sebesar 813,1 kN girder tanpa menggunakan bahan *fiber reinforced polymer* (FRP).
3. Gaya geser maksimum yang dapat diterima elemen girder sebesar 813,1 kN sedangkan gaya geser yang terjadi sebesar 932.72 kN maka dari itu perlu dilakukan perkuatan pada elemen girder dengan *fiber reinforced polymer*.
4. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk perkuatan elemen girder dengan bahan fiber reinforced polymer (FRP), didapatkan nilai kuat geser kontribusi dari FRP sebesar 762.1 kN, kuat geser penampang eksisting sebesar 813,1 kN dan kuat geser nominal setelah pemasangan FRP naik menjadi sebesar 1266.5 kN. Dengan demikian kuat geser nominal penampang yang telah dipasang FRP mampu menahan gaya geser ultimit yang terjadi.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran berdasarkan hasil pemeriksaan dan analisa struktur pada Tugas Akhir ini untuk selanjutnya yaitu :

1. Penggunaan jenis FRP dapat disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan dan ketersediaan bahan yang ada.
2. Pada saat pelaksanaan pemasangan FRP harus dilaksanakan dengan baik dan diawasi oleh tenaga ahli/professional yang kompeten agar hasilnya sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- RSNI T-12-2004 Jembatan Beton
- SNI 1725-2016 Pembebanan Jembatan
- SNI 8971-2021 Panduan Perencanaan dan Pelaksanaan FRP
- SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Untuk Struktural
- Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2011
- Dokumentasi Hasil Survei Jembatan