

**ANALISIS PERHITUNGAN STRUKTUR PADA *BOX*
CULVERT JALAN KERETA API
(STUDI KASUS BH 41 LINTAS MEDAN-BINJAI)**

SKRIPSI

OLEH:

**MUHAMMAD ODI LESMANA
178110132**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 26/3/24

Access From (repository.uma.ac.id)26/3/24

**ANALISIS PERHITUNGAN STRUKTUR PADA *BOX*
CULVERT JALAN KERETA API
(STUDI KASUS BH 41 LINTAS MEDAN-BINJAI)**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam
Ujian Sidang Sarjana Teknik Sipil Strata Satu
Universitas Medan Area





**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Perhitungan Struktur Pada *Box Culvert* Jalan Kereta
Api BH 41 Lintas Medan-Binjai.
Nama : Muhammad Odi Lesmana
NPM : 178110132
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh :
Komisi Pembimbing


Hermansyah, S.T. M.T
Pembimbing I


Denny Meisandy Hutahuruk, S.T. M.T
Pembimbing II

Mengetahui


Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom
Dekan


Tika Ernita, S.T.M.T
Kor. Ka. Program Studi

Tanggal Lulus: 09 Agustus 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, 09 Agustus 2023



Muhammad Odi Lesmana
178110132

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Odi Lesmana
NPM : 178110132
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Perhitungan Struktur Pada *Box Culvert* Jalan Kereta Api BH 41 Lintas Medan-Binjai. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 09 Agustus 2023
Yang menyatakan

(Muhammad Odi Lesmana)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Binjai Pada tanggal 09 Februari 1999 dari Ayah Bambang Siswoyo dan Ibu Rusfa Diana Lubis. Penulis merupakan anak ke 3 dari 3 bersaudara. Tahun 2017 Penulis lulus dari SMA N 5 Binjai dan pada tahun 2017 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2020 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Satuan Polisi Pamong Praja Provinsi Sumatera Utara.



KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Struktur dengan judul Analisis Perhitungan Struktur Pada *Box Culvert* Jalan Kereta Api BH 41 Lintas Medan-Binjai. Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Hermansyah, S.T. M.T dan Denny Meisandy Hutahuruk, S.T. M.T, selaku dosen pembimbing dan ibu Tika Ermita Wulandari, S.T. M.T, selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman-teman yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih

Penulis

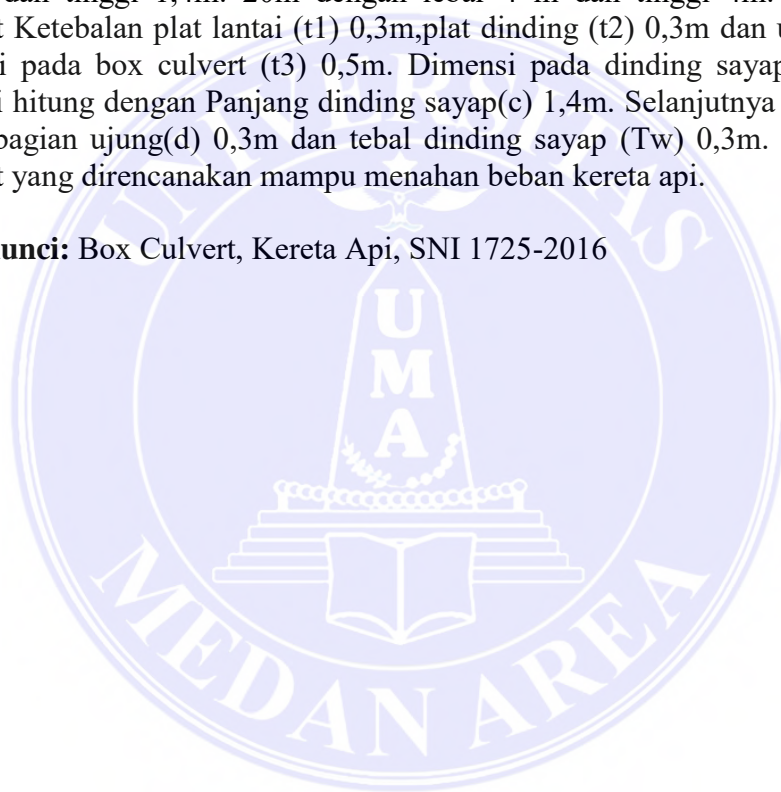
Muhammad Odi Lesmana



ABSTRAK

Box Culvert merupakan suatu saluran air tertutup yang dapat meminimalisir masuknya sampah didalam saluran tersebut sehingga aliran air tidak terganggu dan umumnya saluran ini berada di bawah tanah atau jalan raya. Pada perhitungan struktur Box Culvert digunakan teori tekanan tanah lateral dari Coulomb dan Rankine untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada Box Culvert. Untuk struktur Box Culvert digunakan program SAP2000 untuk menghitung gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur Box Culvert akibat dari beban tanah pada struktur tersebut. Hasil dari perencanaan Box Culvert diperoleh yaitu dimensi Peraturan yang digunakan dalam perencanaan struktur Box Culvert adalah Pembebanan jembatan mengaju pada SNI 1725-2016, sedangkan beban gempa yang digunakan adalah SNI 2833:201. Box Culvert sepanjang 6,2m dengan lebar 2,3 m dan tinggi 1,4m. 20m dengan lebar 4 m dan tinggi 4m. Dimensi Box Culvert Ketebalan plat lantai (t1) 0,3m, plat dinding (t2) 0,3m dan untuk plat pondasi pada box culvert (t3) 0,5m. Dimensi pada dinding sayap Box Culvert yang di hitung dengan Panjang dinding sayap(c) 1,4m. Selanjutnya tinggi dinding sayap bagian ujung(d) 0,3m dan tebal dinding sayap (Tw) 0,3m. Sehingga Box Culvert yang direncanakan mampu menahan beban kereta api.

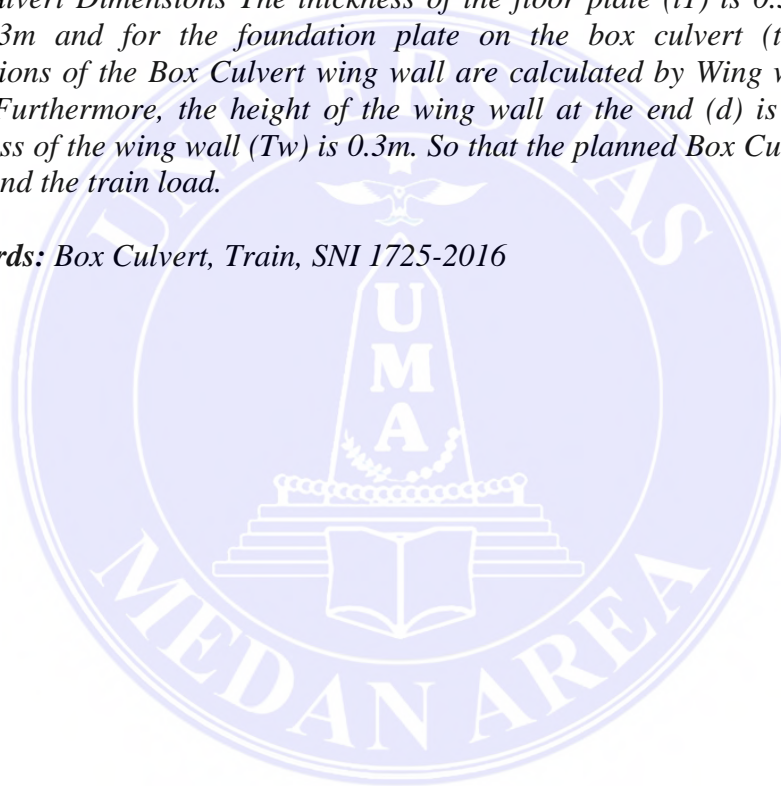
Kata kunci: Box Culvert, Kereta Api, SNI 1725-2016



ABSTRACT

Box Culvert is a closed water channel that can minimize the entry of rubbish into the channel so that the water flow is not disturbed and generally this channel is underground or on a highway. In calculating the Box Culvert structure, the lateral earth pressure theory of Coulomb and Rankine is used to calculate the earth pressure acting on the Box Culvert. For the Box Culvert structure, the SAP2000 program is used to calculate the internal forces acting on the Box Culvert structure as a result of the soil load on the structure. The results of the Box Culvert planning obtained are the dimensions of the regulations used in the design of the Box Culvert structure. Bridge loading refers to SNI 1725-2016, while the earthquake load used is SNI 2833:201. Box Culvert is 6.2m long with a width of 2.3m and a height of 1.4m. 20m with a width of 4 m and a height of 4m. Box Culvert Dimensions The thickness of the floor plate (t_1) is 0.3m, wall plate (t_2) 0.3m and for the foundation plate on the box culvert (t_3) 0.5m. The dimensions of the Box Culvert wing wall are calculated by Wing wall length (c) 1.4m. Furthermore, the height of the wing wall at the end (d) is 0.3m and the thickness of the wing wall (T_w) is 0.3m. So that the planned Box Culvert is able to withstand the train load.

Keywords: Box Culvert, Train, SNI 1725-2016



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGHANTAR	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.2.1. Maksud	2
1.2.2. Tujuan.....	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Review Penelitian Terdahulu	4
2.2. <i>Box Culvert</i>	8
2.2.1. Fungsi <i>Box Culvert</i>	9
2.2.2. Jenis-jenis <i>Box Culvert</i>	9
2.2.3. Manfaat <i>Box Culvert</i>	11
2.3. Teori Tekanan Tanah Aktif.....	11
2.4. Model Tanah.....	13
2.5. Air	15
2.6. Tulangan Baja.....	17
2.7. Beton	18
2.7.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton.....	19
2.7.2. Sifat Beton.....	20
2.8. Kuat Tekan Beton.....	20
2.9. Kuat Tekan Mutu Tinggi.....	22
2.10. Kuat Tekan Mutu Ringan	25
2.11. Standart Mutu Indonesia	26
2.12. Metode Pelaksanaan <i>Box Culvert</i>	28
2.12.1 Beton Pracetak (<i>Precast Concrete</i>).....	29
2.12.2. Beton Cetak Di Lokasi (<i>Case in situ Concrete</i>) ..	30
2.13. Analisa Pembebanan Struktur Beton <i>Box Culvert</i>	32
2.14. Keuntungan Menggunakan <i>cast in situ</i> pada <i>Box Culvert</i> ..	33

2.15.	Kekurangan Menggunakan <i>cast in situ</i> pada Box Culvert...	33
2.16.	Kereta Api	34
2.17.	Beban dan Gaya Pada Rel Kereta Api.....	34
2.18.	Pola Distribusi Gaya Pada Struktur Jalan Rel.....	36
2.19.	Pembebanan Pada Konstruksi Box Culvert.....	37
2.20.	Persyaratan Teknis Jembatan Kereta Api.....	42
2.20.1.	Kelas Jalan Rel.....	44
2.20.2.	Ruang Bebas	45
2.20.3.	Bantalan	46
2.20.4.	rel	47
BAB III.	METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1.	Jenis Penelitian	49
3.2.	Tempat Penelitian.....	50
3.3.	Jenis dan Sumber Data	50
3.3.1.	Data Primer	50
3.3.2.	Data Sekunder	50
3.3.3.	Sumber Data	51
3.4.	Teknik Pengumpulan Data	51
3.5.	Tahapan Penelitian	51
3.6.	Bagan Alir Penelitian	53
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1.	Hasil Penelitian.....	54
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1.	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		xiv
LAMPIRAN.....		xv

DAFTAR TABEL

Table 1. Dimensi Konstruksi box culvert type single	29
Table 2. Berat Jenis Bahan.....	40
Table 3. Jenis Satuan Bahan.....	40
Table 4. Tipe jembatan baja	43
Table 5. Lebar jalan rel 1067	46
Table 6. Jarak ruang bangun	47
Table 7. Data mutu beton box culvert (Sumber : PT. ARTEK UTAMA E.C).....	56
Table 8. Data mutu baja box culvert (Sumber : PT. ARTEK UTAMA E.C).....	56
Table 9. Data berat jenis pada box culvert.....	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gaya yang bekerja pada rel (Struktur Jalan Rel, 2022).....	36
Gambar 2. Lokasi Penelitian (PT. Karya Alriz Utama)	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Lapangan69



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan tata guna lahan menjadi kawasan pemukiman maupun pusat kegiatan manusia menyebabkan air tidak bisa meresap dengan maksimal ke dalam tanah sehingga sebagian besar akan melimpas. Karena hal tersebut saluran drainase harus dirancang sedemikian rupa sehingga air yang melimpas tersebut tidak menjadikan masalah seperti banjir.

Perkembangan pembangunan yang sangat pesat itu baik di kota maupun di daerah pedesaan, khusus untuk infrastruktur jalan, perkembangannya sangat pesat, sehingga banyak jalan yang melintasi saluran –saluran air, tak terkecuali lintasan kereta api. Juga sudah ada yang melintas diatas saluran air. Kereta adalah transportasi yang memiliki karakteristik dan keunggulan khusus untuk mengangkut penumpang dan barang secara besar-besaran.

Box culvert adalah gorong-gorong persegi beton bertulang terbuat dari beton dengan penulangan ulir fabrikasi sebagai penambah kekuatan beban, sehingga dapat dilewati di bagian atasnya. Hal lain yang harus diperhatikan pada bangunan box culvert adalah beban-beban yang bekerja, karena *Box Culvert* ini berada dibawah lintasan kereta api maka beban yang di perhitungkan berupa beban roda kereta. Kekuatan bangunan *box culvert* sangat menentukan kemampuan didalam memikul atau menahan beban yang ditimbulkan baik oleh kereta api, ataupun akibat beban gempa.

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang memungkinkan rute

transportasi melalui sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai saluran irigasi dan pembuang.

Karena *Box Culvert* ini berada dibawah lintasan kereta api maka beban yang di perhitungkan berupa beban roda kereta.Kekuatan bangunan *box culvert* sangat menentukan kemampuan didalam memikul atau menahan beban yang ditimbulkan baik oleh kereta api, ataupun akibat beban gempa.pengerjaan ada 2 tempat yaitu BH 14 dan BH 41 Medan -Binjai.Oleh karena itu penulis meninjau 1 tempat yaitu BH 41 sebagai tempat tinjauannya.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.2.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah melakukan analisis struktur pada *Box Culvert* jalan kereta api BH 41 Lintas Medan-Binjai.

1.2.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yaitu menghitung struktur pada *box culvert* dan gaya yang bekerja pada *box culvert* jalan kereta api BH 41 lintas Medan-Binjai.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menghitung struktur *box culvert* agar beroperasi dengan baik untuk gaya dan beban yang terjadi?

2. Gaya apa saja yang ada di struktur box cuvert?

1.4 Batasan Masalah

1. Menghitung struktur pada *box culvert* jalan kereta api lintas Medan-Binjai.
2. Mengetahui beban dan gaya yang bekerja pada *box culvert*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat dalam pendidikan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis

Secara teoritis hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat yaitu:

- a) Memberikan sumbangan pemikiran bagi pembaharuan kurikulum di Program Studi Teknik Sipil UMA yang terus berkembang sesuai dengan tuntutan masyarakat dan sesuai dengan kebutuhan perkembangan pengetahuan.
- b) Memberikan sumbangan ilmiah dalam bidang ilmu Teknik Sipil, yaitu membuat inovasi penggunaan metode dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

2. Manfaat praktis

Secara praktis penelitian ini dapat bermanfaat sebagai berikut:

- a) Bagi penulis dapat menambah wawasan dan pengalaman langsung tentang analisis struktur pada box cuvert jalan kereta api.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka bertujuan untuk mengetahui kerangka teori dan konsep dasar metode pemecahan masalah. Tujuannya adalah untuk memberikan landasan teori berupa asumsi dasar, rumus, dan teori yang berkaitan dengan topik masalah.

2.1 Review Penelitian Terdahulu

Sebelum melaksanakan penelitian tentang Analisis struktur pada *box culvert* Kereta Api Medan-Binjai. Maka, peneliti terlebih dahulu melakukan studi literatur. Adapun studi literatur yang dilakukan oleh peneliti merupakan tinjauan terhadap peneliti terdahulu yang saling berhubungan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Di bawah ini adalah beberapa penelitian serupa dan terkait yang peneliti gunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian :

Menurut Hutomo Putra (2018), dengan judul “Perencanaan pembangunan *box culvert* pada citra land baru dengan aplikasi STAAD Pro” Berpendapat bahwa Dalam perencanaan pembangunan struktur diperlukan efisiensi waktu yang tepat dan hasil yang akurat dari sebuah perhitungan perencanaan struktur oleh karena itu pada penelitian ini penulis menggunakan sebuah aplikasi perhitungan struktur yaitu STAAD Pro. *Box Culvert* merupakan suatu saluran air tertutup yang dapat meminimalisir masuknya sampah didalam saluran tersebut sehingga aliran air tidak terganggu dan umumnya saluran ini berada di bawah tanah atau jalan raya. Pada perhitungan struktur *Box Culvert* digunakan teori tekanan tanah lateral dari Coulomb dan Rankine untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada *Box*

Culvert. Untuk struktur *Box Culvert* digunakan program STAAD Pro untuk menghitung gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur *Box Culvert* akibat dari beban tanah pada struktur tersebut. Pada penelitian ini penulis menggunakan SNI 03-2847- 2002 Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung. Hasil dari perencanaan *Box Culvert* diperoleh yaitu dimensi *Box Culvert* sepanjang 20m dengan lebar 4 m dan tinggi 4m. Ukuran kolom yang digunakan 50cm x 50 cm dengan balok 40cm x 30 cm dan tebal plat 50cm. dengan menggunakan kuat tekan beton 17 Mpa dan tegangan leleh baja untuk tulangan lebih besar dari 12mm sebesar 320 Mpa dan untuk tulangan lebih kecil dari 12 mm sebesar 240 Mpa. Sehingga *Box Culvert* yang direncanakan mampu menahan beban yang bekerja seperti beban Gempa Statik, beban perumahan, beban akibat tekanan tanah dan beban kendaraan berupa Truk yang akan melewati *Box Culvert*.

Zain Patolongan (2020) dengan judul “Kapasitas lentur *box culvert* lintasan kereta api tipe 2000 x 2000 x 1000” Berpendapat bahwa Kereta api Trans-Sulawesi merupakan sistem perkeretaapian yang dibangun untuk menjangkau wilayah-wilayah penting di pulau Sulawesi. Dalam pembangunan jalur kereta api ruas Makassar-Parepare segmen II antara Barru-Palanro sepanjang 45 km akan banyak dibangun bangunan pelengkap, salah satunya adalah 26 unit underpass / *box culvert*. Dipilihnya gorong-gorong kotak ini karena kawasan antara Makassar hingga Pare-pare sering terjadi banjir yang dapat membuat jalur kereta api akan terganggu. Selain itu, gorong-gorong kotak juga berfungsi sebagai bangunan penyeberangan. Makalah ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas tekuk *box culvert* di bawah rel kereta api. Benda uji beton pracetak gorong-gorong dua kotak dengan dimensi 2000 mm x 2000 mm x 1000 mm dengan tebal dinding

250 mm, dan diberi beban statis monotonik. Hasil uji tekuk diperoleh beban retak awal 102 kN dan 119,7 kN pada spesimen BC-1 dan BC-2. Beban retak awal ini lebih besar dari pada beban retak rancangan (Pcrack) yaitu 76,8 kN. Pembebanan dihentikan pada beban 420 kN meskipun spesimen belum mencapai beban ultimit, karena keterbatasan alat. Namun demikian, beban maksimum yang dicapai kedua spesimen tersebut melebihi beban ultimit rencana (Pult) sebesar 227,2 kN.

Vina Fadila (2020) dengan judul “Analisis Getaran Pada Bantalan Rel Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Jalan Rel” Berpendapat bahwa dalam mendesain infrastruktur kereta api dirancang secara khusus dengan mempertimbangkan beban kereta api yang sangat besar dan kecepatan tinggi yang dimilikinya. Beban kereta api yang melintas rel dapat menyebabkan getaran pada struktur jalan rel tersebut. Getaran yang disebabkan oleh kereta api akan berdampak pada kerusakan bangunan sekitar rel, kelongsoran tanah pada lokasi timbunan dan kondisi tanah di bawah konstruksi rel. Berkembangnya teknologi transportasi menyebabkan peningkatan kecepatan kendaraan dan kendaraan berat telah menghasilkan getaran yang lebih tinggi (Shih, 2018). Dari getaran tanah akibat beban kereta api yang melintas akan didapat dampak yang ditimbulkan terhadap struktur jalan rel yang dilewati kereta api. Untuk mengetahui besarnya getaran yang ditimbulkan, pada penelitian ini di gunakan dua alat yaitu accelerometer dan seismic monitoring. Kedua sensor tersebut diletakkan di bantalan pada saat yang sama untuk hasil yang lebih optimal. Data yang telah didapat selanjutnya akan diolah menggunakan software Geopsy dengan menggunakan standar metode HSVR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudo. Penelitian ini dilakukan di KM 3 +

4/5 dan Stasiun Jerakah (KM 5 + 8/9) untuk mendapat kecepatan kereta yang berbeda pada tiap lokasi. Kereta api yang melintasi kedua lokasi terdiri dari kereta barang dan kereta penumpang dengan kecepatan sebesar 59-94 km/jam dengan nilai percepatan 0,566-1,27 m/s² untuk arah X, 0,4-1,34 m/s² untuk arah Y, 0,86-1,27 m/s² untuk arah Z. Nilai percepatan yang didapat dari accelerometer lebih tinggi dari seismic monitoring. Tegangan maksimal di bawah bantalan yang terjadi sebesar 5,357 kg/cm². Frekuensi getaran pada bantalan yang terjadi sebesar 8,5-19,2 Hz. Gaya getaran yang dihasilkan sebesar 8,5-19,1 kN. Besarnya frekuensi dan gaya getaran akan bertambah saat percepatan getaran lebih besar. didapatkan frekuensi natural sebesar 0,9 Hz -1,99 Hz di KM 5+8/9 dan 0,8 Hz – 15,9 Hz di KM 3+4/5 dengan nilai amplitude tertinggi 1888,9. Besarnya frekuensi natural bergantung pada percepatan getaran dimana semakin besar percepatan getaran maka frekuensi natural akan semakin meningkat. Dari nilai frekuensi natural didapat jenis tanah pada KM 3+4/5 adalah tanah lumpur, sedangkan di KM 5+8/9 adalah batuan keras.

Rahmad Adinta (2015) dengan judul “Manajemen Proyek Pembangunan *Box Culvert* Saluran Drainase Primer Gunungsari Kota Surabaya P.104+00- P.108+35” Berpendapat bahwa Kawasan Banyuurip memiliki saluran drainase primer yang debit airnya relatif besar. Ketidakteraturan saluran membuat daerah ini rawan terjadinya banjir pada saat musim hujan. Banjir ini akan berdampak pada permukiman masyarakat sekitar dan juga pada lalu lintas di kawasan saluran tersebut. Tanpa banjirpun lalu lintas dikawasan Banyuurip dikenal padat, karena didaerah ini dilalui kendaraan berkapasitas besar yang tidak didukung dengan lebar jalan yang memadai. Untuk mengatasi permasalahan yang ada di saluran

Gunung Sari, Pemerintah Kota Surabaya memberikan solusi dengan membangun *Box Culvert* pada saluran Gunung Sari. *Box Culvert* dapat mengakomodasi debit saluran yang besar sesuai dimensinya dan juga *Box Culvert* dapat dilalui lalu lintas kendaraan di atasnya. Manfaat dari proyek ini adalah untuk memperbaiki saluran Gunung Sari agar mampu menampung debit air yang mengalir. Juga untuk mengakomodir padatnya lalu lintas di daerah Banyuwangi. Dari proyek ini kami mengambil Proyek Akhir Terapan tentang bagaimana cara perhitungan anggaran biaya, perhitungan durasi, menyusun jadwal pekerjaan, metode pelaksanaan di lapangan. Sehingga didapat hasil akhir berupa anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan proyek, durasi pekerjaan, sumber daya yang dibutuhkan.

2.2 *Box Culvert*

Box culvert merupakan jenis jembatan bentang pendek yang sering digunakan untuk melewati saluran air atau sungai dengan aliran kecil. Pada umumnya box culvert dapat terbuat dari beton cor atau bertulang pracetak. Jenis struktur ini memiliki kemudahan pelaksanaan sehingga menjadi solusi ekonomis untuk jembatan bentang pendek.

Untuk itu *box culvert* memiliki struktur hidrolis yang terdiri dari dua pelat horizontal dan dua vertikal yang dibangun secara monolitik yang cocok untuk perlintasan jalan atau jembatan kereta api dengan tanggul tinggi yang melintasi sungai dengan aliran terbatas.

Adapun fungsi dan beberapa jenis *box culvert* yang akan peneliti sampaikan pada skripsi ini agar lebih memahami apa itu *box culvert*. Jadi ini beberapa fungsi dan jenis *box culvert*.

2.2.1 Fungsi Box Culvert

Fungsi *Box culvert* secara umum dan biasa digunakan pada kepentingan pembuatan gorong-gorong instan, dan tidak sedikit yang menggunakan *box culvert* ini untuk kepentingan jembatan.

Box culvert menjadi salah satu material utama dalam instalasi pembangunan saluran air. Contohnya adalah drainase atau gorong-gorong di perkotaan. Contoh lainnya adalah untuk saluran pembuangan limbah.

Struktur *box culvert* yang ingin saya analisis itu merupakan *box culvert* yang berfungsi sebagai jembatan pada lintasan kereta api Medan-Binjai. Jadi ada beberapa beban yang akan terjadi pada *box culvert* tersebut seperti beban sendiri hingga beban hidup yang akan terjadi.

2.2.2 Jenis-jenis Box Culvert

Box culvert untuk saluran pembuang saniter / drainase. *Box culvert* jenis ini adalah perangkat yang berupa saluran yang didalamnya mengalir limbah saniter ataupun limbah air kotor yang di salurkan ke sungai terdekat. Dalam merancang *Box culvert* ini hal yang sangat diperhatikan adalah topografi setempat untuk mendapatkan kemiringan optimum sehingga jalannya limbah tidak tersendat. Ini sangat membantu untuk pengaliran pada kota yang termasuk pada curah hujan yang ekstrem. Untuk menghindari genangan air pada daerah tersebut. Untuk kota medan yang menjadi tempat tinggal saya sedang melakukan pembangunan drainase menggunakan *box culvert* agar lebih efisien dalam fungsinya.

Box Culvert untuk Terowongan Utilitas. *Box Culvert* Jenis ini fungsinya untuk melindungi berbagai macam utilitas, seperti utilitas saluran air bersih, utilitas kabel PLN, utilitas kabel Telepon dan utilitas kabel Telkom. *Box Culvert* jenis ini biasanya terletak di bawah tanah dan fungsinya untuk melindungi berbagai utilitas tersebut, sehingga pada umumnya *Box Culvert* jenis ini berukuran kecil dan menggunakan *Box Culvert* precast. *Box Culvert* jenis ini harus memiliki ketahanan yang baik terhadap air, serangan binatang pengerat.

Box Culvert Cekungan Penangkap Air. *Box Culvert* jenis ini biasanya digunakan sebagai perangkat untuk menyalurkan air yang mengalirkan air untuk melewati sebuah jalan raya, jalan kereta api atau bendungan. Sehingga bagian atasnya sering dimanfaatkan sebagai jembatan atau jalan raya.

Box Culvert untuk Lorong Bawah Tanah (akses lalu lintas). *Box Culvert* yang digunakan sebagai akses lalu lintas adalah lorong yang fungsinya menghubungkan jalan lama yang telah dibuat namun jalan tersebut terhalang oleh struktur lainnya yang berada di atas jalan tersebut, biasanya status jalan tersebut adalah jalan kolektor yang dilalui kendaraan dengan jumlah yang besar, selain sebagai penghubung *box culvert* juga sebagai jalur alternatif untuk mengurangi kemacetan. *Box culvert* dapat juga digunakan sebagai Jembatan. Produk ini dirancang dan digunakan untuk segala jenis pembebanan, baik beban berat maupun ringan. *Box Culvert* ini terdiri dari 2 komponen yaitu Top component dan Bottom component .

2.2.3 Manfaat Box Culvert

Dari banyaknya penggunaan *box culvert* dalam dunia konstruksi beberapa manfaat dari *box culvert* diantaranya adalah

1. Mengaplikasikan *box culvert* bisa ditempatkan pada area bawah tanah, biasanya untuk saluran air, akan tetapi *box culvert* tidak tepat digunakan pada jembatan panjang karena ukuran *box culvert* yang pendek.
2. *Box culvert* beresiko rendah dalam mengalami pergeseran tanah, hal ini disebabkan karena sambungan antara spigot dan soket yang dimiliki mengakibatkan *box culvert* menyatu dengan sempurna.
3. Penggunaan *box culvert* dapat membantu pekerjaan konstruksi lebih mudah dan efisien dibanding dengan penggunaan cor blok manual sehingga dapat menghemat waktu dalam pelaksanaan konstruksi.
4. Lebih praktis dalam menggunakan *box culvert* tanap ribet dan tidak memakan banyak waktu dalam proses pengerjaan struktur *box culvert*.

2.3 Teori Tekanan Tanah Aktif

Seperti terlihat pada gambar, apabila dinding penahan bergerak mendatar dalam arah menjauh dari tanah irisan di bagian belakang, maka tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan akan berkurang perlahan-lahan sampai mencapai suatu arga tetap. Dengan gerakan lebih lanjut maka tanah irisan itu akan runtuh. Sebaliknya, apabila dinding penahan tanah digerakan kearah tanah irisan di bagian belakan, maka tekanan tanah akan meningkat perlahan-lahan sampai

mencapai suatu harga tetap. Tekanan–tekanan tanah ini mempunyai harga tetap, masing–masing disebut tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif.

Tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif yang pada prakteknya bekerja pada suatu dinding seperti terlihat pada gambar biasanya adalah tekanan tanah statis dan mempunyai nilai tengah antara kedua tekanan di atas. Harga tekanan tanah statis berubah menurut kedudukan dinding penahan tanah seperti diperlihatkan pada gambar yaitu, menurut perubahan tanah isian di bagian belakang. Dalam merancang struktur–struktur kadangkala diperlukan perhitungan tekanan tanah yang bekerja pada struktur. Pada kenyataannya amatlah sulit menentukan perubahan yang disebabkan oleh isian tanah di bagian belakang, akibatnya tekanan tanah statis yang berhubungan dengan perubahan tidak dapat ditentukan dengan jelas, sehingga tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif yang telah disebutkan sebelumnya biasanya lebih sering dipakai untuk perencanaan praktis. Tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif, seperti dijelaskan gambar adalah tekanan tanah dalam keadaan batas dimana tanah isian di bagian belakang akan mulai runtuh menggelincir karena berat sendiri, atau keruntuhan gelincir/geser mulai terjadi karena gaya dari dinding. Dasar perhitungan di atas diberikan oleh Coulomb dan Rankine. Coulomb memperkenalkan sebuah rumus tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan tanah dengan menganalisa keadaan seimbang gaya apabila massa tanah berbentuk segitiga di belakang dinding akan mulai menggelincir. Gaya yang bekerja pada massa tanah berbentuk segitiga di antara permukaan dinding OA dan permukaan gelincir OB di belakang dinding seperti terlihat pada gambar adalah berat sendiri, reaksi dari permukaan dinding dan permukaan gelincir. Dengan menganggap adanya keseimbangan gaya–gaya ini,

reaksi dari permukaan dinding, yaitu gaya resultan tekanan tanah, dengan menggunakan tanda-tanda dalam gambar, adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin(\beta - \phi + \psi)} * W - \frac{\cos \phi}{\sin(\beta - \phi + \psi)} * C$$

Dari harga-harga P dengan berbagai kemiringan permukaan gelincir, harga yang maksimum adalah tekanan tanah aktif yang bekerja pada dinding. Apabila permukaan tanah adalah mendatar, β sama dengan θ dan δ sama dengan nol, maka tekanan tanah Coulomb diberikan oleh persamaan berikut Tekanan Tanah Aktif:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 * \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) - 2c * H * \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

2.4 Model Tanah

Rel kereta api mengalami defleksi rel yang tinggi ketika tanah pendukungnya lunak dan/atau kecepatan kereta api lebih besar dari sekitar 50% kecepatan rambat gelombang dalam sistem tanah rel (yaitu kecepatan kritis). Getaran seperti itu tidak diinginkan, sehingga penggantian tanah atau perbaikan tanah pada tanah alami (atau sebagai alternatif perawatan tiang pancang mini atau semen kapur) sering digunakan untuk meningkatkan kekakuan permukaan lintasan sebelum konstruksi jalur. Meskipun area tanah dasar lunak yang ada mungkin mudah diidentifikasi pada jalur kereta api baru yang potensial, menentukan jenis dan kedalaman remediasi tanah yang diperlukan merupakan

tantangan. Oleh karena itu, penghematan biaya yang besar dapat dilakukan dengan mengoptimalkan strategi penggantian/perbaikan tanah.

Makalah ini menyajikan model kereta api numerik, yang dirancang untuk analisis dinamis getaran jalur kereta api yang disebabkan oleh jalur kereta api kecepatan tinggi. Model ini mensimulasikan tanah menggunakan formulasi elemen hingga lapisan tipis yang mampu menghitung tegangan dan regangan 3D di dalam tanah selama lintasan kendaraan kereta api. Jalur kereta api dimodelkan menggunakan formulasi berlapis-lapis yang memungkinkan perambatan gelombang dalam arah memanjang, dan digabungkan dengan model tanah dalam domain frekuensi-bilangan gelombang. Model ini divalidasi menggunakan kombinasi data eksperimental lapangan kereta api, data numerik yang dipublikasikan, dan paket elemen hingga komersial. Hal ini terbukti memprediksi perilaku lintasan dan permukaan tanah secara akurat untuk berbagai kecepatan kereta.

Model simulasi perkeretaapian efisien secara komputasi dan mampu dengan cepat menilai respons tanah yang dinamis dan berlapis-lapis dengan adanya struktur jalur pemberat dan pelat. Oleh karena itu, sangat cocok untuk menganalisis pengaruh berbagai strategi penggantian tanah terhadap perilaku dinamis lintasan, yang khususnya penting ketika mendekati kecepatan kritis. Untuk menunjukkan hal ini, tiga contoh tanah-tanggul digunakan untuk membandingkan pengaruh berbagai kombinasi peningkatan kekakuan (besarnya kekakuan dan kedalaman remediasi hingga 5 m) terhadap perilaku lintasan. Ditemukan bahwa strategi perbaikan harus dipilih secara hati-hati tergantung pada jenis lintasan dan konfigurasi lapisan tanah dasar yang

ada. Dalam keadaan tertentu, perbaikan tanah dapat mempunyai dampak yang dapat diabaikan, atau bahkan mungkin mengakibatkan peningkatan getaran lintasan, yang dapat meningkatkan penurunan tanah dalam jangka panjang. Namun manfaat yang besar dapat diperoleh, dan jika analisis terperinci dilakukan, kedalaman perbaikan tanah dapat diminimalkan sehubungan dengan biaya konstruksi.

2.5 Air

Dalam pembuatan beton, air memiliki peran yang sangat penting. Air digunakan untuk bereaksi secara kimiawi dengan semen. Air dipergunakan pada pembuatan batako agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dimaksud adalah air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan, harus berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas batako. Persyaratan dari air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan adalah air untuk pembuatan dan perawatan batako tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat menyebabkan penurunan kualitas batako yang dihasilkan dan juga akan mengubah sifat-sifat batako yang dibuat.

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang mengandung senyawa berbahaya yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya. Apabila air yang mengandung senyawa berbahaya dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat

beton yang dihasilkan.

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang ditinjau, tetapi hanya perbandingan antara air dengan semen saja atau biasa disebut faktor air semen (water cement ratio). Pujiyanto (2010) menyatakan, pada beton mutu tinggi, pengertian faktor air semen bisa diartikan sebagai water to cementitious ratio, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif cementitious, yang umumnya ditambahkan pada campuran batako mutu tinggi. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang sedikit akan menyebabkan proses hidrasi seluruhnya tidak akan tercapai. Kekuatan dan kemudahan pengerjaan (workability) campuran batako sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai. Untuk suatu perbandingan campuran batako tertentu diperlukan jumlah air yang tertentu pula. Jumlah air yang berlebihan akan mengakibatkan kekuatan batako berkurang. Disini tidak dipakai patokan angka karena nilai faktor air semen sangat tergantung dengan campuran penyusunnya. Nilai faktor air semen diasumsikan berkisar antara 0,3 sampai 0,6 atau disesuaikan dengan kondisi adukan agar mudah dikerjakan.

Air yang umumnya dapat digunakan untuk beton adalah air yang dapat diminum (Tri Mulyono, 2003). Tetapi tidak semua air dapat memenuhi syarat tersebut karena 20 mengandung berbagai macam unsur yang dapat merugikan. SK SNI S-04-1989-F mensyaratkan air yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan sebagai berikut:

1. Air harus bersih.

2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak mengandung benda-benda yang tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak paving blok (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 ppm sebagai SO₃.
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan bata beton yang memakai air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan bata beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.
7. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut diatas tidak boleh mengandung klorida lebih dari 500 ppm.

2.6 Tulangan Baja

Dikenal ketika dipadatkan sebagai baja tulangan adalah batang baja yang berbentuk menyerupai jala baja yang digunakan sebagai alat penekan pada beton bertulang dan struktur batu bertulang untuk memperkuat dan membantu beton di bawah tekanan. Beton menjadi kuat di bawah kompresi, tetapi memiliki kekuatan tarik yang lemah. Besi beton secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik struktur. Permukaan besi beton sering berubah bentuk untuk memposisikan ikatan yang lebih baik dengan beton.

Besi beton di Indonesia dikelompokkan kedalam 2 jenis, yaitu baja tulangan polos dengan pengkodean BjTP dan baja tulangan sirip dengan pengkodean BjTS. Sebelumnya, standarisasi baja tulangan beton untuk industri baja Indonesia diatur dalam SII 138-1984 tentang Mutu dan Cara Uji Baja Tulangan Beton. Pada tahun 2002, dilakukan beberapa revisi dan diubah menjadi SNI 07-2052-2002 mengenai Baja Tulangan Beton. Standarisasi ini merujuk pada referensi yang diambil dari besi baja berstandar Jepang atau JIS (*Japanese Industrial Standards*). Badan Standarisasi Nasional (BSN) adalah lembaga yang bertanggungjawab dalam pembuatan standarisasi tersebut. Oleh sebab itu, besi beton yang memenuhi standarisasi tersebut disebut sebagai besi beton SNI.

Angka yang terdapat pada kode tulangan menyatakan batas kuat leleh/ulur. Baja beton BJTP 24 dipasok sebagai baja beton polos dengan batas ulur 24 kg/mm², sedangkan baja beton BJTD 40 adalah tulangan beton dengan kuat leleh 40 Kn/cm².

2.7 Beton

Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air.

Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi

semen berhidrasi, mengrekatkan komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti-batu. Beton digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, fondasi, jalan, jembatan penyeberangan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok blok. Nama lama untuk beton adalah batu cair.

Dalam perkembangannya banyak ditemukan beton baru hasil modifikasi, seperti beton ringan, beton semprot (eng: shotcrete), beton fiber, beton berkekuatan tinggi, beton berkekuatan sangat tinggi, beton mampat sendiri (eng: self compacted concrete) dll. Saat ini beton merupakan bahan bangunan yang paling banyak dipakai di dunia.

2.7.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Kelebihan beton adalah dapat mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Selain itu pula beton juga memiliki kekuatan mumpuni, tahan terhadap temperatur yang tinggi dan biaya pemeliharaan yang murah.

Sedang kekurangannya adalah bentuk yang telah dibuat sulit diubah tanpa kerusakan. Pada struktur beton, jika ingin dilakukan penghancuran maka akan mahal karena tidak dapat dipakai lagi. Beda dengan struktur baja yang tetap bernilai. Berat, dibandingkan dengan kekuatannya dan daya pantul yang besar.

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun lemah dalam tariknya. Jika struktur itu langsung dan tidak diberi perkuatan yang cukup akan mudah gagal. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tariknya sekitar 9%-5% kuat tekannya. Maka dari itu perkuatan sangat diperlukan dalam struktur beton. Perkuatan yang umum

adalah dengan menggunakan tulang baja yang jika dipadukan sering disebut dengan beton bertulang.

2.7.2 Sifat beton

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah. Untuk kuat tekan, di Indonesia sering digunakan satuan kg/cm^2 dengan simbol K untuk benda uji kubus dan f_c untuk benda uji silinder. Kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Jenis dan lekak lekul bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat tekan dan kuat tarik lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai.
2. Perawatan. Kehilangan kekuatan sampai dengan sekitar 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.
3. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.

4. Umur. Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.
5. Jenis dan kualitas semen.

2.8 Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990 pengertian kuat tekan beton artinya besarnya beban per satuan luas, yang mengakibatkan benda uji beton hancur Bila dibebani menggunakan gaya tekan tertentu (eksklusif), yg dihasilkan oleh mesin tekan. Jadi dalam proses pengujiannya, benda yg berasal dari beton akan ditekan memakai mesin tekan untuk melihat seberapa jauh kekuatan tekanannya. 3 Faktor yg mempengaruhi kuat Tekan Beton dalam proses kekuatan beton yaitu:

1. Sifat dan Proporsi Campuran Beton

Sifat dan proporsi campuran beton menjadi tindakan awal dalam proses pembuatan beton untuk mencapai mutu yang diinginkan. Setiap komponen yang ada dalam campuran beton memiliki peranan penting. Namun ada beberapa sifat dan proporsi yang memiliki pengaruh dominan yaitu rasio air/semen, tipe semen, air campuran, agregat dan bahan tambahan.

2. Kondisi Pemeliharaan

Faktor yang kedua adalah kondisi pemeliharaan yang dilakukan setelah beton selesai dibuat. Meski menjadi salah satu material terkokoh namun bukan berarti beton tidak membutuhkan pemeliharaan. Faktanya, pemeliharaan secara berkala tetap perlu dilakukan agar beton berada di kondisi yang prima.

3. Faktor Pengujian

Setiap beton akan melalui proses pengujian, Pengujian ini biasa disebut dengan uji kuat tekan beton dan selalu dilakukan agar kita bisa tahu apakah kekuatan beton sesuai dengan kebutuhan struktur bangunan yang direncanakan. Pengujian ini sendiri biasanya dilakukan pada material beton segar yang berbentuk kubus atau silinder, di mana material beton ini sudah mewakili campuran beton. Waktu ideal untuk melakukan uji kuat tekan beton adalah saat beton berusia 3 hari, 7 hari dan 28 hari dengan minimal pengujian pada 2 beton setiap kali pengujian dilakukan.

2.9 Kuat Tekan Mutu Tinggi

Pengertian Beton Mutu Tinggi mutu tinggi (High strength concrete) merupakan sebuah tipe beton performa tinggi yang secara umum memiliki kuat tekan 6000 psi (40 MPa) atau lebih. Ukuran kuat tekannya diperoleh dari silinder beton 150–300 mm atau silinder 100-200 mm pada umur 56 atau pun 90 hari, atau pun umur yang telah ditentukan tergantung pada aplikasi yang diinginkan. Produksi *high strength concrete* membutuhkan penelitian dan perhatian yang lebih jauh terhadap kontrol kualitasnya dari pada beton konvensional (Andi Aprizon dan Pramudiyanto, 2008).

Menurut P.Kumar Mehta Paulo & J.M. Monteiro (2006) beton mempunyai kekuatan rendah jika kuat tekannya kurang dari 20 MPa, berkekuatan sedang jika antara 20-40 MPa dan beton berkekuatan tinggi jika mempunyai kuat tekan lebih besar dari 40 MPa. Menurut Tjokrodimuljo,K (2007) jika beton mempunyai kuat

tekan tinggi, umumnya sifat-sifat yang lain juga baik.

Berdasarkan kuat tekannya, beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya beton sederhana mempunyai kuat tekan sampai 10 MPa, beton normal mempunyai kuat tekan antara 15-30 MPa, beton prategang mempunyai kuat tekan 30-40 MPa, beton kuat tekan tinggi mempunyai kuat tekan antara 40-80 MPa dan beton kuat tekan sangat tinggi mempunyai kuat tekan diatas 80 MPa. Kita membutuhkan beton mutu tinggi untuk beberapa alasan yang dapat diberikan di sini, antara lain:

1. Menghasilkan beton dengan kuat tekan awal yang tinggi dan mempercepat pelaksanaan konstruksi.
2. Meningkatkan nilai modulus elastisitas dan mengurangi efek rangkak (*creep*).
3. Secara ekonomi dapat meningkatkan penggunaan *box girder* dan *solid girder bridge* dengan design yang lebih simpel. Menurut L.J. Parrot (1988), kelemahan penggunaan beton mutu tinggi, diantaranya:
 - a. Meningkatkan biaya beton per unit volume.
 - b. Memerlukan kontrol kualitas terhadap beton dan kebutuhan produksi.
 - c. *Workability* yang kurang baik dan sering kali menurun dengan cepat setelah waktu pencampuran.
 - d. Waktu untuk perkerasan beton sangat cepat

Sifat Beton mutu tinggi (High strength concrete) diantaranya:

1. Kadar Semen Tinggi

Dalam rancangan campuran beton mutu tinggi, umumnya digunakan semen *Potland* tipe I (normal) dan tipe III (kekuatan awal tinggi). Pemakaian jumlah semen yang banyak dapat mencapai kuat tekan yang tinggi, namun dapat memberikan pengaruh pada semakin tingginya susut atau rangkak, sehingga banyaknya semen dibatasi sampai 550 kg/m^3 . Sayangnya hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya. Umumnya nilai *fas* minimum untuk beton normal sekitar 0,40 dan nilai maksimumnya 0,65. Tujuan pengurangan *fas* ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi.

2. Kualitas agregat kasar .

Dalam pemilihan agregat kasar, porositas yang rendah merupakan faktor yang sangat menentukan untuk menghasilkan suatu adukan beton yang seragam (mempunyai keteraturan dan keseragaman yang baik pada mutu maupun parameter lain yang dibutuhkan). Akan sangat baik jika akan digunakan untuk beton mutu tinggi, daya serap air tidak lebih dari satu persen.

3. Kualitas agregat halus.

Tekstur permukaan agregat halus yang bertekstur halus akan lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat permukaan kasar, sehingga dengan semakin sedikitnya air yang dibutuhkan kemungkinan menghasilkan beton yang bermutu tinggi lebih besar jika menggunakan agregat kasar.

4. Bahan tambah

Pengurangan kadar air dalam pembuatan beton mutu tinggi menjadi perhatian penting. Dengan bahan tambah yang dapat mengurangi air sangat tinggi seperti superplasticizer diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan (workability) juga lebih tinggi.

5. Kontrol kualitas.

Kontrol terhadap proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan. Pengawasan dan pengendalian yang tepat dari keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan yang didukung oleh koordinasi operasional yang optimal akan lebih meningkatkan kualitas mutu beton yang dihasilkan.

Hasil penelitian Larrard (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan arti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan diperolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya. Menurut Andi Aprizon dan Pramudiyanto untuk menghasilkan beton mutu (high strength concrete) tinggi, isi total dari bahan-bahan perekat umumnya sekitar 700 lb/yd³ (415 kg/m³) lebih dari 1100 lb/yd³ (650 kg/m³) dan pemakaian air akan menurunkan potensial kekuatan secara besar, dan menurut Aitcin mengatakan semakin tinggi kekuatan yang ingin dicapai, maka semakin kecil dan seragam ukuran agregat kasarnya.

2.10 Kuat Tekan Mutu Ringan

Pengertian Mutu Ringan Mutu Beton ringan (Lightweight Concrete) adalah beton yang mengandung agregat ringan yang mempunyai berat isi tidak

lebih dari 1900 kg/m³ (Mulyono,T., 2003). Beton ringan dibuat dengan menggunakan agregat ringan (keadaan kering dan gembur mempunyai berat 1100 kg/m³ atau kurang) atau dikombinasikan dengan agregat normal sedemikian rupa sehingga dihasilkan beton dengan berat isi yang lebih kecil/lebih ringan dari pada beton normal. Beton ringan digunakan terutama untuk mengurangi berat struktur itu sendiri dan mengurangi sifat penghantaran panasnya Tjokrodimuljo,K (2007), Beton ringan mempunyai berat jenis kurang dari 1800 kg/m³ sedangkan beton normal mempunyai berat jenis 2400 kg/m³. Beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara kedalam campuran betonnya.

Menurut Neville (1975), beton ringan dilihat dari berat jenisnya dapat dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu:

1. Beton ringan dengan berat jenis antara 300-800 kg/m³ yang biasanya dipakai sebagai bahan isolasi.
2. Beton ringan dengan berat jenis antara 800-1400 kg/m³ yang dipakai untuk struktur ringan.
3. Beton ringan dengan berat jenis antara 1400-2000 kg/m³ yang dapat dipakai untuk struktur sedang. Pemakaian beton ringan menurut Gambhir (1986) dalam bangunan diantaranya untuk:
 - a. Dinding tembok struktural, yaitu dinding tembok yang menahan beban.
 - b. Beton ringan yang dipakai untuk ini tentu saja beton ringan yang mempunyai kuat tekan cukup tinggi.
 - c. Tembok penyekat antar ruang dalam suatu gedung, biasanya berupa panel- panel beton bertulang.

- d. Dapat dipakai sebagai beton tuang ditempat pada struktur komposit antara plat lantai/atap beton ringan dan balok beton bertulang biasa.
- e. Sebagai dinding isolasi pada gedung-gedung, terutama pada bangunan perindustrian.

2.11 Standart Mutu Indonesia

Terdapat dua istilah mutu beton yang berlaku di Indonesia, yaitu mutu beton K (karakteristik) dan Fc. Standar mutu beton K dengan satuan kg/cm² mengacu kepada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.1.-2. Standar ini mengacu kepada standar Uni Eropa dan lebih umum dikenal oleh para kontraktor. Pada sisi lain, mutu beton Fc dengan satuan Mpa mengacu pada peraturan baru SNI 03-2847-2002. Standar ini digunakan dalam proyek yang terkait dengan Pemerintah Republik Indonesia. Jika terdapat hal yang belum terkait dengan SNI terkait beton, maka merujuk kepada Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI).

Benda uji yang digunakan pada mutu beton K berbentuk kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan perhitungan (kg/m²). Mutu yang biasa di pakai adalah K100 (B0), K125, K175, K200, K250, K300 sampai K500. Benda uji yang digunakan pada mutu beton Fc berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan satuan Mpa (Megapascal). Mutu yang biasa di pakai adalah > fc 10 mpa, fc 13 mpa, fc 20 mpa, fc 30 mpa sampai fc 60 mpa. Benda uji silinder dengan ukuran diameter 10 cm x tinggi 20 cm boleh digunakan dengan memakai faktor koreksi benda uji. Pada pengujian mutu beton K menggunakan kubus

15x15x15 yang memiliki perbandingan 1:0,83. Cara menghitung konversi dari beton mutu K ke mutu F_c adalah: $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$. Contoh pada perhitungan mutu beton K-100 mendapatkan perhitungan $(100/10 \times 0,83) = 10 \times 0,83 = 8,3 \text{ mpa}$; sehingga mutu beton K-100 jika dikonversikan ke F_c adalah 8,3 Mpa.

Table 1 Mutu Beton



Mutu Beton K	Mutu Beton FC
K-100	fc 8,3 mpa
K-150	fc 12,35 mpa
K-175	fc 14,53 mpa
K-200	fc 16.60 mpa
K-225	fc 18.68 mpa
K-250	fc 20.75 mpa
K-275	fc 22.83 mpa
K-300	fc 24.90 mpa
K-400	fc 33.20 mpa
K-500	fc 41.50 mpa

2.12 Metode Pelaksanaan Box Culvert

Untuk pelaksanaan pembuatan struktur *box culvert* ada pembagian metode dalam pelaksanaannya. Jadi ada beberapa metode pelaksanaan dalam pembuatan *box culvert*. Mengacu pada SNI 1725-2016 beban atau gaya yang bekerja statis maupun dinamis. Berdasarkan tugas akhir ini, dengan menggunakan kondisi kuat batas, cukup dengan mengkalkulasikan beban permanen dan beban hidup yang terjadi untuk melakukan analisis gaya-gaya yang terjadi pada jembatan. Di bawah ini merupakan gambar *box culvert type single* :

Table 2. Dimensi Konstruksi box culvert type single

Type Single		
l	T	h
100	100	16
100	150	17
100	200	18
200	100	22
200	150	23
200	200	25
200	250	26
200	300	28
300	150	28
300	200	30
300	250	30
300	300	30

Konstruksi gorong-gorong persegi beton bertulang, direncanakan dapat menampung berbagai variasi lebar perkerasan ja-lan, sehingga pada prinsipnya panjang go-rong-gorong persegi (box culvert) adalah bebas tetapi, tetapi pada perhitungan volu-me dan berat besi tulangan diambil ter-batas dengan lebar perkerasan jalan yang umumnya yaitu 3 : 5; 4 : 5; 6 dan 7 meter.

Sedikit penjelasan dibawah mengenai metode dalam pelaksanaan *box culvert* tersebut yaitu Beton pracetak(*Precast Concrete*) dan Beton cetak di lokasi (*Cast In Situ Concrete*). Berikut penjelasan dari setiap metode (*Precast Concrete*) dan (*Cast In Situ Concrete*):

2.12.1 Beton pracetak (Precast Concrete)

Beton pracetak dikirim dalam bentuk tertentu di lokasi selain dari lokasi bangunan seperti pabrik. Beton biasanya dicetak dalam bekisting kayu atau baja dan mengalami proses curing. Komponen-komponen ini kemudian diangkut ke lokasi konstruksi untuk dipasang. Beton pracetak bisa berupa bentuk standar pabrik dan custom sesuai orderan. Yang dimana lebih praktis tanpa harus memakan waktu dalam pengerjaan. Untuk *drainase* telah banyak menggunakan

box culvert akan lebih efisien.

Pembuatan beton pracetak *Box culvert*

- *Box culvert* sebagai beton pracetak dituang dan dicetak di atas kawat dan kemudian mengalami curing diluar lokasi. Kondisi ideal dalam proses ini bisa direkayasa karena pembuatannya dilakukan di pabrik.
- Saat sudah matang dan keras, maka produk *Box culvert* siap digunakan. Pengiriman memakai armada khusus untuk kemudian diaplikasikan di lokasi konstruksi.
- Beton *Box culvert* menjadi alternatif beton untuk saluran air. Jika .
- mempertimbangkan beton pracetak lain, karena ada U dicth hingga pipa beton yang bisa jadi alternatif . Sebelum itu, anda harus bandingkan dan pilihlah sesuai kebutuhan.

2.12.2 Beton Cetak Di Lokasi (Cast in situ Concrete)

Box culvert ini menggunakan metode cast in situ dikarenakan adanya tiang pancang sebagai pondasi yang digunakan. Untuk *cast in situ concrete* akan lebih lama dikarenakan menunggu pengerasan terhadap beton dan akan selalu melakuakn pengujian agar sesuai dengan yang di inginkan. Berikut ini adalah proses pengerjaan *Box Culvert*.

- 1) Penulangan *Box Culvert* Pekerjaan pertama yaitu para pekerja akan merakit tulangan-tulangan yang akan dipakai di bagian struktur *box culvert* ini sesuai dengan perencanaan. Pembentukan sudut-sudut tulangan dilakukan dengan cara manual di mal yang sudah disiapkan.

Setelah itu pekerjaan penulangan ini dilakukan dalam beberapa fase. Fase pertama yaitu penulangan bagian dasar dan dinding *box culvert*. Pemasangan tulangan harus sesuai dengan jumlah dan jarak yang ditentukan dalam gambar rencana. Tulangan akan diikat dengan bendrat. Tulangan harus ditempatkan dengan teliti pada posisi sesuai dengan rencana, dan juga harus dijaga jarak antara tulangan dengan tulangan, jarak antara tulangan dengan bekisting untuk mendapatkan tebal selimut beton yang direncanakan. Setelah proses penulangan bagian dasar dan dinding *box culvert* telah selesai dikerjakan maka dilanjutkan dengan pembuatan bekisting agar selimut beton yang direncanakan dapat terpenuhi setelah itu dilakukan pengecoran bagian dasar *box culvert*.

- 2) Pengecoran Bagian Bawah *Box Culvert* Proses pengecoran dilakukan dengan menggunakan truk pengaduk beton atau concrete mixer truck dengan mutu beton yang direncanakan yaitu $f_c'24,9$ Mpa. Setelah itu pengecoran pertama bagian *box Culvert* siap dilakukan. Adukan beton akan disalurkan dari truk pengaduk menuju ke bagian pengecoran. Segera setelah beton dituangkan di area pengecoran, adukan agregat beton harus segera dipadatkan. Pembongkaran bekisting dapat dilakukan jika umur beton sudah mencapai 28 hari.
- 3) Pengecoran Bagian dinding *Box Culvert* Pengecoran selanjutnya dilakukan jika umur beton sudah memenuhi. Setelah umur beton bagian bawah *box culvert* telah mencapai maka dilanjutkan dengan pengecoran bagian dinding. Bekisting akan dipasang dengan ukuran dan sesuai

dengan gambar rencana agar selimut beton yang direncanakan dapat memenuhi. Agregat beton akan disalurkan melalui alat concrete pump truck, setelah agregat dituangkan segera dilakukan proses pemadatan menggunakan alat concrete vibrator. Pembongkaran bekisting ini dapat dilakukan jika umur beton sudah memenuhi. Jika bekisting sudah dibongkar maka pekerjaan selanjutnya dapat dikerjakan.

- 4) Penulangan bagian atas dan wingwall *Box Culvert* Tulangan akan di pasang sesuai dengan dengan teliti dan di ikat dengan kawat bendrat, jarak antar tulangan harus diperhatikan sesuai gambar rencana.

Setelah penulangan dan bekisting selesai dikerjakan maka pengecoran bagian badan atas dan wingwall dapat dikerjakan. Pengecoran bagian badan atas dan sayap *box culvert* Proses pengecoran bagian ini sama dengan proses pengecoran bagian badan atas *box culvert* menggunakan alat yang sama yaitu concrete cump truck dan self-loading concrete mixer sebagai alat untuk mencampur adukan agregat beton. Dengan kekuatan beton rencana yaitu $f_c'30$ Mpa. Kebersihan pada saat pengecoran juga harus selalu di teliti. Proses selanjutnya adalah pembongkaran bekisting. Pembongkaran bekisting ini dapat dilakukan jika umur beton rencana sudah memenuhi. Selanjutnya pembongkaran bekisting, pembongkaran bekisting dapat dilakukan jika umur beton sudah mencapai 28 hari.

2.13 Analisa Pembebanan Struktur Beton *Box culvert*

Pembebanan struktur *box culvert* berdasarkan RSNI T-02-2005 yang

terdiri dari: beban sendiri (beban mati), beban kereta api (beban hidup), beban rem, beban kejut, beban gempa, tanah dinamis, reaksi tanah dasar dan tekanan tanah yang dikalikan dengan faktor reduksi untuk masing-masing beban.

Adapun pernyataan bahwasanya *Box Culvert* termasuk dalam struktur jembatan ditentukan pada SNI 1725-2016 Gorong-gorong merupakan saluran berbentuk bulat ataupun persegi yang ditanam di dalam tanah yang berfungsi untuk saluran air, lalu lintas kendaraan, utilitas lainnya dan untuk fasilitas pejalan kaki. Gorong-gorong persegi bisa terbuat dari satu sel ataupun multi sel beton bertulang. Contoh penggunaan gorong-gorong dua sel sebagai jembatan.

2.14 Keuntungan Menggunakan cast in situ pada *Box Culvert*

Adapun keuntungan dalam menggunakan cast in situ, Penulis akan menjelaskan cast in situ karena dalam study kasus yang di tinjau merupakan cast in situ dalam pengerjaan *box culvertnya*. Untuk itu ada beberapa keuntungan dalam menggunakan *box culvert* dengan cast in situ:

1. Beton jenis ini mudah beradaptasi dengan segala bentuk bangunan ; itulah mengapa ini sangat disukai dan digunakan secara luas di seluruh dunia.
2. Beton cor in situ bisa lebih atau kurang monolitik, sehingga sambungan hanya disediakan pada struktur yang sama .
3. Beton jenis ini secara alami digunakan untuk sistem struktur dua arah .
4. Beton cor in situ sangat mudah beradaptasi untuk pasca tarik.
5. Pada pengecoran beton jenis ini tidak diperlukan crane.

2.15 Kekurangan Menggunakan cast in situ pada *Box Culvert*

Kekurangan saat menggunakan cast in situ dalam proses struktur box culvert yang akan di bangun. Beberapa kekurangan dalam menggunakan *box culvert* dengan cast in situ:

1. Pada beton cor in situ, pembuatan bekisting sangat memakan waktu dan membutuhkan lebih banyak tenaga kerja.
2. Beton cor in situ harus dirawat terlebih dahulu sebelum dikenai beban lain.
3. Kontrol kualitas permukaan akhir beton jenis ini tidak terjamin.
4. Dibutuhkan lebih banyak tenaga kerja , sehingga prosesnya tidak terlalu ekonomis.

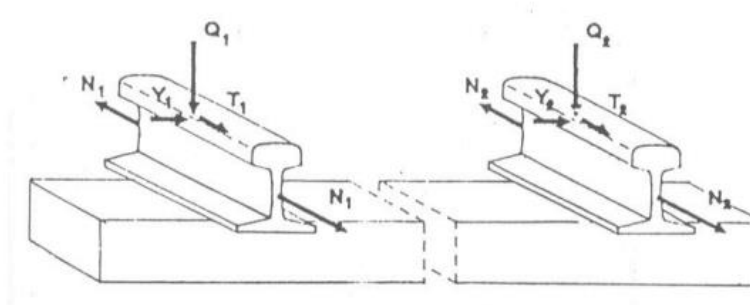
2.16 Kereta Api

Kereta api adalah sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di rel. Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong (dirangkaikan dengan kendaraan lainnya). Rangkaian kereta atau gerbong tersebut berukuran relatif luas sehingga mampu memuat penumpang maupun barang dalam skala besar. Karena sifatnya sebagai angkutan massal efektif, beberapa negara berusaha memanfaatkannya secara maksimal sebagai alat transportasi utama angkutan darat baik di dalam kota, antarkota, maupun antarnegara (Wikipedia, 2009).

2.17 Beban Dan Gaya Pada Rel Kereta Api

Pembebanan dan pergerakan kereta api di atas struktur jalan rel

menimbulkan berbagai gaya pada rel. Gaya-gaya tersebut diantaranya gaya vertikal, gaya transversal (lateral) dan gaya longitudinal.



Gambar 1. Gaya yang bekerja pada rel (Struktur Jalan Rel, 2022)

Keterangan :

Gaya vertikal : Q

Gaya lateral : Y

Gaya longitudinal : T

Gaya akibat perubahan suhu (termasuk gaya longitudinal) : N

1. Gaya Vertikal Gaya ini adalah beban yang paling dominan dalam struktur jalan rel. Gaya vertikal menyebabkan terjadinya defleksi vertikal yang merupakan indikator terbaik untuk penentuan kualitas, kekuatan dan umur jalan rel. Secara global, besarnya gaya vertikal dipengaruhi oleh pembebanan oleh lokomotif, kereta maupun gerbong.

a. Gaya Lokomotif (locomotive), Jenis lokomotif akan menentukan jumlah bogie dan gandar yang akan mempengaruhi berat beban gandar di atas rel yang dihasilkannya.

- b. Gaya Kereta (car, coach), Karakteristik beban kereta dipengaruhi oleh jumlah bogie dan gander yang digunakan. Selain itu, faktor kenyamanan penumpang dan kecepatan (faktor dinamis) mempengaruhi beban yang dihasilkan.
 - c. Gaya Gerbong (wagon), Prinsip pembebanan pada gerbong adalah sama dengan lokomotif dan kereta. Meskipun demikian, kapasitas muatan gerbong sebagai angkutan barang perlu diperhatikan dalam perencanaan beban.
2. Gaya Transversal (Lateral) Gaya ini terjadi akibat adanya gaya sentrifugal (ketika rangkaian kereta api berada di lengkung horizontal), gerakan ular rangkaian (snake motion) dan ketidakrataan geometrik jalan rel yang bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal. Gaya ini dapat menyebabkan tercabutnya penambat akibat gaya angkat (uplift force), pergeseran pelat andas dan memungkinkan terjadinya derailment (anjlog atau keluarnya roda kereta dari rel).
3. Gaya Transversal (Lateral) Gaya longitudinal dapat diakibatkan oleh perubahan suhu pada rel (thermal stress) Gaya ini sangat penting di dalam analisis gaya terutama untuk konstruksi KA yang menggunakan rel panjang (long welded rails). Gaya longitudinal juga merupakan gaya adhesi (akibat gesekan roda dan kepala rel) dan gaya akibat pengereman roda terhadap rel.

2.18 Pola Distribusi Gaya Pada Struktur Jalan Rel

Pola distribusi gaya vertikal beban kereta api dapat dijelaskan secara umum sebagai berikut :

1. Beban dinamik diantara interaksi roda kereta api dan rel merupakan fungsi dari karakteristik jalur, kendaraan dan kereta, kondisi operasi dan lingkungan. Gaya yang dibebankan pada jalur oleh pergerakan kereta api

merupakan kombinasi beban statik dan komponen dinamik yang diberikan kepada beban statik. Beban dinamik diterima oleh rel dimana terjadi tegangan kontak diantara kepala rel dan roda, oleh sebab itu, sangat berpengaruh dalam pemilihan mutu baja rel.

2. Beban ini selanjutnya didistribusikan dari dasar rel ke bantalan dengan perantara pelat andas ataupun alas karet.
3. Beban vertikal dari bantalan akan didistribusikan ke lapisan balas dan subbalas menjadi lebih kecil dan melebar. Pola distribusi beban yang melebar dan menghasilkan tekanan yang lebih kecil yang dapat diterima oleh lapisan tanah dasar.

2.19 Pembebanan Pada Konstruksi *Box Culvert*

Pembebanan yang bekerja pada konstruksi underpass baik untuk konstruksi berbentuk gorong – gorong maupun untuk konstruksi berbentuk jembatan adalah sebagai berikut :

a. Beban primer

Adalah beban yang utama dalam setiap perencanaan konstruksi underpass.

1. Beban mati

Adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri konstruksi atau bagian dari konstruksi yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap satu kesatuan tetap dengannya. Pada perencanaan underpass yang termasuk beban mati adalah :

a. Beban sendiri plat lantai bawah dan atas.

1. Berat sendiri plat lantai atas (Q_{MS1}) = $b * t1 * Wc$
 2. Ditinjau struktur underpass selebar (b)
 3. Tebal plat atas (t1)
 4. Berat beton bertulang (Wc)
- b. Berat sendiri plat lantai (Q_{MS2}) = $b * t1 * Wc$
1. Ditinjau struktur underpass selebar (b)
 2. Tebal plat atas (t1)
 3. Berat beton bertulang (Wc)
- c. Beban akibat tekanan tanah

$$Ka = tg^2 45^\circ - \frac{\Phi}{2}$$

$$Kp = tg^2 \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$P = Ka \cdot \gamma \cdot h \cdot \frac{1}{2} \cdot h$$

Dimana :

Ka = koefisien tekanan tanah aktif

Kp = koefisien tekanan tanah pasif

P = tekanan tanah

Φ = sudut geser tanah

h = tinggi dinding penahan tanah

- d. Beban angin

Angin kencang bisa sangat merusak karena menghasilkan tekanan terhadap permukaan suatu struktur. Intensitas tekanan semacam ini disebut beban angin. Dampak yang ditimbulkan angin tergantung pada ukuran dan bentuk struktur. Menghitung beban

angin diperlukan untuk desain dan konstruksi bangunan yang lebih aman dan kedap angin, serta penempatan objek semacam antenna di bagian atas bangunan.

Rumus generik beban angin adalah

$$F = A \times P \times Cd,$$

F = adalah gaya atau beban angin,

A = adalah area yang diproyeksikan pada objek

P = adalah tekanan angin, dan

Cd = adalah koefisien hambatan.

Dalam menentukan besar beban mati, digunakan berat jenis, dan berat satuan nilai yang tercantum dalam tabel berikut :

Table 3. Berat Jenis Bahan

Bahan	Berat Jenis
Baja	7,85
Seng	7,20
Beton Bertulang	2,40
Beton tidak bertulang, beton siklop	2,20
Pasangan Bata	1,70
Pasangan Batu	2,20

Table 4. Jenis Satuan Bahan

Bahan	Berat Satuan
Pasir, kerikil, tanah	2,0 – 2,10 (t/m^3)
Bahan perkerasan dengan aspal	2,0 – 2,50 (t/m^3)
Balas	1,7 – 1,8 (t/m^3)
Berat spur	450 (t/m^3)

2. Beban hidup

Adalah semua beban yang berjalan sepanjang jembatan rel, yaitu rangkaian kereta api dan orang – orang yang berjalan diatas jembatan.

- a. Beban rangkaian kereta api diperhitungkan sesuai dengan ketentuan skema beban gandar jembatan jalan rel indonesia (SBG, 1988). Pada bangunan atas jembatan kecepatan beban hidup rangkaian kereta api diperhitungkan sebesar 120 km/jam, 110 km/jam, 100 km/jam, 90 km/jam, dan 80 km/jam untuk jembatan yang berturut – turut berada di jalan rel I, II, III, IV, dan V. Pada bangunan bawah jembatan tetap kecepatan beban hidup rangkaian kereta api diperhitungkan sebesar 120 km/jam untuk jembatan yang berada di semua kelas jalan rel. Sedang kecepatan untuk jembatan sementara disesuaikan dengan situasi dan kondisi setempat.
- b. Beban orang diperhitungkan sebesar 200 kg/m² .
- c. Beban Sekunder

1. Pengaruh kejut

Pengaruh kejut besarnya dapat dihitung sebagai faktor kejut dikalikan beban rangkaian kereta api.

$$fk = 0.25 + \frac{538 * k * v}{(L + 6) * U * D}$$

Dimana :

Fk = faktor kejut

K = koefisien yang dipengaruhi oleh macam dan konstruksi jembatan dalam hal ini diambil 1,5

- V = batas kecepatan maksimum kendaraan rel (km/jam)
- L = bentang jembatan (meter)
- U = beban terbagi rata ekuivalen akibat beban hidup yang menimbulkan momen maksimum D = diameter roda kendaraan rel, diambil 904 mm

2. Gaya Rem

Untuk perancangan atau analisis jembatan diperhitungkan sebesar 1/6 berat lokomotif ditambah 1/10 berat gerbong, tanpa pengaruh kejut yang bekerja pada permukaan kepala rel searah gerakan kendaraan rel.

$FK = 1/6 \text{ lokomotif} + 1/10 \text{ berat gerbong.}$

Dimana:

$FK = \text{Gaya Rem}$

3. Gaya gempa

Dipakai untuk menghitung struktur bangunan bawah dan stabilitas struktur bangunan atas pada waktu terlanda gempa,

i. Gaya gempa

$$G = K_g * M$$

Dimana :

$G = \text{gaya gempa (kg)}$

$K_g = \text{koefisien gempa}$

$M = \text{berat bagian struktur yang didukung oleh bagian struktur yang ditinjau}$

ii. Koefisien gempa

$$K_g = K_r * f_t$$

Dimana:

K_g = koefisien gempa

K_r = koefisien respon gabungan

f_t = faktor ketinggian pusat massa yang ditinjau

2.20 Persyaratan Teknis Jembatan Kereta Api

Dasar regulasi yang terkait dengan jalur dan bangunan kereta api, baik yang terkait dengan standar teknis, pengujian, pemeriksaan, dan perawatannya telah diatur dalam peraturan Menteri Perhubungan, tidak terkecuali dengan pembangunan. Hal ini diatur didalam Peraturan Menteri Perhubungan nomor PM 28 Tahun 2011 tentang persyaratan teknis bangunan kereta api adalah sebagai berikut :

a. Persyaratan sistem

Berdasarkan material untuk struktur jembatan, dibagi menjadi :

1. Jembatan baja
2. Jembatan beton
3. Jembatan komposit

Tipe jembatan secara umum dibagi menjadi beberapa kelompok seperti yang tertera pada table 2.3 dibawah ini.

Table 5. Tipe jembatan baja

Tipe	Gelagar	Rangka
Dinding	Gelagar Dinding	Rangka Dinding

Rusuk

Gelagar Rasuk

Rangka Rasuk

Sistem jembatan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Beban gandar
2. Lendutan
3. Stabilitas konstruksi
4. Ruang bebas

Beban gandar yang digunakan sebagai dasar perencanaan harus sesuai dengan klasifikasi jalurnya dan beban terbesar dari sarana perkeretaapian yang dioperasikan. Adapun pembeban yang digunakan dalam perencanaan struktur.

Jembatan harus didesain untuk menahan jenis beban sebagai berikut :

- 1) Beban mati
- 2) Beban hidup
- 3) Beban kejut
- 4) Beban horizontal
 1. Beban sentrifugal
 2. Beban lateral kereta
 3. Beban rem dan traksi
 4. Beban rel panjang longitudinal
- 5) Beban angin
- 6) Beban gempa
- 7) Kombinasi pembebanan

Adapun penjelasan mengenai jenis pembeban ini akan dibahas pada

bab selanjutnya.

b. Persyaratan komponen

Komponen jembatan terdiri dari konstruksi jembatan bagian atas, konstruksi jembatan bagian bawah, dan konstruksi pelindung. Persyaratan untuk ketiga komponen jembatan ini disesuaikan dengan material pembentuk konstruksi : baja, beton, dan komposit.

Konstruksi jembatan bagian atas dengan material baja harus memenuhi persyaratan seperti :

1. Tegangan (*stress*) dan tegangan lelah (*fatigue*) yang timbul pada baja structural lebih kecil dari pada tegangan yang diizinkan.
2. Tegangan (*stress*) yang timbul pada baut dan paku keling/ sumbat (*river*) lebih kecil dari tegangan yang diizinkan.
3. Tegangan tarik material las minimal sama atau lebih besar dari material yang disambung.

2.20.1 Kelas jalan rel

Dalam persyaratan teknis jalur kereta api no. PM 60 Tahun 2012 dimuat beberapa jenis kelas jalan untuk jalur kereta api seperti ditunjukkan pada table 5.

Table 6. Lebar jalan rel 1067

Kelas jalan	Daya angkut lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe rel	Jenis bantalan jarak antar sumbu (cm)	Jenis penambat	Tebal balas atas (cm)	Lebar bahu balas (cm)
1	$>20.10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis ganda	30	60
2	10.10^6 - 20.10^6	110	18	R.54/R.50	Beton/kayu 60	Elastis ganda	30	50
3	5.10^6 - 10.10^6	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/kayu/baja 60	Elastis ganda	30	40
4	$2,5.10^6$ - 5.10^6	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/kayu/baja 60	Elastis ganda/tunggal	25	40
5	$<2,5.10^6$	80	18	R.42	kayu/baja 60	Elastis tunggal	25	35

2.20.2 Ruang Bebas

Ruang bebas adalah ruang diatas jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang, ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api. Ukuran ruang bebas untuk jalur tunggal, baik pada lintasan lurus maupun melengkung, untuk lintasan elektrifikasi dan non elektrifikasi, adalah seperti yang tertera pada table 7

Table 7. Jarak ruang bangun

Segmen jalur	Lebar jalan rel 1064 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung
Lintas bebas	Minimal 2,35 m di kiri - kanan as jalan rel	R 300, minimal 2,55 m
Emplasemen	R > 300, minimal 2,45 m di kiri-kanan as jalan rel	Minimal 1,95 m di kiri- kanan as jalan rel
Jembatan/Terowongan	Minimal 2,35 m di kiri - kanan as jalan rel	2,15 m di kiri-kanan as jalan rel

2.20.3 Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke balas, mempertahankan lebar jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan didasarkan pada kelas dan kondisi lapangan serta ketersediaan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu kepada persyaratan teknis yang berlaku sebagai berikut.

- a. Bantalan beton Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian dudukan rel dan -930 kgm pada bagian tengah bantalan. Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1067 mm adalah sebagai berikut.

- Panjang : 2000 mm

- Lebar Maksimum : 260 mm

- Tinggi Maksimum : 220 mm

Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan. Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1435 mm adalah sebagai berikut.

- Panjang : 2440 mm untuk beban gandar sampai 22,5 ton;
2740 mm untuk beban gandar diatas 22,5 ton.
- Lebar Maksimum : 330 mm
- Tinggi Maksimum : 220 mm

b. Bantalan kayu

Bantalan kayu, harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan modulus elastisitas (E) minimum 125.000 kg/cm^2 . Harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kg-m , lentur absolute tidak boleh kurang dari 46 kg/cm^2 . Berat jenis kayu minimum = 0,9, kadar air maksimum 15%, tanpa mata kayu, retak tidak boleh sepanjang 230 mm dari ujung kayu.

c. Bantalan besi

Bantalan besi harus memiliki kandungan Carbon Manganese Steel Grade 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rei, mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kg m , tegangan tarik $88-103 \text{ kg m}$. Elongation $A1 > 10\%$

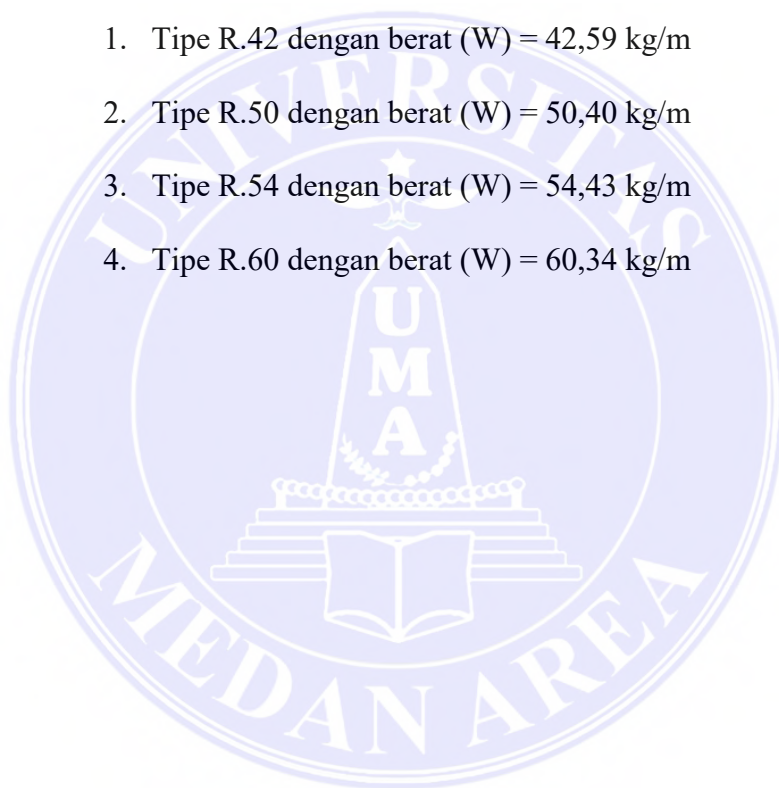
2.20.4 Rel

Rel harus memenuhi persyaratan berikut :

- a. Minimum perpanjangan (longitudinal) 10%.
- b. Kekuatan tarik (tensile strength) minimum 1175 N/mm².
- c. Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN.

Jalan rel juga memiliki berat dengan tipe sebagai berikut :

1. Tipe R.42 dengan berat (W) = 42,59 kg/m
2. Tipe R.50 dengan berat (W) = 50,40 kg/m
3. Tipe R.54 dengan berat (W) = 54,43 kg/m
4. Tipe R.60 dengan berat (W) = 60,34 kg/m



BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya.

Metode penelitian kuantitatif, sebagaimana dikemukakan oleh Sugiyono (2011: 8) yaitu: “Metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan”.

Sebelum melakukan perhitungan tulangan terlebih dahulu menentukan besar pembebanan yang bekerja pada struktur didasarkan pada asumsi tanah sedang yang umumnya disebut *highly compressible*, dengan mengambil hasil pembebanan maksimum dari kombinasi pembebanan yang terdiri dari beban sendiri, tekanan tanah aktif, beban hidup, beban gempa, dan reaksi tanah dasar. Peraturan pembebanan menggunakan RSNI T-02-2005. Hasil dari pembebanan tersebut di input dalam *software* SAP 2000 untuk menentukan besarnya gaya-gaya dalam yang terjadi di struktur *box culvert*.

3.2 Tempat Penelitian

Pekerjaan yang dilaksanakan di BH 41 di KM 18+000. Adapun petunjuk gambar lokasi proyek adalah:



Gambar 2. Lokasi Penelitian (PT. Karya Alriz Utama)

3.3 Jenis dan Sumber Data

3.3.1 Data Primer

Data primer adalah data yang berasal dari sumber aslinya yang diperoleh langsung dari obyek yang diteliti yaitu pada proyek Supevisi pekerjaan *box culvert* BH 41 jalur KA lintas Medan-Binjai. Data primer dalam penelitian ini yaitu dilakukan observasi terhadap proyek tersebut untuk melihat dan mangamati sebuah pengerjaan dilokasi.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder yaitu data yang diperoleh secara tidak langsung dari sumbernya. Data ini diperoleh melalui instrumen penelitian yang berupa

dokumen-dokumen yang diperoleh dari PT. Karya Alriz Utama seperti beberapa gambar kerja dan detail potongan *box culvert* tersebut.

3.3.3 Sumber Data

Sumber data adalah dari data primer dan data sekunder tersebut yang akan diperoleh dari obyek yang diteliti yaitu dokumen-dokumen dari PT. Karya Alriz Utama.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan penulis dalam penelitian ini adalah melalui metode observasi, yaitu merupakan metode pengumpulan data primer dan data sekunder.

Pembebanan struktur *box culvert* berdasarkan RSNI T-02-2005 yang terdiri dari: beban sendiri (beban mati), beban kereta api (beban hidup), beban rem, beban kejut, beban gempa, tanah dinamis.

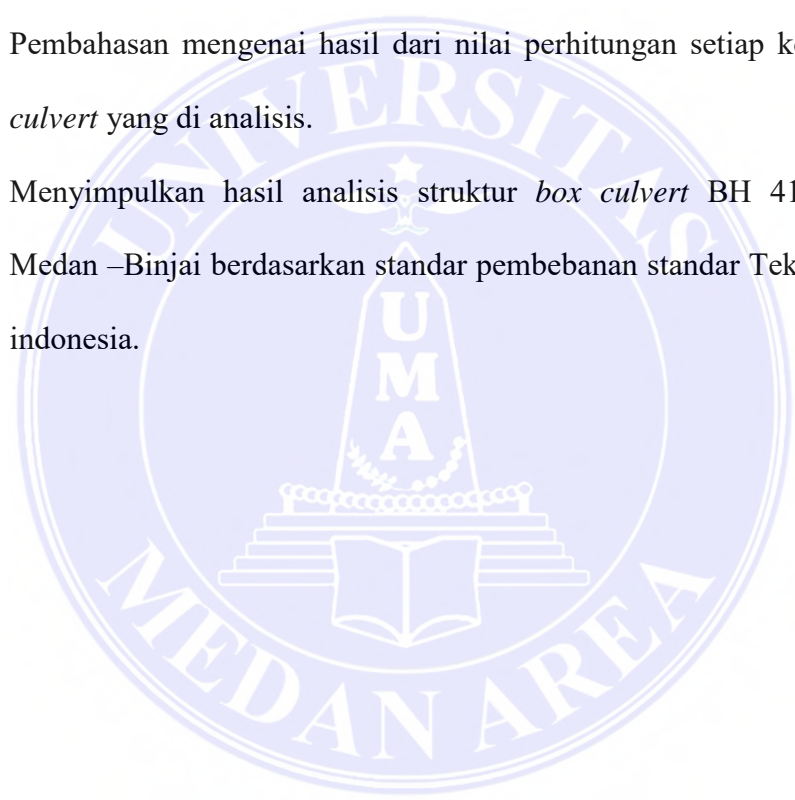
3.5 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

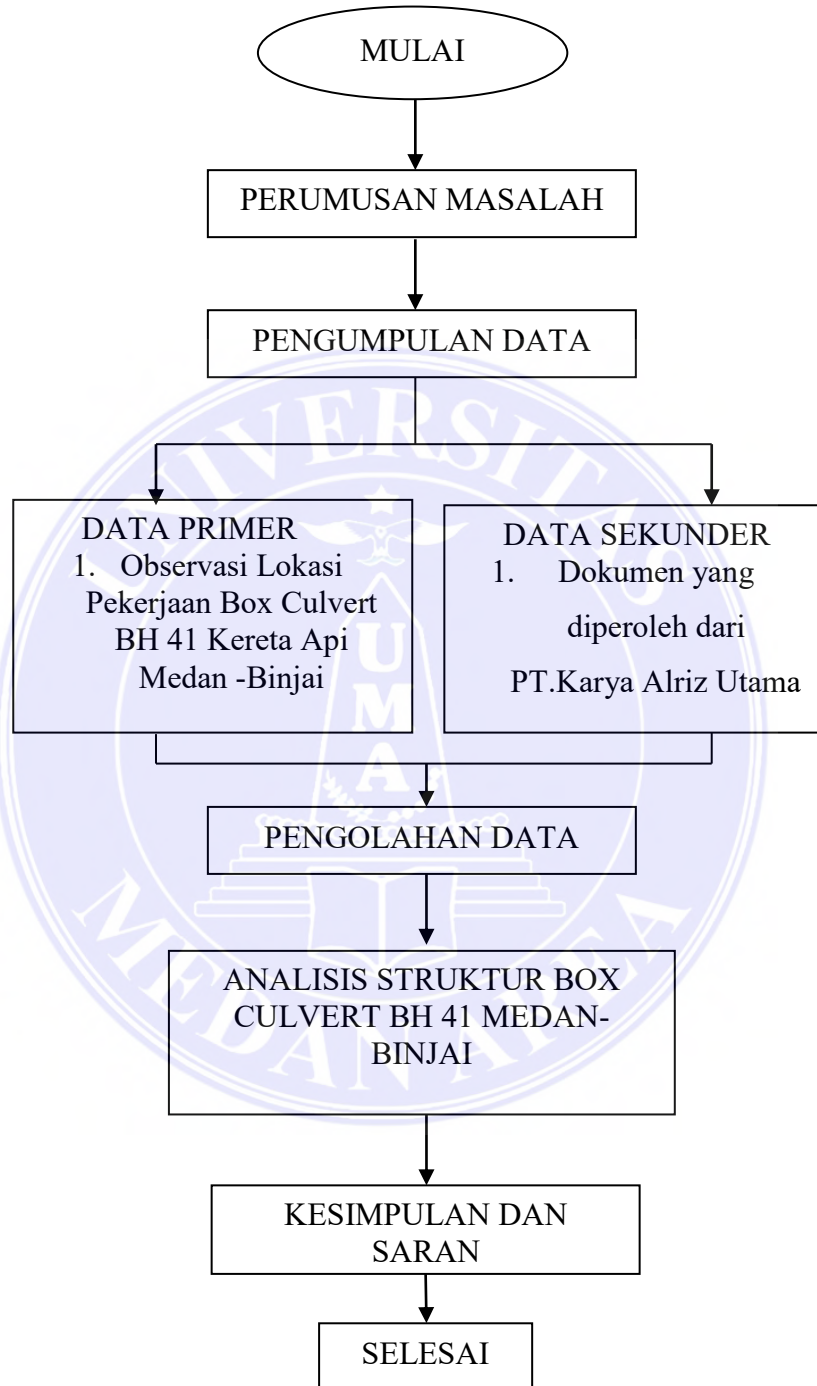
- 1) Melakukan pengambilan data baik primer maupun sekunder. Untuk data primer dilakukan pengukuran langsung di lokasi penelitian sedangkan untuk data sekunder diperoleh dari PT. Karya Alriz Utama
- 2) Menggambar ulang spesifikasi dan konfigurasi struktur *box culvert* BH 41 Kereta Api Medan –Binjai.
- 3) Menghitung beban-beban yang bekerja pada jembatan sesuai dengan

Standar Teknis Kereta Api Indonesia tentang Pembebanan Untuk Jembatan 2006 Serta Peraturan Menteri Perhubungan : PM.60 Tahun 2012

- 4) Melakukan pemodelan struktur *box culvert* menggunakan program *SAP2000*.
- 5) Melakukan *running analysis* menggunakan program *SAP2000*.
- 6) Melakukan pengolahan data dan menganalisis hasil respon struktur yang terjadi pada gelagar jembatan.
- 7) Pembahasan mengenai hasil dari nilai perhitungan setiap komponen *box culvert* yang di analisis.
- 8) Menyimpulkan hasil analisis struktur *box culvert* BH 41 Kereta Api Medan –Binjai berdasarkan standar pembebanan standar Teknis kereta api indonesia.



3.6 Bagan Alir Penelitian



Gambar 9. Bagan air penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan dalam Perencanaan Pembangunan *Box Culvert* yaitu:

1. Perencanaan perhitungan struktur *Box Culvert* menggunakan perhitungan gaya-gaya luar pada *Box Culvert* dihitung secara konvensional.
2. Dimensi *Box Culvert* yang direncanakan dengan panjang 6,2m, lebar 2,3m dan tinggi 1,4m, dengan menggunakan beton yang kuat tekannya sebesar 24,9Mpa dan baja yang tegangan lelehnya sebesar 390 Mpa.
3. Dimensi *Box Culvert* Ketebalan plat lantai (t1) 0,3m, plat dinding (t2) 0,3m dan untuk plat pondasi pada *box culvert* (t3) 0,5m.
4. Dimensi pada dinding sayap *Box Culvert* yang di hitung dengan Panjang dinding sayap(c) 1,4m. Selanjutnya tinggi dinding sayap bagian ujung(d) 0,3m dan tebal dinding sayap(Tw) 0,3m.
5. Adapun hasil dari perhitungan yang di dapat beban kejut yang terjadi pada *box culvert* sebesar 5 Ton, Di iringi dengan beban pengereman dan traksi yang di dapat 1,5 Ton.
6. Selanjutnya ada beban angin yang terjadi pada *box culvert* BH 41 yang jika ada kereta api di atasnya sebesar 3,45 Kn/m sedangkan tanpa adanya kereta 6,9 kN/m.

7. Di tambah lagi untuk beban gempa yang juga terhitung dan di dapatkan hasil 29,71 kN.
8. Peraturan yang digunakan dalam perencanaan struktur *Box Culvert* adalah Pembebanan jembatan mengaju pada SNI 1725-2016, sedangkan beban gempa yang digunakan adalah SNI 2833:2016.

3.2 Saran

1. Pelaksanaan proyek harus disesuaikan dengan rencana kerja dan syarat-syarat yang telah ditentukan agar dapat menghasilkan struktur bangunan yang sesuai dengan yang diharapkan maupun persyaratan.
2. Pelaksanaan Pembangunan Proyek harus diusahakan capat dan tepat dalam segala pelaksanaannya sesuai dengan *time schedule* yang telah dibuat dengan tetap memperhatikan mutu dan kualitas bangunan.
3. Untuk memperlancar kegiatan proyek agar selesai tepat pada waktunya diperlukan kerja sama yang baik antara pihak-pihak yang terkait dalam pembangunan proyek tersebut.
4. Sebaiknya dalam pekerjaan pengecoran Box Culvert, agregat campuran beton dapat ditambahkan zat additive agar umur beton dapat dipercepat dan tidak perlu menunggu selama 28 hari.
5. Dalam pelaksanaan pembangunan proyek harus dilakukan pengawasan sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan yang dapat berakibat fatal, baik pada keamanan saat pelaksanaan maupun tingkat kenyamanan selama bangunan yang telah berdiri digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rozak,2013. Perhitungan Struktur *Box Culvert* Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat Mandiri Perkotaan (Pnpm-Mp) Kelurahan Sempaja Utara, Kota Samarinda.
- Arsitur Studio,2020. Perbedaan Beton Precast dan Beton Cor di lokasi.
- Badan Standarisasi Nasional, 2005. Standar Pembebanan Untuk Jembatan, SNI T-02- 2005, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2013, Jakarta.
- Gerry J. J. Pokay Ariestides K. T. Dundu, Mochtar Sibi,2020. Metode Pelaksanaan Konstruksi Pekerjaan Bagian Bawah Jembatan Lalow Kabupaten Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Utara.
- Ilham, N.M. (2008). “Perhitungan Box Girder Beton Prestress Gejayan Fly Over Yogyakarta”
- Kamiana, I Made, 2011. Teknik Perhitugan Debit Rencana Bangunan Air, Garah Ilmu, Yogyakarta.
- Nawy, Edward G., 1998. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Refika Aditama, Bandung.
- Rombach, G. (2002). “Precast segmental box girder bridges with external prestressing: Design and Construction”.

Solo Paket 3.3D 2016 - Salatiga, Jawa Tengah. Perhitungan *Box culvert* Tol Semarang.

Zain Patongloan, 2020. Kapasitas lentur *box culvert* lintasan kereta api tipe 2000 x 2000 x 1000 MM.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Lapangan



