

BAB I

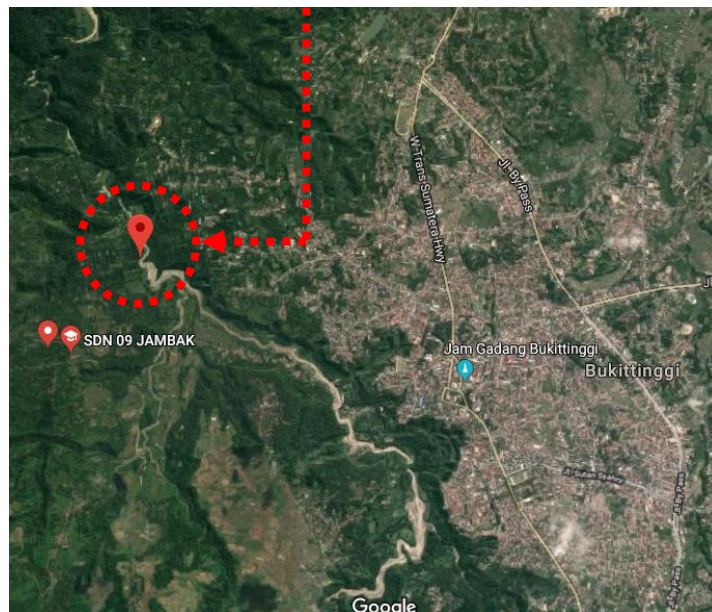
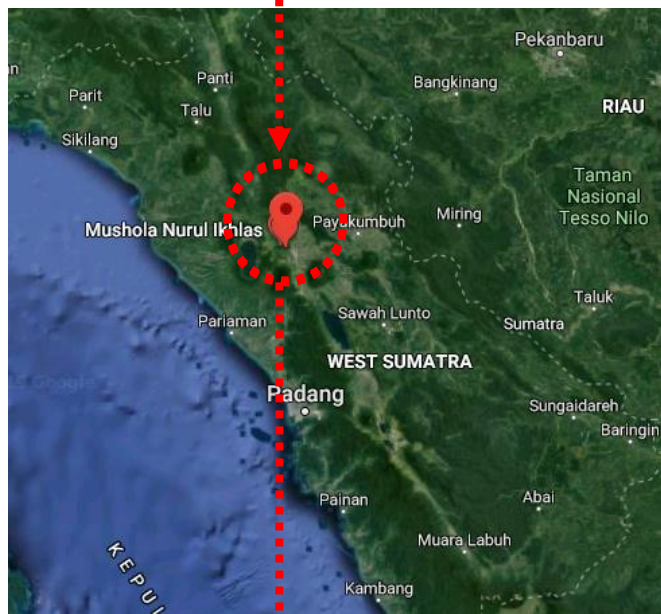
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Bukittinggi merupakan salah satu kota yang sangat penting bagi provinsi Sumatera Barat. Kota Bukittinggi dilalui salah satu jalur penghubung utama antara provinsi Sumatera Barat dengan provinsi Riau. Mobilisasi barang dan manusia antar kedua provinsi menjadikan jalan nasional lintas Padang-Bukittinggi menjadi salah satu ruas jalan tersibuk di provinsi ini. Tidak hanya itu, *brand-mark* Bukittinggi sebagai kota tujuan wisata menjadikan kota ini selalu ramai dikunjungi terkhusus saat musim liburan.

Untuk melayani beban lalu lintas melalui peningkatan jalur alternatif yang sudah tersedia, Pemerintah Provinsi Sumatera Barat melalui Peraturan Daerah Provinsi Sumatera Barat Nomor 13 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Sumatera Barat Tahun 2012 – 2032 merencanakan pembangunan jaringan jalan arteri primer meliputi ruas jalan Sicincin – Malalak – Balingka – Panta – Jembatan Ngarai Sianok – Bukittinggi. Jaringan jalan ini akan menghubungkan simpul jalan alternatif Sicincin – Malalak untuk mencapai kota Bukittinggi dari kota Padang tanpa harus melalui pasar Padang Luar [1] (Tutri, 2016). Pada perencanaannya, trase jalan alternatif ini melewati Ngarai Sianok, sebuah lembah curam sedalam ± 123 meter sehingga diperlukan suatu konstruksi jembatan. Adapun jenis jembatan yang direncanakan adalah jembatan tipe *cable stayed*.

Jembatan Ngarai Sianok akan menghubungkan kabupaten Agam dengan kota Bukittinggi. Jembatan ini menghubungkan dua titik lokasi yang terputus hambatan alam Ngarai Sianok (Ngarai : Lembah curam/jurang) pada rencana trase Jalan Lingkar Luar Bukittinggi (Bukittinggi *Outer Ring Road* (BORR)) tepatnya di nagari Jambak, kecamatan IV Koto untuk sisi Agam dengan Panorama Baru pada sisi Bukittinggi. Adapun lokasi rencana jembatan Ngarai Sianok ditunjukkan pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Lokasi perencanaan jembatan Ngarai Sianok
 Sumber : Google Maps

Didesain untuk melintasi topografi lembah curam sedalam ± 123 meter, hasil desain struktur membuat jembatan ini memecahkan beberapa rekor jembatan *cable stayed* ditinjau dari dimensi struktur yang dihasilkan. Jembatan Ngarai Sianok akan memiliki jumlah bentang terbanyak, struktur gelagar dengan elevasi tertinggi, juga struktur *pylon* tertinggi apabila dibandingkan dengan jembatan *cable stayed* yang telah dibangun di Indonesia hingga saat ini (2020). Selain itu, lokasi perencanaan yang berada dekat dengan segmen sesar aktif sianok (*near field*) yang juga dikelilingi oleh sesar sesar aktif patahan Semangko lainnya, mengakibatkan perencanaan beban gempa jembatan Ngarai Sianok memerlukan mekanisme analisis yang berbeda dari perencanaan beban gempa jembatan non konvensional pada umumnya.

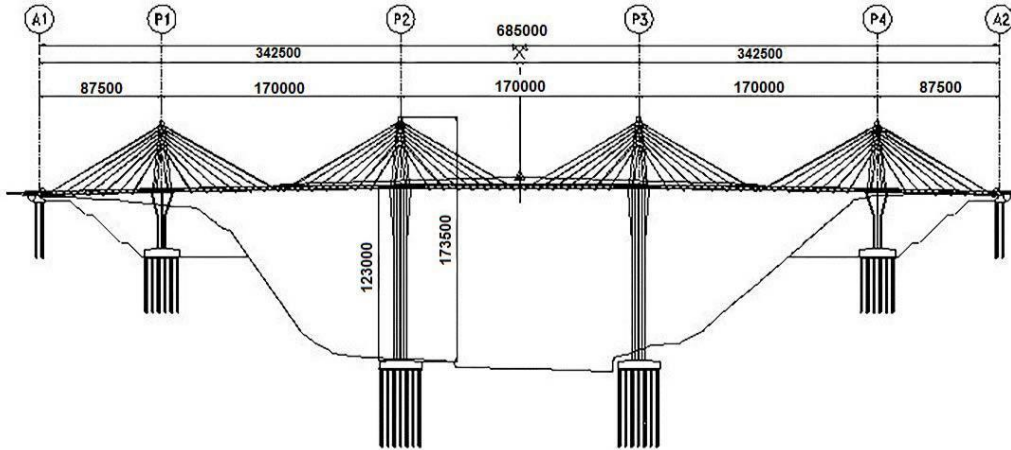


Gambar 1.2 Perspektif jembatan Ngarai Sianok
Sumber : Laporan DED Jembatan Ngarai Sianok, 2013

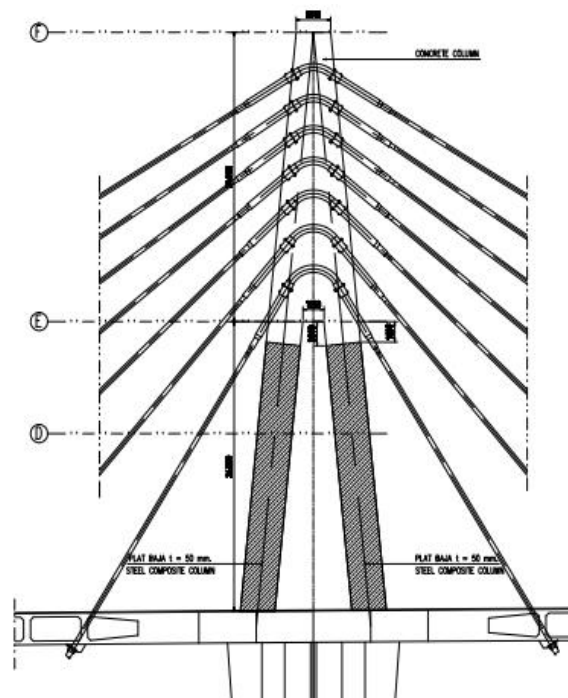
Jembatan Ngarai Sianok merupakan jembatan tipe *multi span cable stayed* dengan panjang bentang total 685 meter yang terdiri dari 3 bentang utama, masing masing sepanjang 170 meter dengan bentang samping (*side span*) masing masing sepanjang 87,5 meter. Jembatan ini memiliki total 4 buah *pylon*. Pada bentang utama, dua *pylon* jembatan memiliki tinggi masing masing 173,6 meter, sedangkan sisanya memiliki tinggi masing masing 91 meter. Elevasi gelagar (*deck*) berada pada ketinggian 123 meter dari struktur *pile cap pylon* tertinggi.

Struktur jembatan Ngarai Sianok akan melintasi bentangan alam lembah Sianok yang juga merupakan salah satu objek wisata andalan provinsi Sumatera Barat terkhusus kota Bukittinggi, oleh karenanya tatanan kabel yang dipilih merupakan tipe sistem satu bidang terpusat pada arah transversal gelagar jembatan

dengan tatanan kabel longitudinal tipe *Fan*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan aspek estetika terbaik yang akan berpadu dengan keindahan Ngarai Sianok, juga memberikan kesan pemandangan yang tidak terhalangi pada pengguna jembatan apabila dibandingkan dengan penggunaan sistem kabel transversal dua bidang.

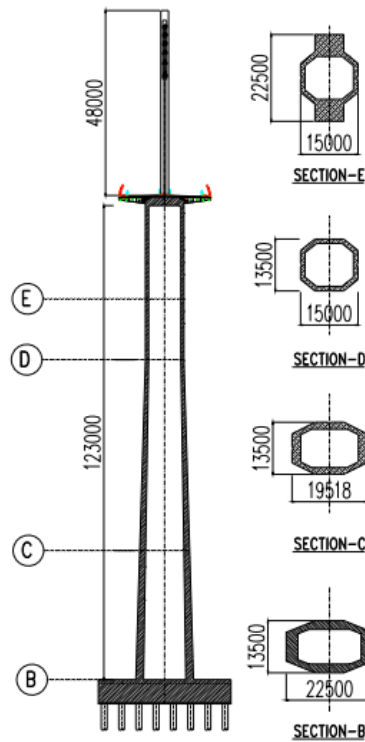


Gambar 1.3 Potongan memanjang jembatan Ngarai Sianok
Sumber: DED Jembatan Ngarai sianok, 2013

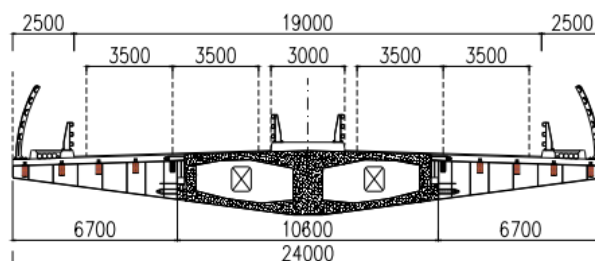


Gambar 1.4 Distribusi & jumlah kabel
Sumber : Laporan DED Jembatan Ngarai sianok, 2013

Tipe struktur *pylon* jembatan Ngarai Sianok yang dipilih untuk sistem kabel transversal satu bidang adalah struktur kolom beton bertulang dengan tipe A – *Shape* pada arah longitudinal jembatan. Sedangkan sistem sambungan antara kabel dengan *pylon head* ditunjukkan seperti pada Gambar 1.4.



Gambar 1.5 Dimensi *pylon* utama
 Sumber : DED Jembatan Ngarai sianok, 2013



Gambar 1.6 Potongan penampang *box girder* komposit
 Sumber: DED Jembatan Ngarai sianok, 2013

Struktur gelagar jembatan merupakan tipe *box girder* beton dengan kantilever baja. Lebar total gelagar jembatan adalah 24 meter dan memfasilitasi empat lajur lalu lintas dengan dua lajur untuk pejalan kaki (trotoar) pada dua sisi tepi gelagar. Lajur

lalu lintas memiliki lebar 3,5 meter, lebar median 3 meter, lebar bahu dalam dan bahu luar masing masing 0,5 meter dan lebar trotoar masing masing 1,75 meter.

Tipe boks girder komposit memberikan beberapa keunggulan diantaranya diperoleh berat struktur girder yang lebih ringan apabila dibandingkan dengan penggunaan boks girder yang keseluruhan materialnya beton. Selain itu apabila digunakan boks girder baja, tentu material ini akan lebih ringan dibandingkan dengan boks girder komposit diatas, namun proses fabrikasi yang sulit juga belum umumnya penggunaan tipe dek ini di Indonesia menjadikan opsi ini kurang tepat apabila dibandingkan dengan dua opsi sebelumnya.

Penggunaan dek boks girder komposit merupakan solusi paling tepat untuk diterapkan pada konstruksi jembatan Ngarai Sianok. Struktur jembatan memiliki struktur pilar tunggal yang tinggi karena topografi lembah sianok. Adapun struktur pilar tunggal tinggi ini akan memperbesar respon struktur terhadap beban gempa sebagai contoh momen di kaki pilar jembatan, mengingat jembatan ini berlokasi dekat patahan aktif. Dek yang berat dipandang tidak tepat untuk konstruksi jembatan Ngarai Sianok.

Adapun seiring perkembangan waktu, pada 2016, konsep baru dek beton dengan kantilever baja *orthotropic* telah dikemukakan dalam [25]. Struktur kantilever *orthotropic* dapat mereduksi berat sendiri dek secara signifikan karena tidak diperlukan tambahan pelat dek beton pada struktur kantilever baja sehingga diperoleh desain akhir kantilever yang lebih ringan. Dek yang lebih ringan, akan mereduksi respon struktur akibat beban dinamik.

Jembatan Ngarai Sianok pada perencanaan awal (2013) didesain dengan berpedoman pada Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 dengan rincian:

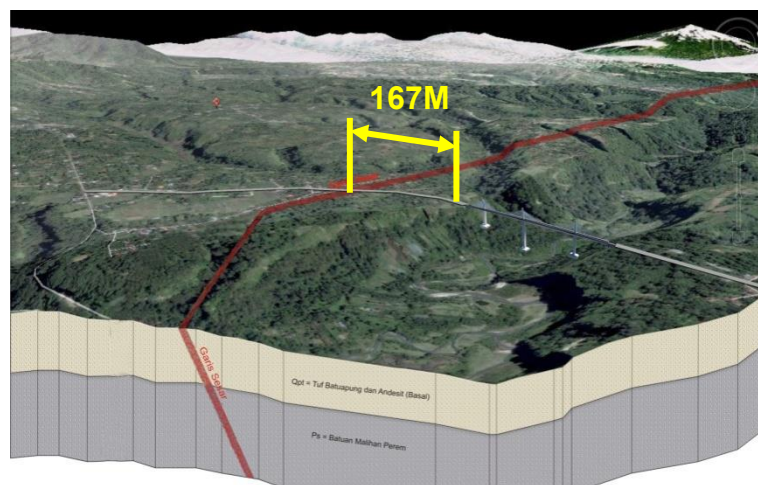
1. Standar Pembebanan Untuk Jembatan SK.SNI T-02-2005
2. Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan SK.SNI T-12-2004
3. Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan SK.SNI T-03-2005

Selanjutnya perencanaan beban gempa untuk jembatan ini memerlukan kajian yang khusus dan spesifik. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, lokasi rencana jembatan ini dekat dengan sesar aktif Sianok. Sesar sepanjang 90 KM ini menyimpan potensi bahaya gempa bumi dengan kekuatan M_w 7,4 [2] (PuSGeN, 2017) yang

dapat terjadi pada titik mana saja disepanjang bidang sesar ini, sedangkan jarak terdekat rencana struktur jembatan dengan sesar Sianok adalah 167 m (Gambar 1.7).

Berdasarkan karakteristik tersebut, diperlukan prosedur spesifik situs untuk mengkuantifikasi potensi bahaya seismik (*seismic hazards*) juga prediksi gerakan tanah yang lebih akurat pada situs rencana konstruksi jembatan Ngarai Sianok. Adapun spektra desain permukaan untuk analisis dinamik jembatan Ngarai Sianok berdasarkan hasil studi seismisitas pada perencanaan awal (2013) ditunjukkan seperti pada Gambar 1.8. Meskipun saat perencanaan awal Indonesia telah memiliki standar perencanaan beban gempa untuk jembatan RSNI 2833-201X, pedoman pedoman desain beban gempa Amerika Serikat juga dijadikan rujukan diantaranya:

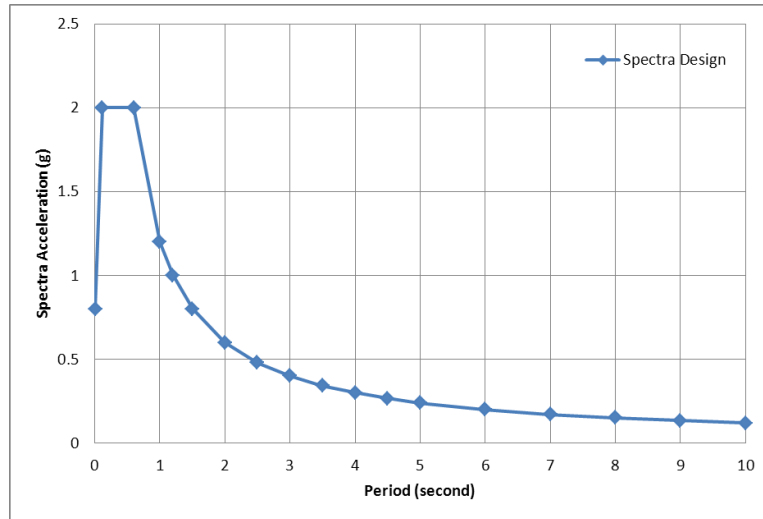
- AASHTO LRFD Bridge Design Specification, Fifth Edition 2010
- AASHTO Guide Specification for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition 2011
- FHWA Seismic Design and Retrofit Manual for Highway Bridges
- Caltrans Seismic Design Criteria.



Gambar 1.7 Lokasi rencana jembatan terhadap sesar Sianok
Sumber : Laporan DED Jembatan Ngarai sianok, 2013

Seiring perkembangan waktu, beberapa standar perencanaan diatas telah diperbarui. Standar perencanaan pembebanan untuk jembatan terkini adalah SNI 1725:2016, dan standar perencanaan beban gempa untuk jembatan yang berlaku saat ini adalah SNI 2833:2016 termasuk pengkinian peta gempa Indonesia 2010 menjadi peta gempa 2017. Perubahan yang terjadi pada beberapa item dua standar

desain yang telah disebutkan diatas disajikan dalam **Tabel 1.1**& **Tabel 1.2** dibawah ini.



Gambar 1.8 Desain spektra jembatan Ngarai Sianok
 Sumber : Laporan DED Jembatan Ngarai sianok, 2013

Tabel 1.1 Perbandingan perubahan standar perencanaan pembebanan

Jenis Beban	Karakteristik	Pembebanan	
		Standar Lama (SK.SNI T-02-2005)	Standar Terbaru (SNI 1725 : 2016)
Beban "D"	Faktor Beban	Hanya memberikan faktor beban untuk kondisi batas layan (KS_{TD} 1,0) dan ultimit (KU_{TD} 1,8)	Membedakan faktor beban untuk jembatan beton (γ_{TD}^S 1,00, γ_{TD}^U 1,00) dan jembatan boks girder baja (γ_{TD}^S 1,80, γ_{TD}^U 2,00) untuk masing masing kondisi batas layan dan ultimit
Beban "T"	Faktor Beban	Hanya memberikan faktor beban untuk kondisi batas layan (KS_{TT} 1,0) dan ultimit (KU_{TT} 1,8)	Membedakan faktor beban untuk jembatan beton (γ_{TT}^S 1,00, γ_{TT}^U 1,00) & jembatan boks girder baja (γ_{TT}^S 1,80, γ_{TT}^U 2,00) untuk kondisi batas layan dan ultimit
	Faktor Distribusi	Memberikan faktor distribusi beban T dalam arah	-

	Beban "T"	melintang untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal jembatan (Lihat Tabel 13)	
Beban Rem	Faktor Beban	Memberikan Faktor beban untuk kondisi batas layan (KS_{TB} 1,0) dan ultimit (KU_{TB} 1,8)	-
	Intensitas	5% dari beban lajur "D"	25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR
Kombinasi Pembebanan		<ul style="list-style-type: none"> Beban gempa tidak digabungkan dengan beban transien yang lain Terdiri dari dua kelompok kombinasi (Kelayanan & Ultimit) 	<ul style="list-style-type: none"> Beban gempa dikombinasikan dengan beban arus dan hanyutan Terdiri dari empat kelompok kombinasi (Kuat, Ekstem, Daya Layan & Fatik)

Tabel 1.2 Perbandingan perubahan standar perencanaan beban gempa

	Perencanaan Beban Gempa Untuk Jembatan	
	Standar Lama (RSNI2 2833-201x)	Standar Terbaru (SNI 2833 : 2016)
Peta Gempa yang Digunakan	Menggunakan Peta Gempa Indonesia tahun 2010 yang mewakili dua level <i>hazard</i> gempa dengan <i>probability of exceedance</i> 10 % dalam 50 tahun dan 7 % dalam 75 tahun	Menggunakan Peta Gempa Indonesia tahun 2012 dengan <i>probability of exceedance</i> 7 % dalam 75 tahun. Namun saat ini peta gempa rujukan merupakan Peta Gempa Indonesia 2017.
Pembagian Kategori Desain/Kinerja Seismik (KDS)	KDS A $S_{D1} \leq 0,15$ KDS B $0,15 < S_{D1} \leq 0,30$ KDS C $0,30 < S_{D1} \leq 0,50$ KDS D $S_{D1} > 0,50$	ZG 1 $S_{D1} \leq 0,15$ ZG 2 $0,15 < S_{D1} \leq 0,30$ ZG3 $0,30 < S_{D1} \leq 0,50$ ZG 4 $S_{D1} > 0,50$
Perencanaan Beban Gempa	$E_Q = \frac{C}{R} \times W_t$	$E_Q = \frac{Csm}{Rd} \times W_t$

atatan :

ZG Zona Gempa

C&Csm merupakan koefisien respons elastik yang diperoleh dari percepatan batuan dasar masing masing peta gempa yang digunakan

SK.SNI-T-03-2005 merupakan revisi bagian 7 “Perencanaan baja Struktural” dari “Peraturan Teknik jembatan Bagian 7 BMS-92”. Standar ini masih berlaku di Indonesia untuk perencanaan struktur baja untuk jembatan. Adapun penggunaan standar perencanaan struktur baja AASHTO terkini, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th edition 2017, untuk penulisan tugas akhir ini adalah berdasarkan pertimbangan pertimbangan berikut:

1. BMS 92 mengikuti Australian Standard dimana kebanyakan insinyur di Indonesia terbiasa dengan US Standard
2. Formula dan notasi yang digunakan dalam BMS 92 banyak berbeda dengan AASHTO/AISC
3. BMS 92 hanya mengatur untuk jembatan komposit I Girder dan rangka batang yang lurus
4. BMS 92 tidak mengatur tentang fraktur

Sumber : **Garuda Infrastructure Training Handout**,2019

Berdasarkan uraian diatas, perubahan standar desain awal yang terjadi juga pengenalan konsep dek kantilever *orthotropic* melatarbelakangi penulis untuk melakukan perencanaan ulang terhadap jembatan *cable stayed* Ngarai Sianok ini. Perencanaan kembali jembatan dengan berpedoman kepada standar desain terkini akan mempengaruhi perilaku struktur jembatan secara global terkhusus gaya gaya dalam yang terjadi pada masing masing elemen struktur jembatan *cable stayed* Ngarai Sianok.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dirumuskan permasalahan yang akan dianalisis pada penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana desain kantilever baja boks girder terhadap perubahan jenis kantilever dan perubahan standar perencanaan struktur baja untuk jembatan?
2. Bagaimana desain struktur atas jembatan Ngarai Sianok terhadap perubahan standar perencanaan pembebanan untuk jembatan?

1.3 Maksud & Tujuan

Maksud dan tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis struktur kantilever baja boks girder terhadap perubahan jenis struktur kantilever dan perubahan standar perencanaan struktur baja untuk jembatan AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications 8th edition, 2017*.
2. Melakukan perencanaan ulang terhadap struktur atas jembatan *cable stayed* Ngarai Sianok berdasarkan kondisi perencanaan awal dengan perubahan standar pembebanan untuk jembatan SNI 1725 : 2016.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup pembahasan pada penulisan tugas akhir ini, penulis membatasi pembahasan sebagai berikut :

1. Analisis jembatan hanya meliputi analisis pada struktur dek, sistem kabel dan *pylon*.
2. Bentuk dan penampang masing masing elemen struktur pada poin 1 kecuali penampang dek disesuaikan dengan data perencanaan awal.
3. Beban gempa rencana yang digunakan berdasarkan analisis awal (2013)
4. Tidak memperhitungkan analisis tahapan konstruksi (*Construction Stage Analysis*)
5. Aksi lingkungan yang dianalisis hanya pengaruh gempa dan angin. Beban gempa menggunakan respon spektrum yang telah dianalisis berdasarkan Studi Seismisitas awal jembatan pada 2013. Analisis gempa ini hanya untuk memeriksa kembali dimensi kolom *pylon*. Adapun beban angin yang dijadikan sebagai beban pada struktur jembatan merupakan beban angin statik yang bekerja pada struktur dan kendaraan.
6. Standar yang dijadikan acuan sebagai pedoman penulisan tugas akhir ini adalah :
 - a. Standar pembebanan untuk jembatan : SNI 1725:2016.
 - b. Standar perencanaan struktur beton untuk jembatan : SNI T-12-2004
 - c. Standar perencanaan Struktur baja berdasarkan AASHTO LRFD *Bridge Design specifications, 8th edition, 2017*.
 - d. Standar perencanaan beban gempa untuk jembatan SNI 2833:2016.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan tugas akhir ini adalah memberikan referensi desain boks girder beton kantilever baja *orthotropic* dan memberikan informasi mengenai perilaku struktur jembatan *cable stayed* Ngarai Sianok terhadap perubahan standar desain perencanaan jembatan.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Penulisan tugas akhir ini terbagi kedalam VII Bab yang sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan tugas akhir, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan referensi, pedoman dan sumber tulisan lainnya yang dijadikan sebagai dasar teori perencanaan.

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

Berisikan penjelasan mengenai langkah langkah yang akan diterapkan dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB IV PROSEDUR ANALISIS

Berisikan tahapan desain struktur dek jembatan *cable stayed* Ngarai sianok.

BAB V ANALISIS STRUKTUR JEMBATAN

Berisikan data data teknis jembatan, analisis pembebanan, pemodelan, analisa struktur kondisi layan, kondisi ultimit dan kondisi ekstrem.

BAB VI PENUTUP

Berisikan kesimpulan & saran yang diperoleh dari perhitungan & analisis.

Daftar Acuan

Daftar Referensi

Lampiran