

**ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR RANGKA BATANG (TRUSS)**

**AKIBAT BEBAN KENDARAAN**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana  
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Islam Riau  
Pekanbaru*



**OLEH :**

**WAHYU GHALY RAHMAN**

**163110150**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Syukur Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik pada fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Adapun judul dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah “**Analisis Keandalan Struktur Rangka Batang (*Truss*) Akibat Beban Kendaraan**”.

Penulisan Tugas Akhir ini dasarnya dilakukan karena penulis ingin mendalami ilmu pengetahuan tentang kajian mengenai struktur rangka batang (*truss*) dengan fungsi jembatan rangka baja dan mengetahui seberapa andal struktur dapat menahan beban kendaraan yang terjadi.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis membuka diri untuk menerima masukan, kritik, dan saran yang membangun bagi penulis demi kesempurnaan penulisan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih semoga hasil dari Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Pekanbaru, Juli 2021

WAHYU GHALY RAHMAN

NPM . 163110150

## UCAPAN TERIMA KASIH

### *Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkat rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Keandalan Struktur Rangka Batang (Truss) Akibat Beban Kendaraan**”. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan, dorongan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak lupa pula penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., MCL., selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, S.Si., M.Sc., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Ir. Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, S.T., M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau sekaligus Dosen Penguji.

8. Bapak Mahadi Kurniawan, S.T., M.T., selaku Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau sekaligus Dosen Pembimbing.
9. Ibu Sri Hartati Dewi, S.T., M.T., selaku Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau sekaligus Dosen Penguji.
10. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Bapak dan Ibu seluruh Staff Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Teristimewa orang tua penulis Ayahanda (Alm) Fauzi Darwis dan Ibunda Desnita yang telah memberikan kasih sayang, doa yang tiada henti serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Untuk Sahabat-sahabat penulis seperti Pindra Okta D, Hafis Al Hasyimi, Jumeilia Armayani, Mena Femaliana, Syaras Haryatie dan seluruh rekan Angkatan 16 Teknik Sipil dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan para senior yang telah membantu penulis selama ini.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Pekanbaru, Juli 2021

WAHYU GHALY RAHMAN

NPM. 163110150

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Umum.....	5
2.2. Penelitian Terdahulu.....	5
2.3. Keaslian Penelitian .....	7
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>8</b>
3.1. Struktur Rangka Batang .....	8
3.2. Analisis Rangka Batang .....	12

3.2.1	Stabilitas.....	12
3.2.2	Gaya Batang.....	14
3.2.3	Metode Analisis Rangka Batang.....	16
3.3.	Jembatan Rangka.....	18
3.4.	Pembebanan Jembatan Rangka.....	23
3.4.1	Beban Statis.....	23
3.4.2	Beban Kendaraan.....	25
3.4.3	Beban Angin.....	27
3.5.	Keandalan Struktur.....	30
3.6.	Probabilitas Struktur.....	32
3.7.	Analisis Koefisien Korelasi (r).....	36
3.8.	Analisis Regresi Linier.....	36
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>38</b>
4.1	Lokasi Penelitian.....	38
4.2	Jenis Penelitian.....	38
4.3	Deskripsi Umum Struktur.....	39
4.4	Data Struktur Jembatan.....	40
4.4.1	Spesifikasi Material Struktur.....	40
4.4.2	Dimensi Elemen Struktur.....	40
4.5	Pembebanan Struktur.....	41
4.5.1	Pembebanan Gravitasi.....	41
4.5.2	Pembebanan Angin.....	42
4.5.3	Variasi Pembebanan.....	43

4.6	Tahapan Penelitian .....	48
4.6.1	Persiapan Penelitian.....	48
4.6.2	Pengumpulan Data.....	48
4.6.3	Analisis Data.....	49
4.6.4	Analisis Struktur .....	50
4.6.5	Hasil Analisis.....	52
4.6.6	Kesimpulan.....	52
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>55</b>
5.1	Hasil Analisis Struktur .....	55
5.2	Hasil Nilai Rata-rata ( $\mu$ ).....	56
5.3	Hasil Nilai Standar Deviasi ( $\sigma$ ).....	57
5.4	Hasil Nilai Fungsi Kepadatan Probabilitas ( $f(x)$ ).....	58
5.5	Hasil Perhitungan Probabilitas dengan <i>Comulative Distribution Function</i> .	60
5.6	Hasil Perhitungan Keandalan Struktur ( <i>Reliability</i> ).....	61
5.7	Hasil Perhitungan Analisis Koefisien Korelasi ( $r$ ).....	63
5.8	Hasil Perhitungan Analisis Regresi Linear.....	64
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>65</b>
6.1	Kesimpulan.....	65
6.2	Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>66</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 3.1</b> Susunan Batang Yang Stabil dan Tidak Stabil.....	9
<b>Gambar 3.2</b> Struktur Rangka Batang dengan konfigurasi segitiga .....	10
<b>Gambar 3.3</b> Struktur Rangka Batang Bidang ( <i>Plane Truss</i> ) .....	11
<b>Gambar 3.4</b> Struktur Rangka Batang Ruang ( <i>Space Truss</i> ) .....	11
<b>Gambar 3.5</b> Konfigurasi Batang Stabil dan Tidak Stabil .....	12
<b>Gambar 3.6</b> Metode Pendekatan untuk Menentukan Gaya Batang pada Rangka Batang Sederhana.....	15
<b>Gambar 3.7</b> Jembatan Rangka Tipe <i>Pratt</i> .....	18
<b>Gambar 3.8</b> Jembatan Rangka Tipe <i>Howe</i> .....	18
<b>Gambar 3.9</b> Jembatan Rangka Tipe <i>Warren</i> .....	19
<b>Gambar 3.10</b> Jembatan Rangka Tipe <i>Parker</i> .....	19
<b>Gambar 3.11</b> Jembatan Rangka Tipe <i>Baltimore</i> .....	19
<b>Gambar 3.12</b> Jembatan Rangka Tipe <i>Subdivided Warren</i> .....	19
<b>Gambar 3.13</b> Jembatan Rangka Tipe <i>K-Truss</i> .....	20
<b>Gambar 3.14</b> Bagian-bagian Jembatan Rangka.....	20
<b>Gambar 3.15</b> Jenis-jenis <i>cross-section</i> atau profil rangka baja .....	21
<b>Gambar 3.16</b> Pembebanan truk “T” (500 kN).....	26
<b>Gambar 3.17</b> Konsep Keandalan Struktur .....	31
<b>Gambar 3.18</b> Penentuan Daerah Resiko Akibat Beban dan Tahanan.....	33



<b>Gambar 4.1</b>	Lokasi Penelitian .....	38
<b>Gambar 4.2</b>	Permodelan Struktur Jembatan Rangka.....	40
<b>Gambar 4.3</b>	Penomoran titik <i>joint</i> pada struktur jembatan rangka baja .....	42
<b>Gambar 4.4.1</b>	Variasi Beban 1.....	43
<b>Gambar 4.4.2</b>	Variasi Beban 2.....	44
<b>Gambar 4.4.3</b>	Variasi Beban 3.....	44
<b>Gambar 4.4.4</b>	Variasi Beban 4.....	45
<b>Gambar 4.4.5</b>	Variasi Beban 5.....	45
<b>Gambar 4.4.6</b>	Variasi Beban 6.....	46
<b>Gambar 4.4.7</b>	Variasi Beban 7.....	46
<b>Gambar 4.4.8</b>	Variasi Beban 8.....	47
<b>Gambar 4.4.9</b>	Variasi Beban 9.....	47
<b>Gambar 4.4.10</b>	Variasi Beban 10.....	48
<b>Gambar 4.5</b>	Permodelan struktur jembatan pada program STAAD.Pro V8i ..	52
<b>Gambar 4.6</b>	Uraian Pelaksanaan Penelitian.....	53
<b>Gambar 4.7</b>	Tahapan Analisis Penelitian .....	54
<b>Gambar 5.1</b>	Permodelan Struktur dengan penomoran masing-masing batang .....	55
<b>Gambar 5.2</b>	Grafik <i>Probability Density Function</i> (PDF).....	58

**Gambar 5.3** Grafik *Cumulative Distribution Function* ..... 61

**Gambar 5.4** Grafik Koefisien Korelasi..... 64

**Gambar 5.5** Grafik Garis Regresi Hubungan X dan Y..... 64



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Sifat Mekanis Baja Struktural .....	22
<b>Tabel 3.2</b> Faktor beban untuk berat sendiri .....	24
<b>Tabel 3.3</b> Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	25
<b>Tabel 3.4</b> Faktor beban untuk beban “T” .....	25
<b>Tabel 3.5</b> Nilai $V_0$ dan $Z_0$ untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu ...	28
<b>Tabel 3.6</b> Tekanan Angin Dasar .....	29
<b>Tabel 3.7</b> Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan.....	29
<b>Tabel 4.1</b> Deskripsi Umum Struktur Jembatan Rangka .....	39
<b>Tabel 4.2</b> Spesifikasi Material.....	40
<b>Tabel 4.3</b> Dimensi Rangka Baja Struktural Jembatan.....	41
<b>Tabel 4.4</b> Beban Truk “T” yang dipikul Jembatan Rangka.....	42
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Beban Angin .....	43
<b>Tabel 5.1</b> Hasil Variasi Pembebanan dalam bentuk Output Gaya Aksial pada Struktur Jembatan Rangka.....	55
<b>Tabel 5.2</b> Nilai Gaya Aksial dan $f_x(x)$ .....	58
<b>Tabel 5.3</b> Perbandingan Nilai Probabilitas Struktur dan Keandalan Struktur....	62

## DAFTAR NOTASI



C	=	Compression (gaya tekan) (kN)
E <sub>c</sub>	=	Modulus elastisitas baja (MPa)
F <sub>u</sub>	=	Tegangan putus baja (MPa)
f <sub>x</sub>	=	Fungsi Kepadatan Probabilitas
F <sub>y</sub>	=	Tegangan leleh baja (MPa)
g	=	Perepatan Gravitasi (N/mm <sup>2</sup> )
j	=	Jumlah <i>joint</i> (penghubung)
K	=	Keandalan Struktur ( <i>Reliability</i> ) (%)
n	=	Jumlah batang
P <sub>f</sub>	=	Nilai Probabilitas Kegagalan Struktur ( <i>Probability of Failure</i> ) (%)
r	=	Jumlah reaksi perletakan
T	=	<i>Tension</i> (gaya tarik) (kN)
T	=	Beban Truk (kN)
μ	=	Nilai Rata-rata
σ	=	Standar Deviasi

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A : Analisa Perhitungan
- Lampiran B : Data-Data Pendukung Dalam Penelitian
- Lampiran C : Administrasi Dalam Melakukan Penelitian



## ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR RANGKA BATANG (*TRUSS*) AKIBAT BEBAN KENDARAAN

WAHYU GHALY RAHMAN

163110150

### ABSTRAK

Keandalan struktur merupakan peluang tidak gagal atau berhasil dari suatu struktur ketika menahan beban yang bekerja. Keberhasilan suatu struktur dinyatakan apabila kondisi terburuk dari struktur yaitu kapasitas minimum struktur masih dapat menahan kondisi beban maksimum dari struktur. Diketahui suatu struktur rangka batang (*truss*) dengan fungsi jembatan rangka di Sei Mandau, Bengkalis, Riau ini terletak pada kawasan industri. Dimana pada kawasan industri ini banyak terdapat kendaraan dengan jenis truk dengan tonase besar atau berat. Maka dari itu, struktur jembatan rangka ini akan sering dilewati oleh kendaraan truk yang akan menimbulkan resiko kegagalan karena akan berpengaruh pada ketahanan dari masing-masing elemen pembentuk jembatan rangka tersebut seperti misalnya *joint-joint* dalam menahan beban kendaraan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis keandalan (reliabilitas) struktur jembatan rangka ditinjau pada semua elemen struktur akibat variasi-variasi beban kendaraan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa handal struktur atau tidak gagal dalam arti baik dalam hal kekuatan, kestabilan dan keamanan dari struktur tersebut sehingga dengan harapan dapat memenuhi tingkat keandalan sebagai infrastruktur yang baik.

Pada penelitian ini metode yang dilakukan untuk melakukan analisis perhitungan keandalan (reliabilitas) struktur menggunakan konsep probabilitas kegagalan struktur (*probability of failure*) dengan metode perhitungan distribusi normal (*Gaussian*). Perhitungan dengan metode distribusi normal ini menggunakan hasil *output* dari gaya aksial struktur sebagai variabel acak yang analisis strukturnya dihitung dengan bantuan program STAAD.Pro V8i dan pembebanannya menurut SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan. Gaya aksial struktur diambil dari gaya aksial batang paling maksimum yang terjadi akibat 10 variasi letak beban kendaraan, kemudian hasil dari probabilitas kegagalan struktur dihitung berdasarkan beban-beban yang terjadi dari 70 ton sampai 140 ton dengan interval 14 ton.

Hasil penelitian menunjukkan nilai probabilitas kegagalan struktur masing-masing beban ialah untuk 70 ton sebesar 4.46%, beban 84 ton sebesar 11.51%, beban 98 ton sebesar 27.43%, beban 112 ton sebesar 50%, beban 126 ton sebesar 72.58% dan beban 140 ton sebesar 88.49%. Sementara untuk nilai keandalan struktur ialah untuk beban 70 ton sebesar 95.54%, beban 84 ton sebesar 88.49%, beban 98 ton sebesar 72.57%, beban 112 ton sebesar 50%, beban 126 ton sebesar 27.42% dan beban 140 ton sebesar 11.51%.

Kata Kunci : Gaya Aksial, Keandalan Struktur, Probabilitas Struktur.

## RELIABILITY ANALYSIS OF TRUSS STRUCTURES (*TRUSS*) DUE TO VEHICLE LOAD

WAHYU GHALY RAHMAN  
163110150

### ABSTRACT

Structural reliability is the probability that a structure does not fail or succeed when it withstands the working load. The success of a structure is stated if the worst condition of the structure, namely the minimum capacity of the structure can still withstand the maximum load conditions of the structure. It is known that a truss structure with a truss bridge function in Sei Mandau, Bengkalis, Riau is located in an industrial area. Where in this industrial area there are many vehicles with the type of truck with large or heavy tonnage. Therefore, the structure of this truss bridge will often be passed by trucks which will pose a risk of failure because it will affect the resilience of each of the elements that make up the truss bridge, such as the joints in holding the vehicle load. Therefore, In this study, an analysis of the reliability (reliability) of the truss bridge structure is reviewed on all structural elements due to variations in vehicle loads. The purpose of this study is to find out how reliable the structure is or not fail in terms of strength, stability and security of the structure so that it can meet the level of reliability as a good infrastructure.

In this study, the method used to analyze the reliability of the structure uses the concept of probability of failure with the normal distribution (Gaussian) calculation method. The calculation with the normal distribution method uses the output axial force of the structure as a random variable whose structural analysis is calculated with the help of the STAAD.Pro V8i program and the loading according to SNI 1725:2016 regarding loading for bridges. The axial force of the structure is taken from the maximum axial force of the rod that occurs due to 10 variations in the location of the vehicle load, then the result of the probability of structural failure is calculated based on the loads that occur from 70 tons to 140 tons with an interval of 14 tons.

The results showed that the probability of structural failure for each load was 4.46% for 70 tons, 11.51% for 84 tons, 27.43% for 98 tons, 50% for 112 tons, 72.58% for 126 tons and 140 tons for loads. by 88.49%. Meanwhile, the structural reliability values are for a load of 70 tons of 95.54%, a load of 84 tons of 88.49%, a load of 98 tons of 72.57%, a load of 112 tons of 50%, a load of 126 tons of 27.42% and a load of 140 tons of 11.51%.

Keywords: Axial Force, Structural Reliability, Structural Probability.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Rangka batang (*truss*) sangat penting dalam perencanaan pembangunan karena merupakan salah satu konstruksi ringan yang mempunyai kemampuan untuk menerima beban struktur relatif besar dan mampu melayani kebutuhan bentang struktur yang panjang. Dalam perencanaan struktur, perencana dituntut untuk mendesain struktur dengan baik dalam kekuatan, kestabilan dan keamanan atau handal. Keandalan struktur merupakan peluang tidak gagal atau berhasil dari struktur ketika menahan beban yang bekerja (Adriyansyah, 2018). Keberhasilan suatu struktur dinyatakan apabila kondisi terburuk dari struktur yaitu kapasitas minimum struktur masih dapat menahan kondisi beban terburuk yang diberikan atau beban maksimum. Prinsip utamanya agar suatu struktur tidak mengalami kegagalan adalah tahanan (*resistance*) dari suatu struktur harus lebih besar daripada beban (*load*) yang bekerja pada struktur (Kurniawan, 2019). Konsep dari keandalan struktur ini tidak akan lepas dari adanya ketidakpastian kekuatan material, geometri struktur dan beban luar (Adha, 2017). Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis dari keandalan struktur untuk mengetahui seberapa handalnya struktur yang telah direncanakan dengan harapan dapat memenuhi tingkat keandalan sebagai infrastruktur yang baik.

Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan analisis keandalan (reliabilitas) struktur rangka batang (*truss*) yaitu perencanaan struktur rangka batang dengan fungsi jembatan rangka pada daerah kawasan industri di Sei Mandau, Bengkalis, Riau. Diketahui pada daerah kawasan industri ini banyak terdapat kendaraan jenis truk dengan tonase besar atau berat. Maka dari itu, jembatan rangka ini akan sering dilewati oleh kendaraan truk yang akan menimbulkan resiko kegagalan dari struktur jembatan rangka tersebut. Karena akan berpengaruh pada ketahanan dari masing-masing elemen pembentuk jembatan rangka tersebut seperti halnya *joint-joint* pada elemen struktur jembatan rangka tersebut dalam menahan beban-beban kendaraan



yang bekerja. Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan terhadap keandalan jembatan ditinjau pada semua elemen terhadap berbagai variasi beban-beban kendaraan tersebut. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai keandalan dari suatu struktur adalah dengan menghitung nilai probabilitas (peluang) kegagalan (*probability of failure*) dari struktur tersebut.

Memastikan tingkat keandalan (reliabilitas) dari struktur rangka batang (*truss*) dengan fungsi jembatan rangka baja ini akan dilakukan analisis pembebanan menurut SNI 1725:2016 dan analisis struktur dengan menggunakan program STAAD.Pro V8i yang kemudian akan ada hasil *output* gaya-gaya dalam dari struktur yang akan menjadi variabel acak dan kemudian akan dianalisis keandalan struktur tersebut dengan melakukan perhitungan dari nilai peluang gagal (*probability of failure*) dengan menggunakan metode distribusi normal (*Gaussian*).

Hal tersebut melatarbelakangi penulis untuk mengkaji penelitian dengan judul “Analisis Keandalan Struktur Rangka Batang (*Truss*) Akibat Beban Kendaraan”

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian berikut adalah:

1. Berapa nilai peluang (probabilitas) kegagalan struktur yang terjadi pada model jembatan rangka baja akibat beban kendaraan ini?
2. Berapa nilai keandalan (reliabilitas) struktur pada model jembatan rangka baja akibat beban kendaraan ini?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian berikut adalah:

1. Untuk mengetahui nilai peluang (probabilitas) kegagalan struktur jembatan rangka baja yang terjadi akibat beban kendaraan ini.
2. Untuk mengetahui seberapa besar nilai keandalan struktur yang terjadi pada model jembatan rangka baja akibat beban kendaraan ini.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pihak baik penulis dan pembaca. Adapun manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagi penulis, dapat menganalisis peluang (probabilitas) kegagalan dan keandalan (reliabilitas) dari struktur rangka batang (*truss*) ini dalam bentuk konstruksi jembatan rangka baja yang akan digunakan untuk perencanaan dalam pekerjaan kedepannya.
2. Bagi pembaca, dapat menjadi masukan referensi atau bahan acuan untuk menganalisis peluang (probabilitas) kegagalan dari struktur jembatan rangka baja yang terjadi terhadap beban kendaraan yang umum ada pada setiap daerah.

#### 1.5 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk mempersingkat dan memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Jenis struktur rangka yang akan digunakan menjadi objek analisis adalah jembatan rangka baja tipe *warren*.
2. Struktur rangka baja yang akan menjadi objek analisis mengambil data perencanaan jembatan rangka baja di Sei. Mandau, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.
3. Elemen batang rangka utama menggunakan profil baja WF (*Wide Flange*) ukuran 400 mm x 400 mm.
4. Analisa pembebanan menggunakan SNI 1725 : 2016 yaitu berat sendiri atau beban mati, beban angin dan beban kendaraan.
5. Struktur rangka batang ini merupakan Struktur Statis Tak Tentu (STT) Eksternal.

6. Analisis struktur menggunakan program STAAD.Pro V8i.
7. Perhitungan nilai peluang gagal (*probability of failure*) dari struktur menggunakan metode Distribusi Normal (*Gaussian*)
8. Perhitungan tidak termasuk menghitung struktur bawah jembatan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Tinjauan pustaka merupakan kegiatan yang meliputi mencari, membaca dan mendengarkan laporan-laporan penelitian dan bahan pustaka yang memuat teori-teori yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Kegiatan ini merupakan bagian yang penting dari pendekatan ilmiah yang harus dilakukan dalam setiap penelitian ilmiah dalam suatu bidang ilmu. Hasil dari kegiatan ini merupakan materi yang akan disajikan untuk menyusun dasar atau kerangka teori penelitian yang dalam usulan atau laporan penelitian. Pada penelitian ini penulis menggunakan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah diterbitkan dan dari buku-buku atau artikel yang ditulis para peneliti terdahulu.

#### 2.2. Penelitian Terdahulu

Beberapa tinjauan pustaka memuat uraian sistematis tentang hasil-hasil penelitian yang didapat oleh penulis terdahulu serta memiliki hubungan erat dengan penelitian yang sedang dilakukan sehingga dapat memberikan solusi untuk pemecahan masalah pada penelitian yang sedang dilakukan.

Dhias Pratama Lazuarfy (2017), telah melakukan penelitian dengan judul "*Analisis Performansi Jembatan Rangka Baja Tipe Warren Akibat Variasi Beban Berjalan*". Pada pelaksanaan penelitian ini dilakukan penelitian analisis terhadap jembatan rangka baja yang umum di Indonesia, yaitu tipe Warren dengan simulasi menggunakan Ansys. Validasi matematis dan simulasi Ansys pada beam, truss, dan modal analysis menghasilkan nilai yang hampir mendekati, dengan error maksimum berturut-turut sebesar 0,72%, 1,078%, dan 0,35%. Setelah melakukan verifikasi kelayakan statis, diperoleh deformasi maksimum adalah 44,965 mm, dan tegangan maksimum adalah 134,32 MPa. Dengan demikian, jembatan ini sudah memenuhi kelayakan SNI. Pada simulasi dinamis, digunakan variasi jumlah kendaraan sebanyak 1, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 truk dengan kecepatan 5, 10, 20 m/s. Dari analisis modal,

diperoleh frekuensi 2,6172 Hz sebagai frekuensi yang paling berpotensi mengguncang jembatan. Hasil simulasi dinamis menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum sebesar 0,4401 MPa terjadi pada beban 12 truk berkecepatan 5 m/s. Akselerasi maksimum (767,97 mm/s<sup>2</sup>) dan rata-rata (82,42 mm/s<sup>2</sup>) yang terbesar terjadi pada beban 12 truk berkecepatan 20 m/s. Hampir seluruh variasi menghasilkan nilai frekuensi jembatan yang jauh dari frekuensi natural, kecuali pada 2 truk berkecepatan 10 m/s yang menghasilkan frekuensi 2,641 Hz. Dalam penelitian ini dalam pengerjaannya, terdapat dua proses inti yang dilakukan penulis pada tugas akhir ini, yaitu proses verifikasi statis jembatan dan analisis respons dinamis jembatan.

Petra Junita Laia (2019), telah melakukan penelitian dengan judul “*Analisis Struktur Rangka Batang Dengan Metode Kekakuan*”. Pada pelaksanaan penelitian ini dilakukan analisis struktur rangka batang yang tepat dan akurat untuk menyelidiki reaksi dan gaya yang bekerja dalam setiap elemen rangka batang. Dalam tugas akhir analisis dilakukan pada dua bentuk struktur rangka batang yaitu bentuk *pratt* dan *howe*. Letak beban vertical ( $P_v = 30 \text{ T}$ ) bervariasi dan beban horizontal ( $P_h = 7,5 \text{ T}$ ) tetap dititik 2. Panjang dan tinggi bentang untuk masing-masing bentuk sama serta menggunakan profil baja yang sama yaitu  $\angle 100. 100.10$ . Analisis dilakukan untuk menghitung deformasi elemen rangka batang serta membandingkan pengaruh perletakan beban pada titik yang berbeda terhadap deformasi struktur rangka batang dengan menggunakan metode kekakuan yang dibantu dengan *microsoft excel* serta dibandingkan dengan program komputer. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan “bentuk daripada struktur rangka batang mempengaruhi deformasi yang terjadi dimana bentuk *howe* memiliki deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk *pratt*”. Metode analisis yang dilakukan pada struktur rangka batang dengan metode kekakuan dan menggunakan aplikasi pembantu analisis struktur yaitu SAP2000. Analisa konstruksi yang dilakukan terdiri dari elemen, simpul, *constrain* dan *degree of freedom*.

Euneke Widyaningsih (2020), telah melakukan penelitian dengan judul “*Evaluasi Keandalan Jembatan Gantung Pejalan Kaki Dengan Variasi Letak dan Jenis Beban Lalu Lintas*”. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi keandalan sebuah jembatan gantung dengan panjang total 127,34 meter. Jembatan gantung dirancang sesuai dengan panduan untuk perencanaan jembatan gantung dengan judul Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki. Agar dapat mengetahui perilaku jembatan terhadap beban yang direncanakan, dibuatlah permodelan jembatan menggunakan software MidasCIVIL dengan menggunakan 4 variasi letak pembebanan dan 80 variasi beban mewakili bobot pejalan kaki dan kendaraan bermotor roda dua. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui nilai keandalan struktur yang direncanakan sesuai dengan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010 terhadap variasi beban pejalan kaki dan kendaraan motor yang sesungguhnya mungkin terjadi di jembatan. Evaluasi struktur menggunakan metode *probability* based menghasilkan keandalan struktur jembatan sebesar 100% yang dianalisis terhadap lendutan tegangan kabel, tegangan batang penggantung serta tegangan pilar. Sehingga dapat dikatakan bahwa beban 5 kPa yang disyaratkan oleh pedoman memiliki nilai yang konservatif dan akan menghasilkan struktur yang sangat aman.

### **2.3. Keaslian Penelitian**

Judul yang diajukan oleh peneliti dalam penelitian Tugas Akhir ini memang terdapat kesamaan dengan judul-judul peneliti terdahulu tetapi memiliki perbedaan-perbedaan seperti lokasi penelitian, tipe jembatan, spesifikasi jembatan dan fungsi jembatan. Maka dari itu seluruh penelitian ini adalah benar hasil penelitian penulis dan penelitian ini belum pernah diteliti sebelumnya sebagai objek penelitian Tugas Akhir.

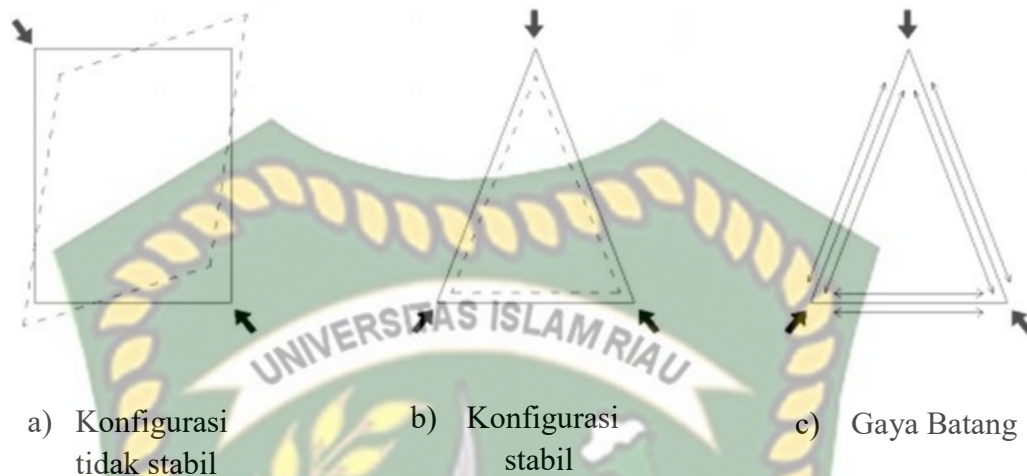
## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1. Struktur Rangka Batang

Rangka batang adalah suatu struktur yang terdiri dari sejumlah besar batang yang dihubungkan satu sama lain pada kedua ujungnya dan diengsel bersama untuk membentuk suatu kesatuan struktur yang kokoh. Rangka batang adalah suatu struktur dimana elemen-elemen linier disusun dalam pola segitiga dalam bentuk batang lurus yang relatif pendek. Kerangka yang terbuat dari elemen individu akan melorot secara keseluruhan di bawah beban, seperti balok yang dibebani secara lateral. Setiap elemen batang tidak menekuk, hanya gaya tarik atau tekan yang dihasilkan pada setiap elemen batang (Ariestadi, 2008).

Struktur rangka batang adalah salah satu jenis struktur yang paling populer karena nilai fungsional dan kepraktisannya. Struktur rangka batang terdiri dari elemen-elemen batang yang dihubungkan dengan suatu geometri tertentu, sehingga pada saat sebuah simpul (pertemuan antar batang) dibebani struktur tersebut memberikan beban aksial pada tumpuan (batang) tersebut yaitu gaya tarik atau tekan (Dewobroto, 2017). Kebanyakan sambungan rangka batang di lapangan sebenarnya tidak berfungsi sebagai sambungan sendi, melainkan bersifat kaku. Misalnya elemen batang dan las, baut, atau paku keling (Dewobroto, 2017).

Bentuk struktur rangka paling sederhana yang dapat dirakit menjadi satu atau lebih unit segitiga. Karena strukturnya yang stabil, maka dipilih pola susunan segitiga. Struktur rangka biasanya ditempatkan pada dua perletakan. Perletakan ini pada prinsipnya sesuai dengan perletakan struktur balok, yaitu perletakan sendi atau rol. Titik-titik sambungan yang menghubungkan elemen-elemen rangka batang disebut node atau titik hubung (*joint*).



**Gambar 3.1** Susunan Batang Yang Stabil dan Tidak Stabil

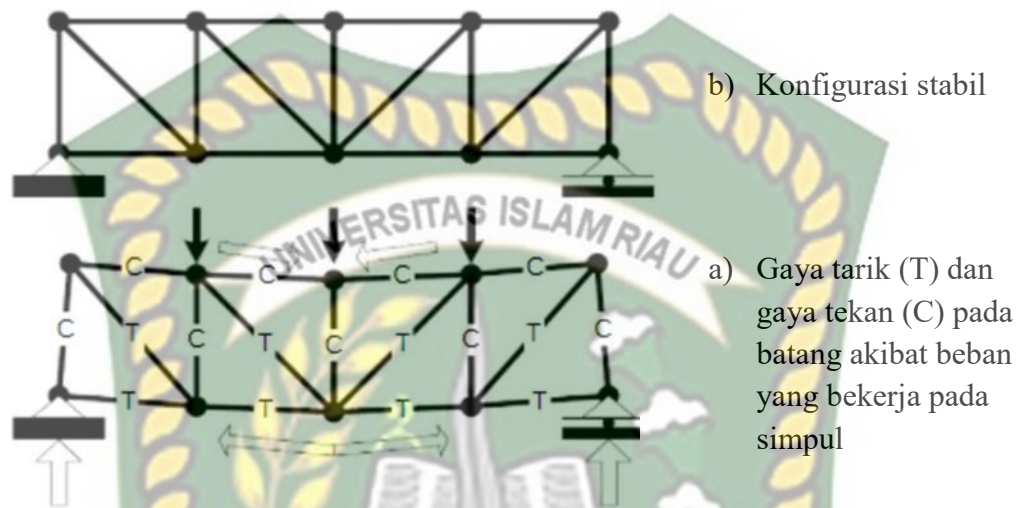
(Sumber: Dian Ariestadi, 2008)

Jika struktur seperti pada gambar 3.1 (a) akan menjadi tidak stabil karena deformasi atau perubahan bentuk ketika beban diterapkan. Struktur yang tidak stabil diberi beban menunjukkan mekanisme kegagalan. Namun, konfigurasi segitiga yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 (b) tidak dapat terjadi deformasi seperti pada contoh sebelumnya. Oleh karena itu, konstruksi bentuk segitiga ini stabil. Untuk struktur yang stabil, sudut antara dua batang tidak berubah jika dibebani. Hal ini berbeda dengan mekanisme dalam bentuk struktur yang tidak stabil, dimana sudut antara kedua batang sangat berubah diberi beban. Dalam gambar. 3.1 (c) menunjukkan gaya batang yang dihasilkan pada struktur stabil akibat beban eksternal yang bekerja.

Dengan rangkaian batang dengan bentuk segitiga maka batang-batang akan saling menumpu satu sama lain. Apabila beban bekerja pada rangkaian batang tersebut, maka beban yang bekerja pada titik hubung (*joint*) baik beban eksternal maupun beban sendiri batang akan terdistribusi ke elemen-elemen batang yang ada. Akibatnya beban tersebut akan menekan salah satu atau dua batang disebut batang



tekan (*compression*) dan akan mengakibatkan tertariknya batang lain disebut batang tarik (*tension*).

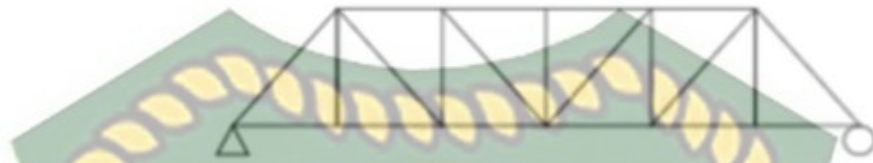


**Gambar 3.2** Struktur Rangka Batang dengan Konfigurasi Segitiga  
(Sumber: Dian Ariestadi, 2008)

Karena aksi beban eksternal, semua bagian menjadi berada dalam keadaan tertekan atau tertarik. Untuk rangka batang yang hanya menyalurkan beban vertikal, biasanya terdapat gaya tekan di bagian atas batang dan gaya tarik di bagian bawah. Gaya tarik atau tekan ini dapat terjadi pada elemen manapun, dengan pola gaya yang terjadi tekan dan tarik secara bergantian. Batang mengalami gaya tarik atau tekan karena kerangka hanya dibebani dengan beban terpusat yang bekerja pada titik sambungan (*joint*). Ketika beban bekerja langsung pada batang, batang juga mengalami tegangan lentur selain tegangan tarik atau tekan. Hal ini memperumit desain batang dan mengurangi efisiensi keseluruhan rangka batang.

Secara umum dalam analisis struktur rangka batang dikenal dua tipe struktur sebagai berikut:

1. Rangka Batang Bidang (*Plane Truss*)



**Gambar 3.3** Struktur Rangka Batang Bidang (*Plane Truss*)

(Sumber: Dian Ariestadi ,2008)

Struktur rangka batang bidang adalah kumpulan elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga pada bidang yang sama.

2. Rangka Batang Ruang (*Space Truss*)



**Gambar 3.4** Struktur Rangka Batang Ruang (*Space Truss*)

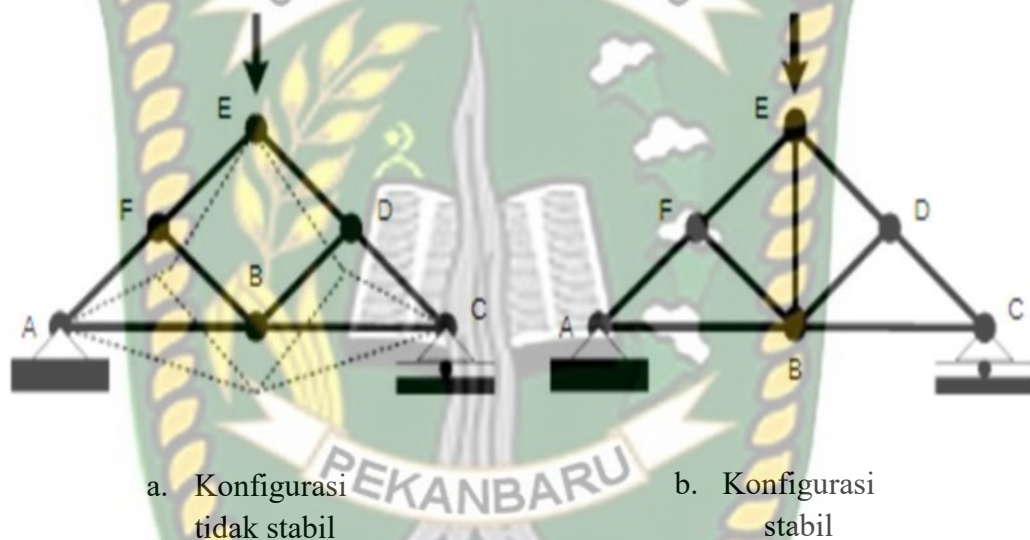
(Sumber: Basalamah, 2015)

Struktur rangka batang ruang adalah kumpulan elemen linier dalam bentuk segitiga atau kombinasi segitiga yang bersama-sama membentuk volume tiga dimensi (ruang).

## 3.2. Analisis Rangka Batang

### 3.2.1 Stabilitas

Tahap awal analisis rangka batang yaitu untuk menentukan apakah kerangka batang memiliki konfigurasi yang stabil atau tidak. Secara umum, rangka batang yang merupakan susunan dengan segitiga memiliki struktur yang stabil. Pola penempatan batang tidak segitiga umumnya kurang stabil dan akan runtuh diberi beban karena batang tidak cukup untuk mempertahankan hubungan geometris antara titik hubungannya.



**Gambar 3.5** Konfigurasi Batang Stabil dan Tidak Stabil

(Sumber: Dian Ariestadi, 2008)

Suatu rangka batang memungkinkan menggunakan tiang yang melebihi minimum yang diperlukan untuk stabilitas. Penting untuk mengetahui apakah konfigurasi batang stabil atau tidak stabil. Runtuh terjadi ketika struktur yang tidak stabil diberi beban. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kestabilan rangka batang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n = 2j - r \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:

$n$  = jumlah batang

$j$  = jumlah *joint* (penghubung)

$r$  = jumlah reaksi perletakan

Dengan rumus diatas kita bisa menentukan jenis sifat struktur, yaitu:

- a. Bila  $n < 2j - r$  : Struktur Tidak Stabil
- b. Bila  $n = 2j - r$  : Struktur Statis Tertentu (Struktur Stabil)
- c. Bila  $n > 2j - r$  : Struktur Statis Tak Tentu

Dalam hal pembagian struktur rangka batang berdasarkan sifat statisnya, dapat dibedakan menjadi:

1. Struktur Statis Tertentu

Ciri:

$$n = 2s - 3$$

$$r = 3$$

2. Struktur Statis Tak Tertentu

a) Struktur Statis Tak Tertentu Internal

Ciri:

$$n > 2s - 3$$

$$r = 3$$

b) Struktur Statis Tak Tertentu Eksternal

Ciri:

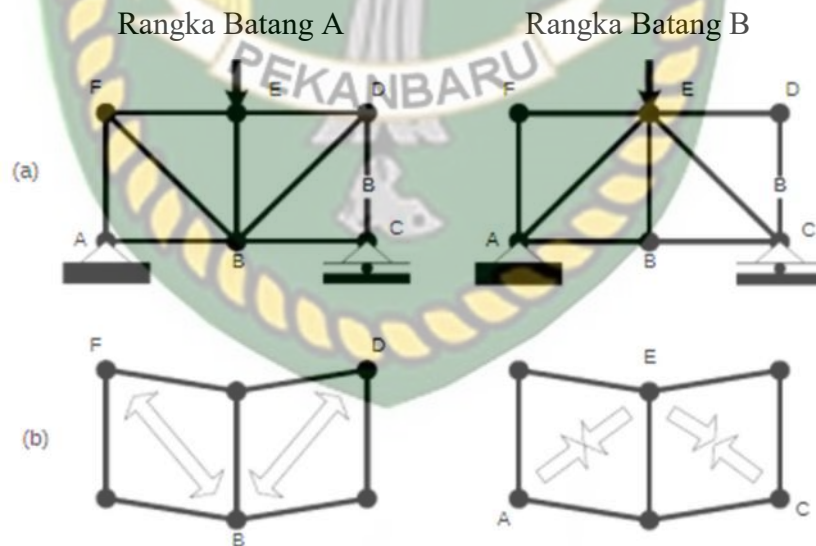
$$n = 2s - 3$$

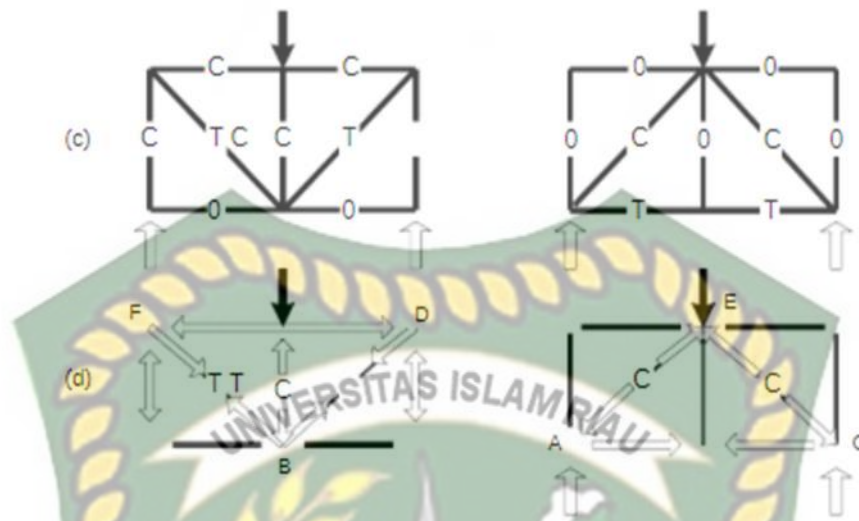
$$r > 3$$

### 3.2.2 Gaya Batang

Prinsip dasar dalam analisis gaya-gaya batang yaitu bahwa tiap struktur atau tiap bagian dari struktur harus berada dalam keadaan setimbang. Gaya-gaya batang yang bekerja pada semua komponen struktur pada titik-titik sambungan rangka harus dalam keadaan setimbang. Prinsip inilah yang menjadi kunci utama dalam analisis rangka batang (Ariestadi, 2008).

Untuk rangka batang sederhana, gaya dalam setiap batang atau yang biasa disebut gaya batang, dapat ditentukan dengan cara yang berguna dengan menunjukkan bagaimana rangka dapat menahan beban. Salah satu cara untuk melakukannya adalah dengan menggambarkan bentuk deformasi atau perubahan bentuk yang dapat terjadi pada struktur yang akan terlihat tanpa adanya batang dengan karakteristik gaya yang diketahui. Oleh karena itu, jenis gaya berupa tarik atau tekan batang dapat diketahui dengan menganalisis pencegahan deformasi atau perubahan bentuk





**Gambar 3.6** Metode Pendekatan untuk Menentukan Gaya Batang pada Rangka Batang Sederhana

(Sumber: Dian Ariestadi, 2008)

Gambar (a) : Pola bentuk rangka batang dasar (Perbedaan letak batang diagonal rangka batang A dan B)

Gambar (b) : Jenis gaya dari batang diagonal (tarik atau tekan) dapat ditentukan dengan awalnya membayangkan tidak adanya batang dan memeriksa kecenderungan rangka untuk berubah bentuk. Oleh karena itu, batang diagonal antara B dan F pada kerangka A tertarik karena membantu mencegah titik B dan F terpisah.

Gambar (c) : Jenis gaya batang pada rangka batang tersebut

**C = Compression (gaya tekan)**

**T = Tension (gaya tarik)**

Gambar (d) : Kita dapat menggunakan analogi "kawat" atau pelengkung untuk menentukan jenis tekan atau tarik dari gaya batang. Di batang A, batang FBD dibayangkan sebagai "kawat" dan tentu saja terjadi gaya tarik (T). Batang lainnya membantu menyeimbangkan "kawat" dari konfigurasi dasar tersebut.

Prinsip dasar dalam menghitung gaya batang rangka untuk semua jenis rangka batang adalah bahwa kesetimbangan terjadi pada semua bagian atau keseluruhan struktur.

### 3.2.3 Metode Analisis Rangka Batang

Dalam melakukan analisis rangka batang untuk menyelesaikan perhitungan konstruksi rangka batang, terdapat berbagai metode diantaranya sebagai berikut:

#### 3.2.3.1 Cara Grafis

##### a. Metode Cremona

Metode Cremona adalah metode menghitung secara grafis gaya batang yang diterapkan pada struktur batang berdasarkan keseimbangan gaya pada setiap titik sambungan. Metode ini diselesaikan dengan alat tulis dan penggaris (segitiga). Dengan metode ini, jika skala gambar terlalu kecil akan sulit untuk diamati, sehingga skala gambar akan sangat mempengaruhi kekuatan batang.

#### 3.2.3.2 Cara Analitis

##### a. Metode Keseimbangan Titik Buhul (*Joint*)

Pada saat menghitung rangka batang menggunakan metode titik buhul (*joint*), rangka batang dianggap sebagai kombinasi dari batang dan titik hubung. Gaya batang diperoleh dengan memeriksa keseimbangan titik buhul. Setiap titik buhul harus berada dalam kesetimbangan sehingga  $\Sigma H = 0$  dan  $\Sigma V = 0$  digunakan untuk perhitungan gaya yang belum diketahui. Metode keseimbangan titik buhul (*joint*) biasanya digunakan ketika ingin mengetahui gaya aksial tekan atau tarik dari setiap batang.

##### b. Metode Keseimbangan Potongan (*Ritter*)

Metode keseimbangan potongan (*ritter*) merupakan cara yang mencari gaya batang dengan potongan atau irisan analitis. Metode ini umumnya

hanya memotong tiga batang mengingat hanya ada tiga persamaan statika saja, yaitu  $\Sigma M = 0$ ,  $\Sigma H = 0$ , dan  $\Sigma V = 0$ . Perbedaan metode *ritter* dengan metode kesetimbangan titik sambung adalah dalam peninjauan keseimbangan perputarannya. Metode kesetimbangan titik sambung cara yang digunakan untuk mengetahui semua gaya batang. Sementara, metode potongan biasanya digunakan hanya untuk mengetahui sejumlah terbatas gaya batang (Ariestadi, 2008).

c. Metode Matriks Kekakuan

Metode matriks kekakuan (metode perpindahan) merupakan metode yang digunakan dalam analisis struktur menggunakan matriks. Metode matriks kekakuan diperlukan untuk menentukan responsivitas struktural di kedua bidang perpindahan (translasi dan rotasi) dan bidang gaya (gaya aksial, gaya lintang, momen lentur, torsi) dalam langkah idealisasi struktural untuk dapat membuat persamaan linear. Metode matriks kekakuan sering digunakan untuk menganalisis perhitungan rangka batang karena akurasi yang tinggi. Metode matriks ini memiliki keunggulan karena mudah diprogram di komputer. Perkembangan yang pesat di bidang komputer membuat analisis struktur terkait dengan metode matriks kekakuan menjadi sangat populer sehingga dapat dilakukan dengan menggunakan komputer. Ini karena langkah-langkah analisis metode matriks kekakuan sangat berurutan dan terstruktur sehingga dapat dengan mudah diprogram di komputer. Dengan teknik matriks kekakuan, analisis struktur yang kompleks atau rumit dapat dikerjakan dengan mudah dan cepat jika menggunakan bantuan komputer (Junita, 2019).

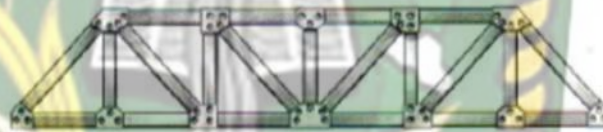


### 3.3. Jembatan Rangka

Jembatan rangka (*truss bridge*) merupakan jembatan yang terdiri dari batang-batang yang dihubungkan oleh pelat buhul yang diikat dengan paku keling, baut, atau las. Tidak seperti pada jembatan lain yang menyalurkan gaya lentur dan gaya lintang, jembatan rangka ini hanya memikul gaya dalam aksial dengan jenis tarik atau tekan. (Nasution, 2012).

Jembatan rangka terdiri dari struktur rangka yang biasanya berasal dari bahan baja yang disusun dengan menyambungkan beberapa batang dengan baut atau las sehingga membentuk pola-pola segitiga. Jembatan rangka biasa digunakan pada bentang 20 meter sampai 375 meter (Satyarno, 2003).

Jembatan rangka dibedakan menjadi beberapa tipe. Tipe-tipe jembatan diantaranya sebagai berikut:



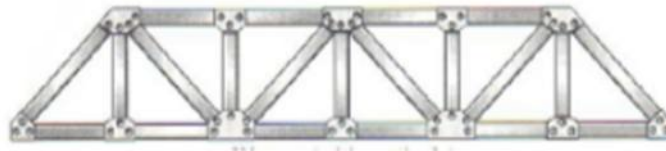
**Gambar 3.7** Jembatan Rangka Tipe *Pratt*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)



**Gambar 3.8** Jembatan Rangka Tipe *Howe*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)



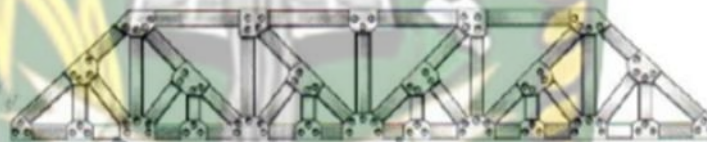
**Gambar 3.9** Jembatan Rangka Tipe *Warren*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)



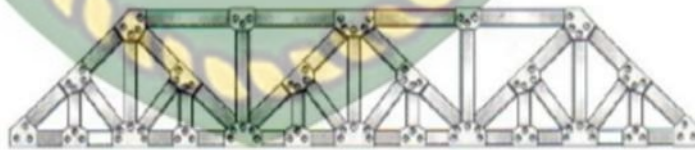
**Gambar 3.10** Jembatan Rangka Tipe *Parker*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)



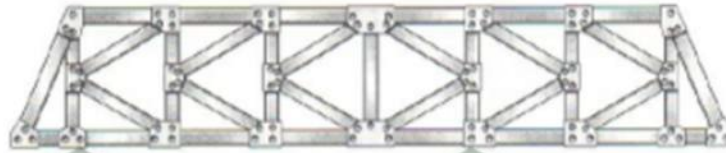
**Gambar 3.11** Jembatan Rangka Tipe *Baltimore*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)



**Gambar 3.12** Jembatan Rangka Tipe *Subdivided Warren*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)

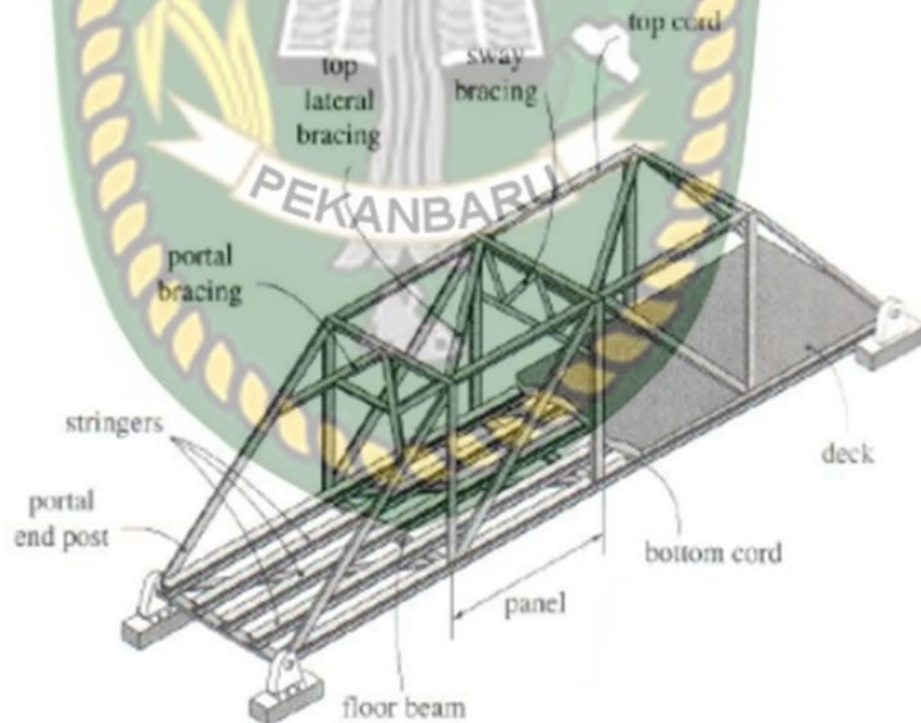


**Gambar 3.13** Jembatan Rangka Tipe *K-Truss*

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)

Analisis dalam tugas akhir ini menggunakan rangka tipe *warren*. Tipe *warren* ini dipilih karena termasuk tipe rangka batang yang sederhana dan banyak dipakai. Sehingga diharapkan hasil dari penelitian ini dapat sebagai pertimbangan untuk perencanaan jembatan rangka batang selanjutnya.

Elemen-elemen struktur dari tipikal jembatan rangka atau komponen-komponen dari jembatan rangka adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.14** Bagian-bagian Jembatan Rangka

(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)

Beban pada pelat lantai jembatan (*deck*) dilanjutkan ke gelagar anak (*stringers*), dari gelagar anak (*stringers*) diteruskan ke gelagar utama (*floor beam*), dan dilanjutkan ke kedua perletakan di kedua ujung jembatan. Gelagar atas (*top chord*) dan bawah (*bottom cord*) rangka jembatan pada kedua sisinya dihubungkan oleh *lateral bracing* atas dan bawah untuk menahan beban lateral yang disebabkan oleh angin dan pergerakan kendaraan.

Rangka jembatan memiliki banyak variasi bentuk profil rangka baja atau *cross section*, seperti tertera pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.15** Jenis-jenis *Cross-Section* atau Profil Rangka Baja

(Sumber: Ressler, 2001)

Adapun rangka jembatan menggunakan baja sebagai bahan penyusunnya, baja sebagai bahan konstruksi mempunyai beberapa sifat fisik dan mekanis yang dapat mempengaruhi kekuatan suatu konstruksi. Sifat fisik dan mekanis yang dimiliki oleh baja terdiri dari tegangan, kekuatan tarik baja (*tensile strength*), kekuatan leleh (*yield strength*), keuletan baja (*toughness*), keliatan (*ductility*), dan kekerasan (*hardness*).

**Tabel 3.1** Sifat Mekanis Baja Struktural (SNI 03-1729-2002)

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sifat mekanik struktural baja adalah kemampuan material tersebut untuk memberikan ketahanan ketika material tersebut dikenai beban. Atau bisa dikatakan bahwa sifat mekanik material dalam hal kekuatan menahan beban eksternal (Alunat, 2016). Sifat penting dari baja adalah kekuatan menahan gaya tarik.

Jika baja tidak mengalami deformasi selama regangan awal dan tidak ada deformasi yang terjadi bahkan jika beban regangan dihilangkan, baja kembali ke bentuk aslinya. Deformasi ini disebut regangan elastis karena bahan tetap elastis. Hubungan antara tegangan dan regangan dalam keadaan elastis disebut modulus elastisitas atau *Modulus Young*. Tiga jenis tegangan terjadi pada baja, yaitu:

1. Tegangan, dimana baja masih dalam keadaan elastis.
2. Tegangan leleh, dimana baja mulai rusak atau leleh.
3. Tegangan plastis atau tegangan maksimum baja, dimana baja mencapai kekuatan maksimum.

Kekerasan baja adalah tahanan baja berdasarkan menggunakan jumlah kekuatan yang bisa menembus bagian permukaan baja. Ketangguhan baja merupakan interaksi antara jumlah energi yang bisa diserap baja hingga baja putus. Sifat mekanis baja sangat krusial pada desain konstruksi. Sifat ini diperoleh berdasarkan uji tarik baja, uji melibatkan pembebanan tarik sampel baja dan dilakukan pembebanan dan panjangnya kemudian diperoleh tegangan dan regangannya.

### 3.4. Pembebanan Jembatan Rangka

Dalam menjalankan fungsinya, setiap struktur Teknik Sipil akan menerima pengaruh beban dari luar yang perlu dipikul. Dalam halnya seperti struktur yang akan diteliti saat ini yaitu struktur jembatan rangka. Selain pengaruh dari beban luar, sistem struktur yang terbuat dari material bermassa, juga akan memikul massanya sendiri akibat pengaruh gravitasi (Azizur, 2016).

Dalam menganalisis dan merancang struktur suatu bangunan, perlu dipahami dengan jelas perilaku yang terjadi dan besarnya beban yang bekerja pada struktur tersebut. Untuk karakteristik beban yang dimaksudkan untuk perhitungan statis, penting untuk memisahkan beban statis dan dinamis. Secara umum beban yang bekerja pada struktur dapat dibagi menjadi beban statis, beban dinamis, beban kendaraan, beban angin, dan beban gempa. Namun, penelitian ini hanya membahas beban statis, beban kendaraan, dan beban angin.

#### 3.4.1 Beban Statis

Beban statis adalah beban yang terus menerus diterapkan pada struktur tanpa memandang waktu. Nilai yang dihasilkan tidak berubah dari waktu ke waktu (Azizur, 2016). Oleh karena itu, suatu beban diklasifikasikan sebagai beban statis (*static load*) apabila perubahan kekuatan beban tersebut cukup lambat sehingga pengaruh waktu tidak dominan. Beban statis disebut juga beban permanen, yaitu beban tetap. Beban permanen ini meliputi berat sendiri dan beban statis tambahan.

##### 3.4.1.1 Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Faktor beban untuk berat sendiri (SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85

Massa setiap bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang ditunjukkan pada gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat suatu bagian bangunan adalah massa dikalikan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Beban mati jembatan merupakan penjumlahan dari berat masing-masing elemen struktur dan elemen nonstruktural. Masing-masing komponen ini harus dipertimbangkan secara keseluruhan ketika menerapkan faktor beban normal dan faktor beban dikurangi. Perencana jembatan harus menggunakan keahlian mereka untuk menentukan komponen-komponen ini.

#### 3.4.1.2 Beban mati tambahan/utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh material yang membentuk beban jembatan, yaitu beban pada jembatan yaitu elemen non-struktural yang dapat berubah sepanjang umur jembatan. Dalam beberapa kasus, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dari yang ditentukan dalam tabel dapat digunakan dengan persetujuan instansi terkait. Hal ini dapat dilakukan jika instansi mengendalikan beban mati tambahan pada jembatan agar tidak terlampaui selama umur jembatan.

**Tabel 3.3** Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 1725:2016)

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan			
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan <sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Menurut SNI 1725:2016, yang termasuk ke dalam beban mati tambahan adalah sebagai berikut:

- a. Aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari.
- b. Sarana lain di jembatan.
- c. Pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lain.

### 3.4.2 Beban Kendaraan

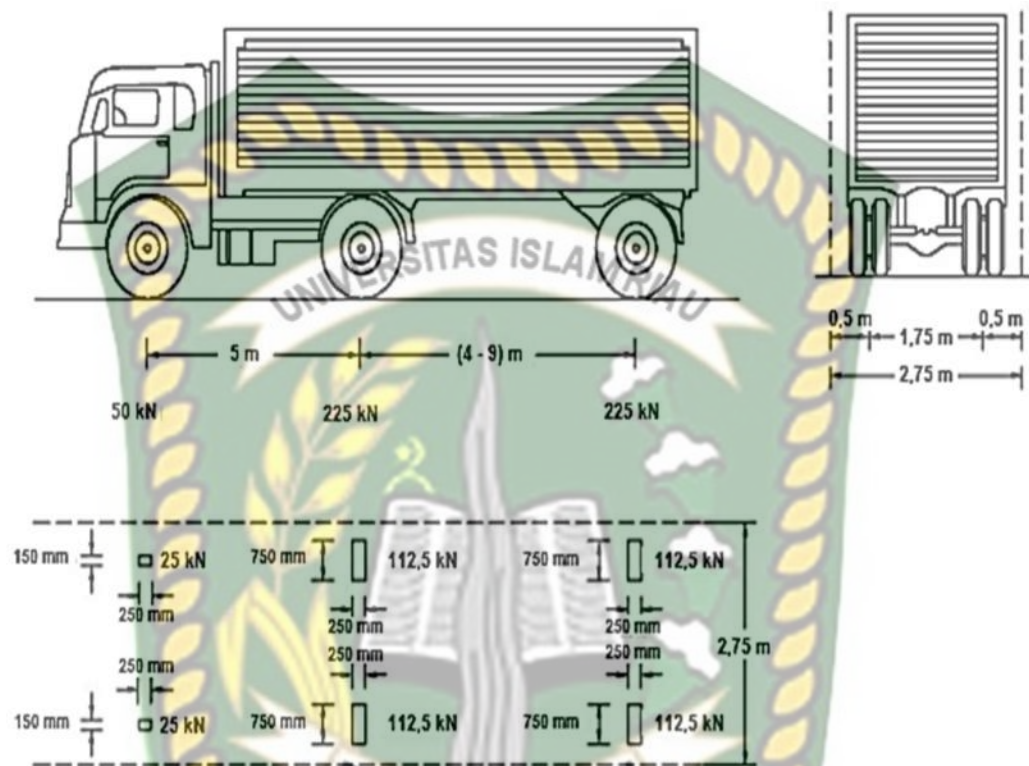
Beban Kendaraan yang dipakai dalam analisis ini menurut SNI 1725:2016 adalah Beban truk "T". Beban truk ini dapat digunakan untuk penginputan pembebanan yang terjadi dilantai dari struktur jembatan rangka ini. Adapun faktor beban untuk beban "T" seperti terlihat pada tabel berikut:

**Tabel 3.4** Faktor beban untuk beban "T" (SNI 1725:2016)

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TT}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TT}^U$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00



Pembebanan truk “T” ini terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dari gambar berikut:



**Gambar 3.16** Pembebanan truk “T” (500 kN)

(Sumber: SNI 1725:2016)

Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 meter sampai dengan 9,0 meter untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Namun, penulis disini menggunakan jarak 10,0 meter dengan alasan dilapangan banyak truk yang menjadi objek memiliki jarak antara 2 gandar yaitu dengan jarak 10,0 meter.

### 3.4.3 Beban Angin

Beban angin diasumsikan terdistribusi secara merata di atas permukaan angin terbuka. Luas area yang dihitung adalah luas total semua komponen yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus diubah agar memiliki efek yang paling merugikan pada struktur jembatan atau komponennya. Area yang tidak berkontribusi dapat diabaikan saat perencanaan.

Tekanan angin yang ditentukan pada peraturan ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar hingga 90 hingga 126 km/jam. Kecepatan rencana ( $V_{DZ}$ ) harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \dots\dots\dots(3.2)$$

$V_{DZ}$  adalah kecepatan angin rencana ada elevasi rencana, Z (km/jam)

$V_{10}$  adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm.

Z adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$V_o$  adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_o$  adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada tabel 28 (mm)

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan

- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  s/d  $126$  km/jam

**Tabel 3.5** Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu  
(SNI 1725:2016)

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_0$ (mm)	70	1000	2500

Beban angin yang dapat ditentukan dalam SNI 1725:2016 ini dalam bentuk tekanan angin horizontal ada dua, yaitu beban angin pada struktur ( $EW_s$ ) dan beban angin pada kendaraan ( $EW_1$ ).

#### 3.4.3.1 Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal kecuali ditentukan lain. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan:

$P_B$  adalah tekanan angin dasar (MPa)

**Tabel 3.6** Tekanan angin dasar (SNI 1725:2016)

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/m pada bidang tekan dan 2,2 kN/m pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/m pada balok atau gelagar.

#### 3.4.3.2 Beban angin pada kendaraan ( $E_{W1}$ )

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam peraturan ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun parallel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam tabel 3.4 dibawah ini sebagai berikut dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 3.7** Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan (SNI 1725:2016)

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N/mm
0	1,46	0,00

**Tabel 3.7** (Lanjutan)

15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

### 3.5. Keandalan Struktur

Secara umum, keandalan struktur (*reliability*) merupakan peluang tidak gagal atau berhasil dari suatu struktur ketika menahan beban yang bekerja (Adriyansyah, 2018). Keberhasilan suatu struktur dinyatakan apabila kondisi terburuk dari struktur (kapasitas minimum struktur) masih dapat menahan kondisi beban terburuk yang diberikan (beban maksimum). Namun dengan tahanan dan beban yang berbentuk fungsi distribusi dari variabel-variabel acak, prinsip ini tidak bisa mempertimbangkan ketidakpastian yang terjadi baik pada fungsi tahanan maupun pada fungsi beban (Widyaningsih, 2020). Maka dari itu, perlulah tahanan dan beban ini dinyatakan dalam suatu fungsi yang dimodelkan dengan variabel-variabel acak.

Konsep keandalan struktur tidak lepas dari adanya ketidakpastian dalam struktur yang meliputi ketidakpastian kekuatan material, geometri struktur, dan beban luar (Adha, 2017). Ketidakpastian suatu fungsi variabel dalam struktur dihitung secara empiris melalui berbagai penelitian-penelitian dan uji coba. Berdasarkan data-data primer tersebut fungsi variabel dalam struktur disusun secara matematis.

Keandalan struktur batang pada jembatan rangka dapat dianalisis atau dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$K = 1 - P_f \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana : K = Keandalan Struktur (*Reliability*)

Pf = Nilai Probabilitas Kegagalan Struktur (*Probability*)

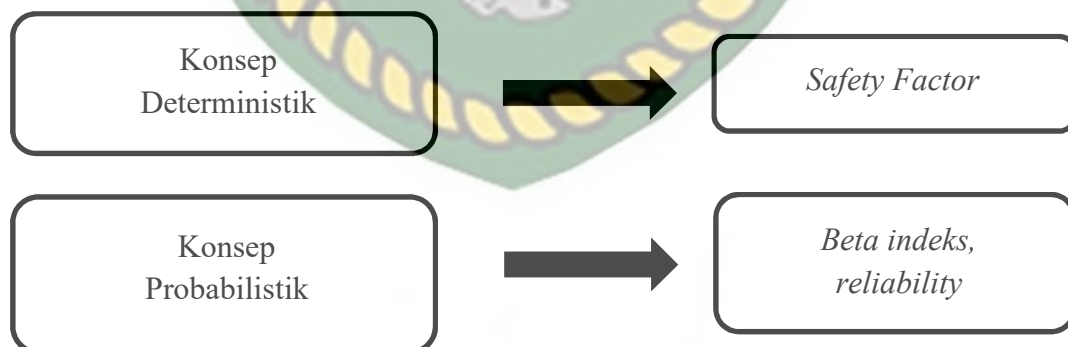
Ada dua konsep dari keandalan struktur yang bisa dipakai oleh ahli struktur untuk menghadapi perkembangan dunia struktur konstruksi yang semakin modern dan permasalahan desain yang semakin kompleks (Adriyansyah, 2018). Dua konsep tersebut akan diuraikan dan dijelaskan sebagai berikut:

1) Konsep Deterministik

Konsep deterministik adalah konsep desain yang mengartikan keamanan suatu struktur dengan faktor keamanan yang dikombinasikan dengan analisis tegangan elastis atau tegangan akibat beban kecil dari atau sama dengan tegangan material dibagi dengan faktor keamanan. Faktor keamanan dihasilkan dari pengamatan eksperimental atau pengalaman nyata.

2) Konsep Probabilistik

Konsep probabilistik adalah konsep desain yang menggunakan fungsi keadaan marginal (*limit state function*) berupa fungsi matematis untuk menyelesaikan masalah desain struktural. Masalah keandalan struktural dinyatakan sebagai persamaan dalam bentuk  $g(X) = R(X) - S(X)$ . Dimana R adalah tahanan dan S adalah beban yang dipikul. Fungsi  $g(X)$  adalah batas antara area aman dan tidak aman dari ruang parameter desain. Secara umum, kondisi batas untuk desain struktur adalah tegangan dan defleksi.



**Gambar 3.17** Konsep Keandalan Struktur

(Sumber: Utomo, 2012)

Dalam dunia perencanaan struktur yang semakin modern dan kompleks saat ini, para perencana perlu lebih rasional dalam memecahkan masalah. Bentuk, sifat material, dan ketidakpastian beban perlu ditangani dengan lebih rasional. Akibatnya, konsep desain yang semula dimaksudkan menggunakan konsep deterministik kini diubah menjadi konsep probabilistik.

### 3.6. Probabilitas Struktur

Probabilitas atau peluang adalah suatu angka yang menunjukkan kemungkinan terjadinya suatu kejadian. Nilai probabilitas suatu kejadian berada diantara 0 sampai 1, dimana nilai 0 menunjukkan ketidakpastian dan nilai 1 menunjukkan kepastian (Widyaningsih, 2020).

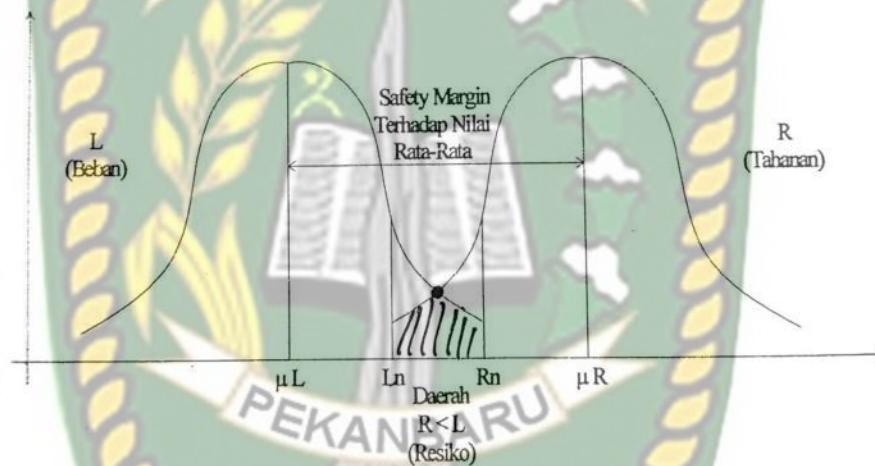
Pada pendekatan struktur bangunan, biasanya nilai probabilitas kegagalan struktur dibatasi oleh nilai tahanan struktur dan beban yang diterima struktur. Telah diketahui bahwa untuk mencapai struktur yang aman nilai tahanan harus selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai beban.

Pendekatan probabilistik pada desain struktur biasanya didasarkan pada asumsi bahwa beban (*Load*) yang bekerja dan tahanan (*Resistance*) dari tiap-tiap anggota elemen struktur merupakan variabel acak (Kurniawan, 2019). Geometri struktur dan dimensi elemen bersifat deterministik. Selain itu diasumsikan bahwa kegagalan struktur terjadi ketika salah satu dari elemen struktur tersebut mengalami kegagalan. Asumsi tersebut dapat diperpanjang menjadi kegagalan elemen lainnya sehingga terjadi kegagalan sistem struktur secara global.

Jika dimisalkan  $X$  sebagai kapasitas struktur dan  $Y$  sebagai beban yang direncanakan, maka struktur akan dinyatakan aman apabila ( $X > Y$ ) sehingga peluang struktur ini handal dalam menahan beban dapat dinyatakan dalam  $P(X > Y)$ . Kebalikannya, jika struktur tidak mampu lagi menahan beban, maka fungsi persamaan menjadi persamaan  $P(X < Y)$ . Fungsi ini dikenal dengan peluang kegagalan atau *Probability of Failure* ( $P_F$ ).

Keandalan atau probabilitas kegagalan struktur dihitung berdasarkan perkiraan bahwa gaya dalam yang bekerja dibangkitkan oleh beban (*Load*) dan tahanan (*Resistance*) elemen struktur yang bersifat statistik bebas (*independent*) (Kurniawan, 2019). Disini diasumsikan bahwa Beban dan Resistensi elemen mengikuti hukum probabilitas distribusi *Normal*.

Pada desain, para *Engineer* cenderung untuk memperbesar beban (*load*) dan memperkecil tahanan (*resistance*), sehingga apabila tahanan lebih kecil daripada beban yang bekerja akan menimbulkan resiko. Hal ini dapat diilustrasikan pada gambar berikut ini:



**Gambar 3.18** Penentuan Daerah Resiko Akibat Beban dan Tahanan

(Sumber: Kurniawan, 2019)

Probabilitas kegagalan struktur dipengaruhi oleh beberapa faktor pada fungsi tahanan dan fungsi beban (Widyaningsih, 2020). Faktor tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1) Nilai rata-rata ( $\mu$ )

Nilai rata-rata adalah nilai yang merupakan total nilai-nilai pada suatu fungsi dengan variabel acak yang dibagi dengan jumlah nilai yang terlibat dalam perhitungan tersebut.



2) Standar deviasi ( $\sigma$ )

Standar deviasi adalah ukuran yang menunjukkan bagaimana nilai-nilai data tersebar.

3) Koefisien variasi ( $\Omega$ )

Koefisien variasi adalah suatu perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata yang dinyatakan dengan persentase.

Selain ketiga faktor diatas, suatu fungsi variabel acak juga memiliki berbagai tipe distribusi. Beberapa istilah fungsi distribusi yang paling umum dikenal adalah distribusi *Normal* dan distribusi *Log-Normal*.

Untuk menghitung nilai peluang kegagalan, dapat dilakukan dengan 2 cara:

1. *Margin of Safety*

$$X < Y - X - Y < 0$$

Jika  $X - Y = M$  maka kegagalan akan terjadi apabila  $M < 0$

Pada kasus ini peluang kegagalan menjadi:

$$P_F = \int_0^1 f_M(m) dm = F_M(0) \dots \dots \dots (3.3)$$

Cara ini digunakan untuk perhitungan reliabilitas untuk persamaan dengan distribusi fungsi normal.

2. *The Factor of Safety*

$$X < Y \rightarrow \frac{X}{Y} < 1$$

Jika  $\frac{X}{Y} = 0$  maka kegagalan akan terjadi apabila  $0 < 1$

Pada kasus ini peluang kegagalan menjadi:

$$P_F = \int_0^1 f_\theta(\theta) d\theta = F_\theta(1.0) \dots \dots \dots (3.4)$$

Cara ini digunakan untuk perhitungan reliabilitas untuk persamaan dengan distribusi fungsi log-normal.

Oleh karena itu, analisis keandalan dilakukan untuk mengetahui nilai probabilitas kegagalan (*probability of failure*) atau resiko dari struktur. Prinsip utama agar suatu struktur tidak mengalami kegagalan adalah Tahanan (*Resistance*) dari suatu struktur harus lebih besar daripada Beban (*Load*) yang bekerja pada struktur tersebut. Untuk kepentingan resiko tersebut dapat digunakan metode distribusi variabel acak *Normal* atau *Log Normal*. Perhitungan dilakukan untuk masing-masing elemen rangka yang selanjutnya diperluas menjadi satu kesatuan struktur rangka batang secara global. Untuk probabilitas keruntuhan yang ditentukan atau digunakan adalah dengan nilai  $10^{-1}$  bagi masing-masing elemen maupun struktur secara global.

Maka dari itu, dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis keandalan dari sebuah struktur jembatan rangka untuk menjadi acuan dalam perencanaan jembatan yang lebih baik kedepannya. Struktur yang mendapatkan gaya luar harus mampu menahan dan mengalirkan gaya luar tersebut ke perletakan. Kemampuan untuk mengalirkan gaya tersebut ke perletakan terkait erat dengan kekakuan struktur. Struktur yang kurang kaku cenderung akan sangat rentan mengalami kerusakan dan kehilangan kemampuan untuk mengalirkan gaya yang diberikan pada struktur (Adha, 2017). Kekakuan struktur merupakan sebuah sifat struktur yang merupakan fungsi dari luas penampang elemen struktur dan bentuk struktur. Bentuk struktur diwakili dengan pendefinisian *node* dari elemen-elemen struktur. Akibatnya perubahan koordinat dari *node* elemen struktur akan menghasilkan perubahan kekakuan struktur secara keseluruhan. Sama halnya dengan perubahan dari penampang pada salah satu elemen struktur maka berakibat pada perubahan kekakuan struktur secara global.

### 3.7. Analisis Koefisien Korelasi (r)

Koefisien korelasi atau *correlation coefficient* adalah ukuran atau kekuatan yang menyatakan korelasi (hubungan) linear antara dua variabel. Nilai koefisien korelasi memperkirakan linieritas sebenarnya dari data asli. Dengan kata lain, analisis korelasi ini merupakan cara atau metode untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antar variabel. Nilai koefisien relasi (r) bergerak dari -1 sampai +1, kekuatan hubungan diketahui dari angka sedangkan arah dinyatakan dalam bentuk positif (+) atau negatif (-). Nilai r = -1 berarti korelasi negatif sempurna yang menunjukkan bahwa ada hubungan terbalik antara variabel X dan variabel Y dimana dengan meningkatnya nilai variabel X, variabel Y menurun. Akan tetapi, jika r = +1 berarti korelasi positif sempurna, artinya terdapat hubungan satu arah antara variabel X dan Y dimana semakin besar variabel X maka variabel Y juga meningkat. Adapun rumus dari perhitungan koefisien korelasi (r) adalah sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$S_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ dan } S_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3.7)$$

### 3.8. Analisis Regresi Linier

Analisis regresi adalah studi tentang hubungan antara satu variabel *dependen* (terkait) dan satu atau lebih variabel *independen* (variabel penjelas/independen) untuk memprediksi rata-rata populasi atau *mean* dari variabel *dependen* berdasarkan nilai yang diketahui dari variabel *independen*. Hasil analisis regresi disajikan sebagai

koefisien regresi untuk setiap variabel bebas. Koefisien ini diperoleh dengan memprediksi nilai variabel dependen menggunakan persamaan tunggal. Persamaan regresi linier secara matematik ditunjukkan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + bX \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana:

- $\hat{y}$  = Garis regresi / variabel *response*
- $a$  = Konstanta (*intersep*), perpotongan dengan sumbu vertical
- $b$  = Konstanta regresi (*slope*)
- $X$  = Variabel bebas / *predictor*
- $N$  = Jumlah data

Besarnya konstanta  $a$  dan  $b$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

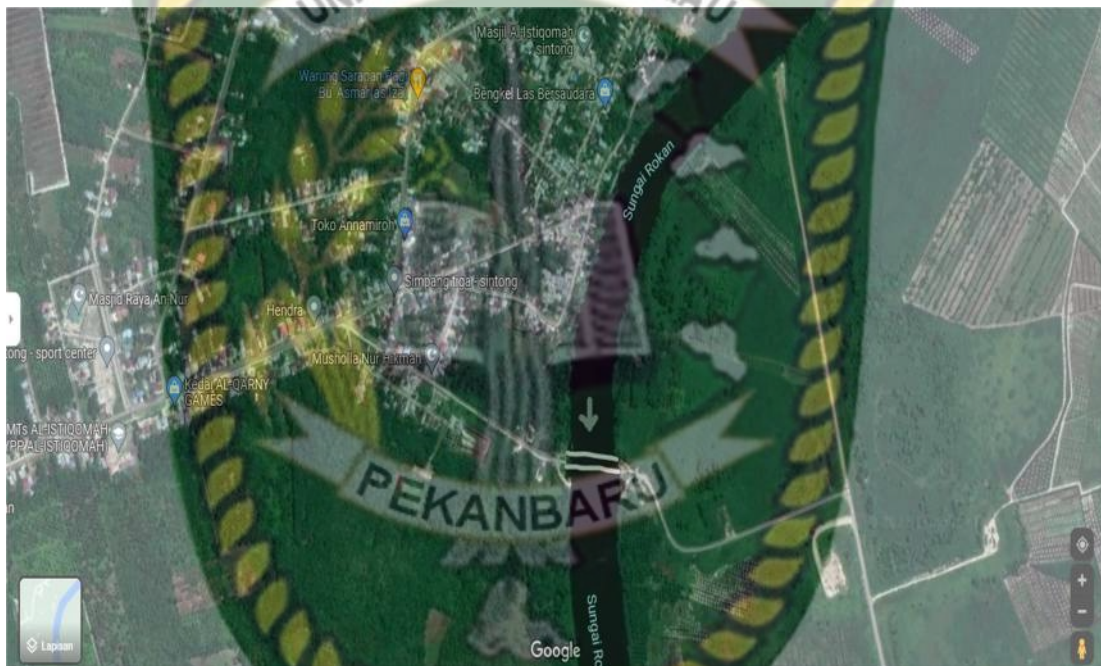
$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$b = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots (3.10)$$

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengambil data perencanaan jembatan rangka baja di kawasan industri dengan banyak kendaraan bertonase tinggi dengan jenis truk yaitu di daerah Sei. Mandau, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.



**Gambar 4.1** Lokasi Penelitian  
(Sumber: *Google Maps*, 2021)

### 4.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dipakai adalah penelitian studi literatur. Studi literatur adalah ada cara yang dipakai untuk menghimpun data atau sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian, dengan tidak harus turun kepalangan dan bertemu dengan responden. Pada penelitian ini, studi literatur yang

dipakai adalah jurnal dan peraturan pembebanan yang terkait dengan analisis keandalan struktur rangka batang (*truss*) akibat beban kendaraan ini. Peraturan Pembebanan untuk Struktur Jembatan Rangka yang digunakan adalah SNI 1725 : 2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan serta jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian penulis.

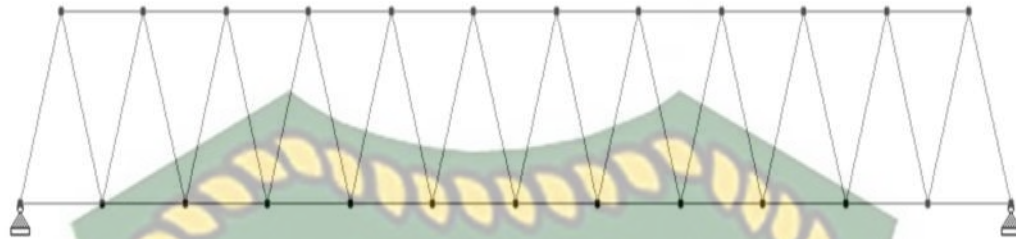
#### 4.3 Deskripsi Umum Struktur

Pada penelitian ini, struktur akan dimodelkan sebagai struktur rangka batang (*truss*) dengan fungsi jembatan rangka baja yang terletak di daerah Sei Mandau, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Struktur ini akan dirancang dengan material baja dengan geometri struktur dengan bentuk struktur jembatan rangka baja dengan tipe *pratt* serta memiliki panjang total 60 meter dan tinggi 6,8 meter. Berikut deskripsi umum yang berkaitan dengan struktur dapat dilihat pada tabel 4.1 yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Deskripsi Umum Struktur Jembatan

No	Kriteria	Studi Kasus
1	Fungsi Jembatan	Alat Penyeberangan
2	Jenis Jembatan	Rangka Baja
3	Tinggi Jembatan	6,8 meter
4	Panjang Jembatan	60 meter
5	Jarak antar <i>joint</i>	5 meter

Struktur bangunan dimodelkan sebagai jembatan rangka baja dua dimensi dengan menggunakan program STAAD.Pro V8i yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 yaitu sebagai berikut:



**Gambar 4.2** Permodelan Struktur Jembatan Rangka

#### 4.4 Data Struktur Jembatan

Data struktur gedung yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah data eksisting struktur jembatan yang sudah ada.

##### 4.4.1 Spesifikasi Material Struktur

Pada penelitian ini spesifikasi material yang digunakan pada struktur jembatan dapat dilihat pada Tabel 4.2 yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Spesifikasi Material

No	Material	Nilai
1	BJ 50	$F_y = 290 \text{ MPa}$
		$F_u = 500 \text{ MPa}$
2	Modulus elastisitas baja	$E_c = 200000 \text{ MPa}$

##### 4.4.2 Dimensi Elemen Struktur

Untuk dimensi elemen struktur rangka baja yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.3 yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Dimensi rangka baja struktur jembatan

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	Gelagar Memanjang Atas	400 x 400
2	Gelagar Memanjang Bawah	400 x 400
3	Gelagar Diagonal	400 x 400

#### 4.5 Pembebanan Struktur

Acuan dalam menganalisa pembebanan struktur yang akan dipikul oleh gedung harus mengikuti standar yang telah ditetapkan yaitu SNI 17255 : 2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.

##### 4.5.1 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi pada struktur meliputi beban mati (*dead load*) dan beban kendaraan (beban truk “T”). Pembebanan gravitasi yang dipikul oleh struktur jembatan dapat dilihat sebagai berikut:

##### 1. Beban Mati Struktur (*Dead Load*)

Beban mati struktur (*dead load*) adalah berat sendiri elemen struktur yang terdiri elemen-elemen rangka baja yang membentuk gelagar-gelagar pada struktur jembatan rangka. Beban mati dihitung secara otomatis dengan bantuan program STAAD.Pro V8i. Material yang digunakan pada jembatan yaitu profil baja WF (*Wide Flange*) jenis BJ 50 dengan nilai tegangan putus minimum 500 MPa dan tegangan leleh minimum 290 MPa.

##### 2. Beban Kendaraan (Beban Truk “T”)

Beban kendaraan yang dipikul oleh struktur jembatan rangka baja ini yaitu beban Truk “T” yang dibagi menjadi 3 beban terpusat yang terdiri dari ban belakang (P1), ban tengah (P2), dan ban depan (P3). Masing-masing nilai beban



yang diambil sesuai SNI 1725 : 2016 dapat dilihat pada tabel 4.4 yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Beban Truk “T” yang dipikul Jembatan Rangka

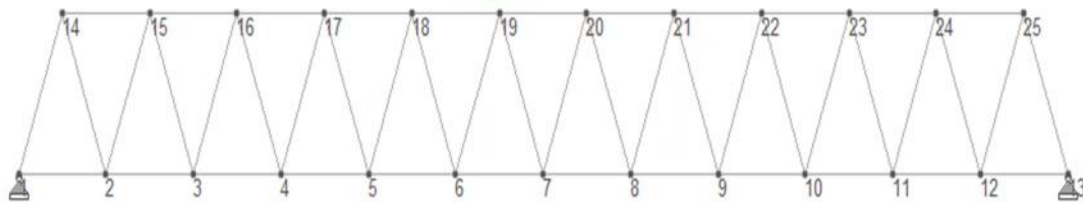
Jenis Beban	Beban Truk (T)		
	Ban Belakang (P1) (kg)	Ban Tengah (P2) (kg)	Ban Depan (P3) (kg)
Terpusat	11250	11250	2500

#### 4.5.2 Pembebanan Angin

Beban angin yang akan dipikul oleh struktur jembatan rangka baja ini menurut SNI 1725:2016 adalah beban angin pada struktur dan beban angin pada kendaraan. Pembebanan angin yang terjadi dapat dilihat sebagai berikut:

##### 1. Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

Untuk beban angin pada struktur ini dilakukan perhitungan untuk kecepatan angin rencana pada elevasi rencana ( $V_{DZ}$ ) dimana jembatan rangka baja ini tidak mencapai elevasi struktur yang disyaratkan menggunakan rumus yaitu  $Z > 10000$  mm maka seperti dalam peraturan diambil paling kecil atau standar total beban angin yang harus dipakai adalah 4,4 kN/m per-satuan panjang. Maka, distribusi beban angin kendaraan ( $EW_s$ ) untuk titik 2 s/d 12 dan 14 s/d 24 yaitu didapat 1100 kg, sementara untuk titik 1, 3, 14, 25 berbeda karena terletak di perletakan yaitu didapat 550 kg.



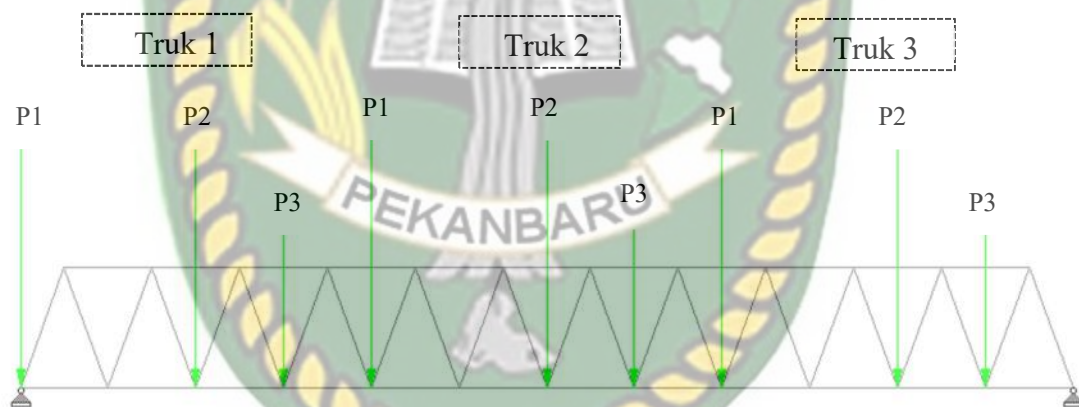
**Gambar 4.3** Penomoran titik *joint* pada struktur jembatan rangka baja

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Beban Angin

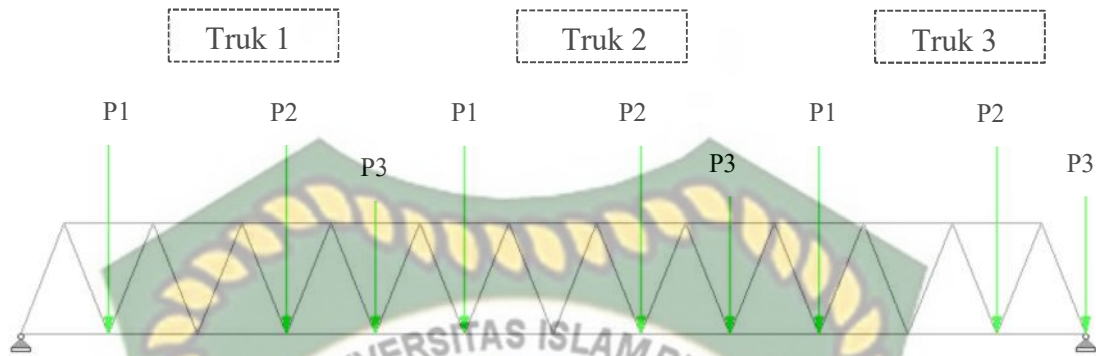
Titik joint	Beban angin pada struktur ( $EW_s$ ) (kg)
1 dan 13	550
2 s/d 12	1100
15 s/d 24	1100
14 dan 25	550

#### 4.5.3 Variasi Pembebanan

Variasi Pembebanan yaitu beban kendaraan adalah beban Truk pada gelagar jembatan menggunakan prinsip *checker board loading* (beban papan catur) yang ditunjukkan pada gambar dibawah yaitu sebagai berikut:

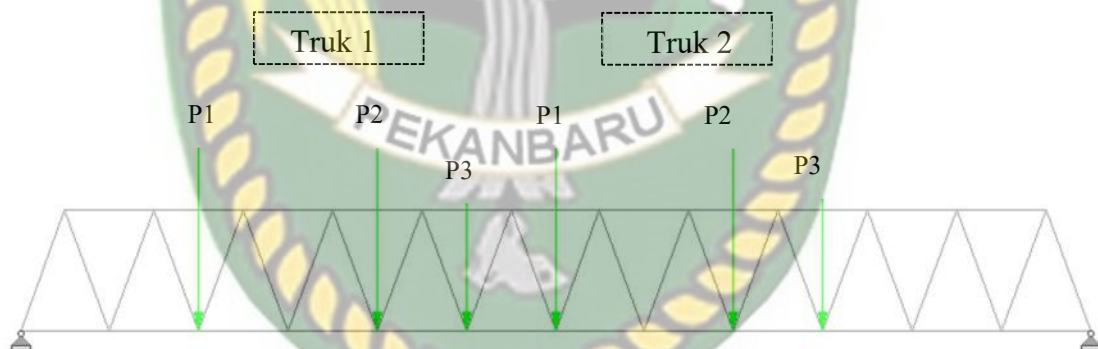
**Gambar 4.4.1** Variasi Pembebanan 1

Pada variasi beban 1, diinput beban kendaraan yaitu beban Truk dengan tiga beban terpusat dari masing-masing truk dengan jumlah tiga truk pada gelagar jembatan. Tiap truk diberi jarak satu joint dengan jarak 5 meter dengan sistem iringan pada kombinasi beban ini.



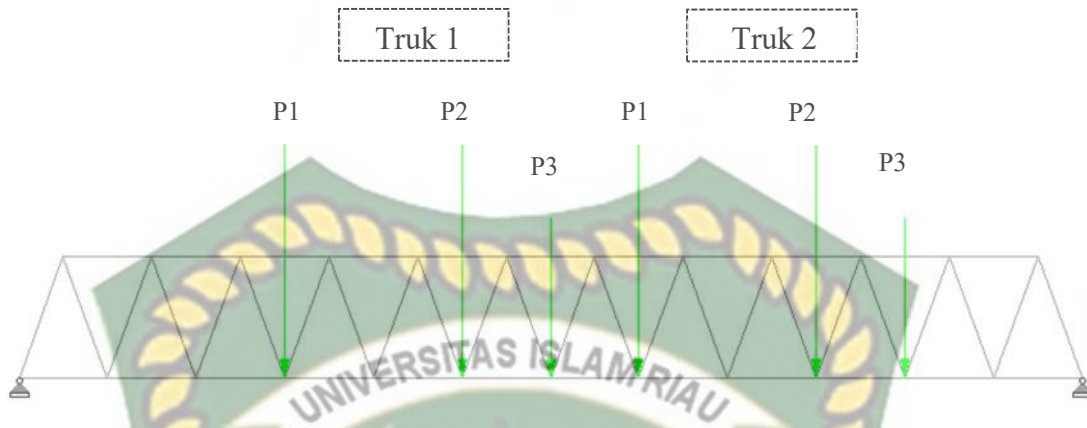
**Gambar 4.4.2** Variasi Pembebanan 2

Pada variasi beban 2, beban truk masih terdiri dari tiga truk yang beriringan dengan perbedaan masing-masing truk sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint*.



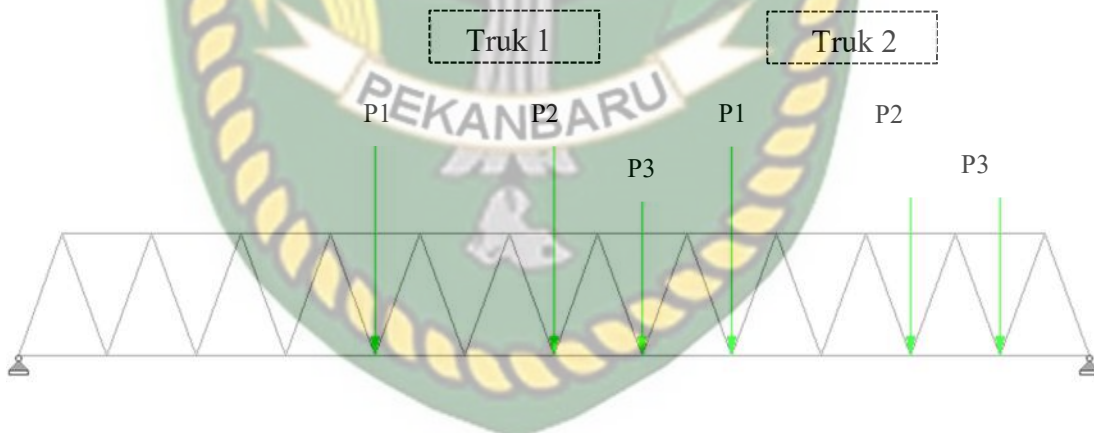
**Gambar 4.4.3** Variasi Pembebanan 3

Pada variasi beban 3, beban truk sudah terdiri hanya dua truk yang beriringan karena truk 3 sudah melewati jembatan. Truk 1 sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya mengikuti juga dengan truk 2 didepannya.



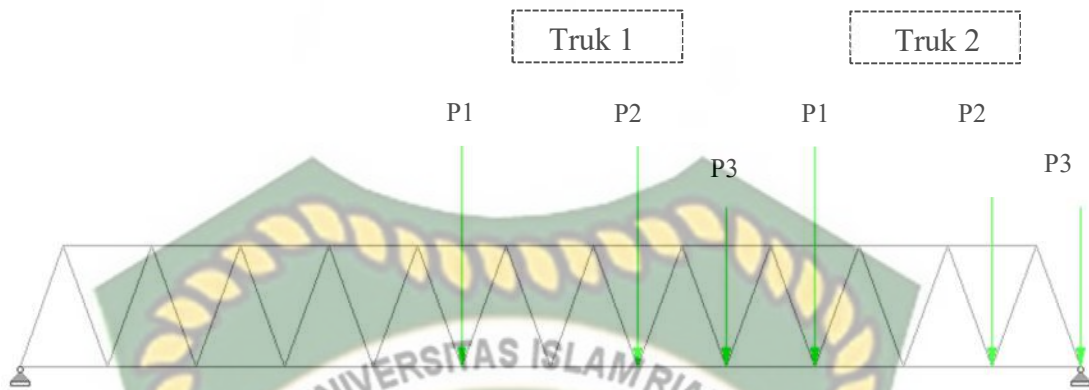
**Gambar 4.4.4** Variasi Pembebanan 4

Pada variasi beban 4, beban truk masih terdiri dari dua truk yang beriringan yaitu truk 1 dan truk 2 dan sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya.



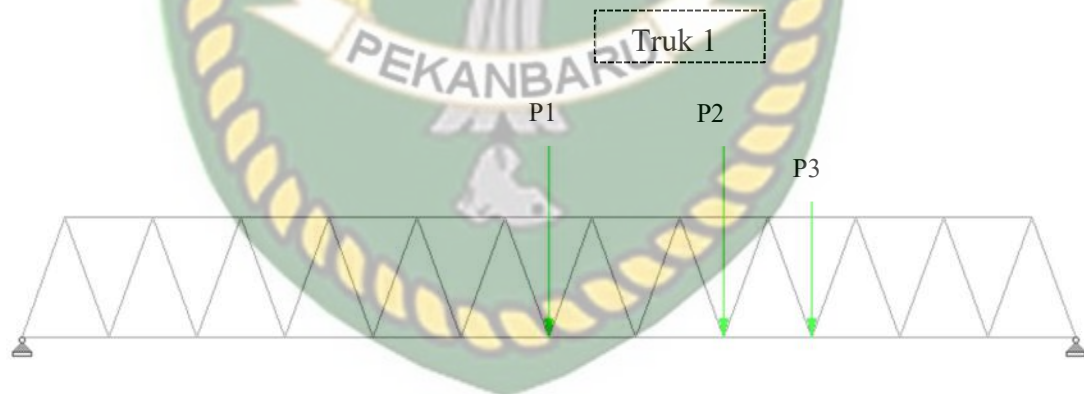
**Gambar 4.4.5** Variasi Pembebanan 5

Pada variasi beban 5, beban truk masih terdiri dari dua truk yang beriringan yaitu truk 1 dan truk 2 dan sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya.



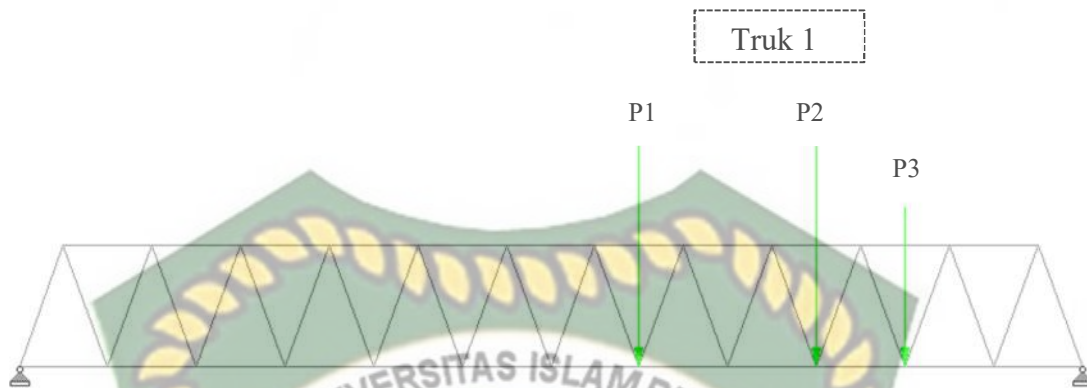
**Gambar 4.4.6** Variasi Pembebanan 6

Pada variasi beban 6, beban truk masih terdiri dari dua truk yang beriringan yaitu truk 1 dan truk 2 dan sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya. Namun pada truk 2 sudah berada di ujung gelagar jembatan dan akan meninggalkan jembatan.



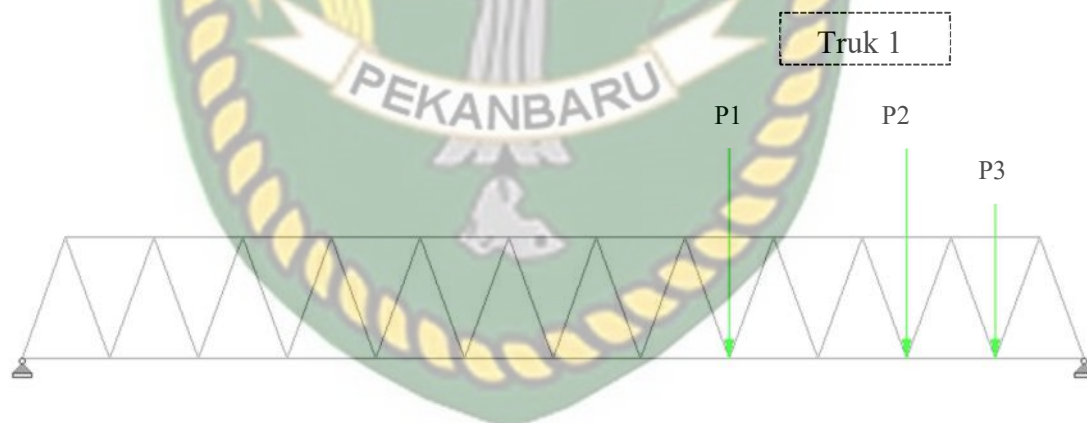
**Gambar 4.4.7** Variasi Pembebanan 7

Pada variasi beban 7, beban truk sudah terdiri hanya satu truk yaitu truk 1 yang sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya. Karena truk 2 sudah meninggalkan jembatan.



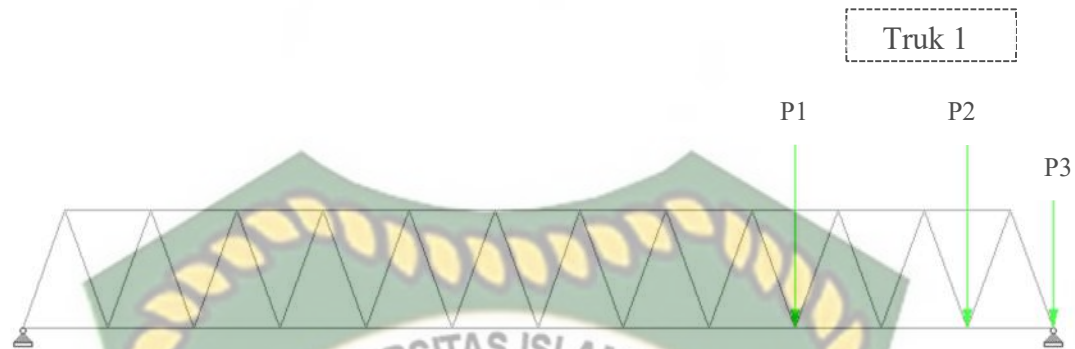
**Gambar 4.4.8** Variasi Pembebanan 8

Pada variasi beban 8, beban truk masih terdiri hanya satu truk yaitu truk 1 yang sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya. Truk 1 akan bergerak maju terus mengikuti truk-truk lain yang sudah lebih dulu meninggalkan jembatan.



**Gambar 4.4.9** Variasi Pembebanan 9

Pada variasi beban 9, beban truk masih terdiri hanya satu truk yaitu truk 1 yang sudah bergerak maju sejauh 5 meter atau satu *joint* dari sebelumnya. Truk 1 akan bergerak maju terus mengikuti truk truk lain yang sudah lebih dulu meninggalkan jembatan.



**Gambar 4.4.10** Variasi Pembebanan 10

Pada variasi beban 10, beban truk masih terdiri hanya satu truk yaitu truk 1 yang sudah bergerak maju sejauh 5 meter dan telah sampai pada ujung *joint* terakhir jembatan. Selanjutnya, truk 1 akan meninggalkan jembatan dan kemudian sudah tidak ada lagi beban truk untuk kombinasi beban selanjutnya.

#### 4.6 Tahapan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian, dibutuhkan tahapan-tahapan dengan tujuan supaya penelitian akan bersifat sistematis. Adapun tahapan penelitian yang penulis lakukan guna menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang penulis lakukan dalam memulai penelitian meliputi persiapan pemilihan struktur jembatan rangka baja untuk dijadikan penelitian penulis. Penulis memilih peneliti mengenai keandalan struktur rangka batang (*truss*) dengan fungsi struktur jembatan rangka baja untuk alat penyeberangan dengan mengambil data perencanaan jembatan rangka baja di lokasi penelitian yang telah tertera diatas.

##### 4.6.2 Pengumpulan Data

Tahapan selanjutnya yakni pengumpulan data yang diperlukan. Dari penelitian ini penulis memerlukan beberapa data dan literatur untuk pembahasan

dalam menyelesaikan penelitian ini. Data-data yang dikumpulkan berupa data sekunder.

#### 4.6.3 Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah analisis keandalan struktur dengan menggunakan konsep probabilitas struktur yang menggunakan perhitungan dengan metode distribusi normal. Setelah seluruh data yang dibutuhkan terkumpul, data akan dianalisa sebagai berikut:

1. Menghitung Pembebanan

Menghitung pembebanan yang bekerja pada struktur yaitu berupa beban mati (*dead load*) dan beban kendaraan (beban truk "T"). Beban mati (*dead load*) didefinisikan sebagai beban sendiri pada struktur yang besarnya sesuai dengan dimensi dari elemen struktur. Beban kendaraan (beban truk "T") didefinisikan sebagai beban yang terjadi pada gelagar struktur jembatan rangka baja.

2. Menghitung Gaya Batang Aksial Maksimum

Menghitung gaya batang aksial untuk mendapatkan gaya-gaya yang terjadi pada batang struktur jembatan untuk mengetahui batang mana yang mendapat gaya maksimum akibat beban-beban yang telah diinput sebelumnya. Untuk mendapat gaya batang aksial maksimum dianalisis dengan bantuan program STAAD.Pro V8i. Data yang dibutuhkan dalam menghitung gaya batang aksial maksimum ini adalah panjang jembatan, tinggi jembatan, profil baja dan mutu baja yang digunakan.

3. Menentukan Keandalan Struktur

Menentukan keandalan struktur dapat diketahui dengan cara menggunakan konsep probabilitas struktur dengan perhitungan menurut metode distribusi normal. Setelah mendapat gaya batang aksial maksimum yang terjadi pada STAAD.Pro V8i, lalu batang yang mengalami gaya aksial maksimum nilai gaya batangnya dijadikan variabel acak untuk menghitung kemungkinan terjadinya



(probabilitas) kegagalan yang akan terjadi pada struktur. Setelah didapat selanjutnya akan dihitung dari keandalan struktur jembatan.

#### 4.6.4 Analisis Struktur

Uraian prosedur analisis struktur jembatan rangka baja dengan bantuan program STAAD.Pro V8i untuk memodelkan seluruh komponen dalam dua dimensi sebagai berikut:

1. Permodelan Struktur

Pilih *New Project*, kemudian pilih *Space*, lalu pilih satuan unit yang mau digunakan yaitu untuk satuan panjang yaitu kilogram sementara satuan gaya yaitu kilogram. Lalu pilih *Add Beam*, kemudian pilih *Finish* untuk masuk kedalam lembar kerja dengan *Default Grid*. Pilih *Edit* setelah itu permodelkan struktur sesuai dengan gambar rencana.

2. Penentuan *Property*

Bertujuan untuk menentukan profil baja apa dan ukuran berapa yang akan diinput untuk permodelan struktur rangka baja. Dalam permodelan ini menggunakan profil baja sesuai data yang didapat dari data perencanaan yaitu profil baja *Wide Flange* (WF) dengan dimensi 400 mm x 400 mm.

3. Penentuan *Support*

Bertujuan untuk menentukan jenis tumpuan yang akan diinput untuk permodelan struktur rangka baja. Tumpuan pada permodelan ini menggunakan tumpuan sendi-sendi.

4. Penentuan *Load & Definition*

Bertujuan untuk menentukan beban yang akan diinput untuk permodelan struktur rangka baja. Penginputan pembebanan (*Load*) dilakukan sesuai dengan asumsi yang telah diinginkan untuk analisa ini. Penginputan beban-beban yang bekerja pada struktur rangka ini berupa beban mati, beban hidup

dan beban impuls. Beban mati yang diinput berdasarkan permodelan yang ada dimana beban sendiri didalam program STAAD.Pro V8i dimasukkan dalam *Load Cases Details* dengan tipe beban *Dead*. Perhitungan berat sendiri dalam program STAAD.Pro V8i ini untuk *selfweight* adalah dengan faktor 1 dengan arah Y. Kemudian, untuk beban hidup yang dimasukkan kedalam program STAAD.Pro V8i diinput dalam *Load Case Details* dengan tipe beban *Live*. Nilai beban hidup dalam program STAAD.Pro V8i diinput secara manual yaitu beban truk dari SNI 1725:2016 dengan sudah dikonversi menjadi beban terpusat dengan nilai ban depan sebesar 2500 kg, ban tengah sebesar 11250 kg dan ban belakang sebesar 11250 kg. Kemudian, beban yang di input dikombinasikan dengan variasi pembebanan *checker board* atau beban papan catur dengan kombinasi pembebanan seperti beban kendaraan yang sedang berjalan diatas jembatan struktur rangka batang yang telah dimodelkan.

#### 5. Penentuan *Design*

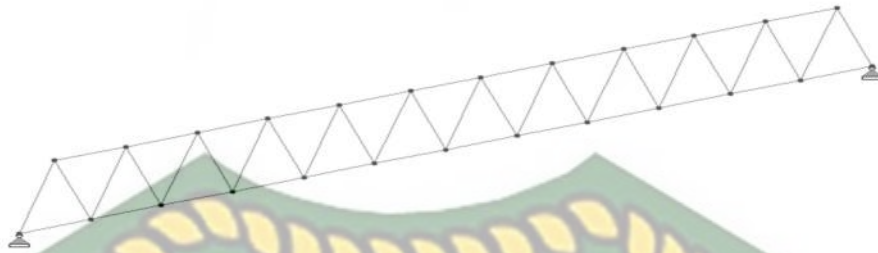
Bertujuan untuk menentukan parameter-parameter seperti mutu baja yang akan digunakan, nilai kekakuan serta *Check Code* untuk desain baja yang telah dibuat menggunakan *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* dari AISC.

#### 6. *Run Analysis*

Bertujuan untuk mengecek kekuatan struktur jembatan rangka baja yang telah dimodelkan dengan semua beban dan parameter-parameter.

#### 7. *Analysis Result*

Setelah semuanya diinput kedalam permodelan, lalu pilih *Go to Post Processing Mode* untuk dapat melihat hasil analisis. Kemudian dari hasil analisis mengecek kekuatan struktur yang telah dimodelkan sebelumnya untuk dilakukan selanjutnya mengecek keandalan dari struktur tersebut.



**Gambar 4.5** Permodelan struktur jembatan pada program STAAD.Pro V8i

#### 4.6.5 Hasil Analisis

Pada tahapan ini, akan didapat dari penginputan dan pengolahan data yang dilakukan dengan program STAAD.Pro V8i yang telah diinputkan sebelumnya parameter maupun pembebanan yang direncanakan maka akan didapat nilai tegangan, gaya aksial dan *displacement* dari masing-masing elemen atau batang dari struktur jembatan tersebut. Kemudian, disimpulkan hasil dari analisis struktur yaitu output tegangan atau gaya aksial maksimum yang akan digunakan untuk mencari dari nilai keandalan struktur jembatan rangka baja ini apakah struktur jembatan rangka baja ini dikatakan layak dan andal dalam menerima akibat dari beban-beban yang telah diinput sebelumnya dalam permodelan tersebut.

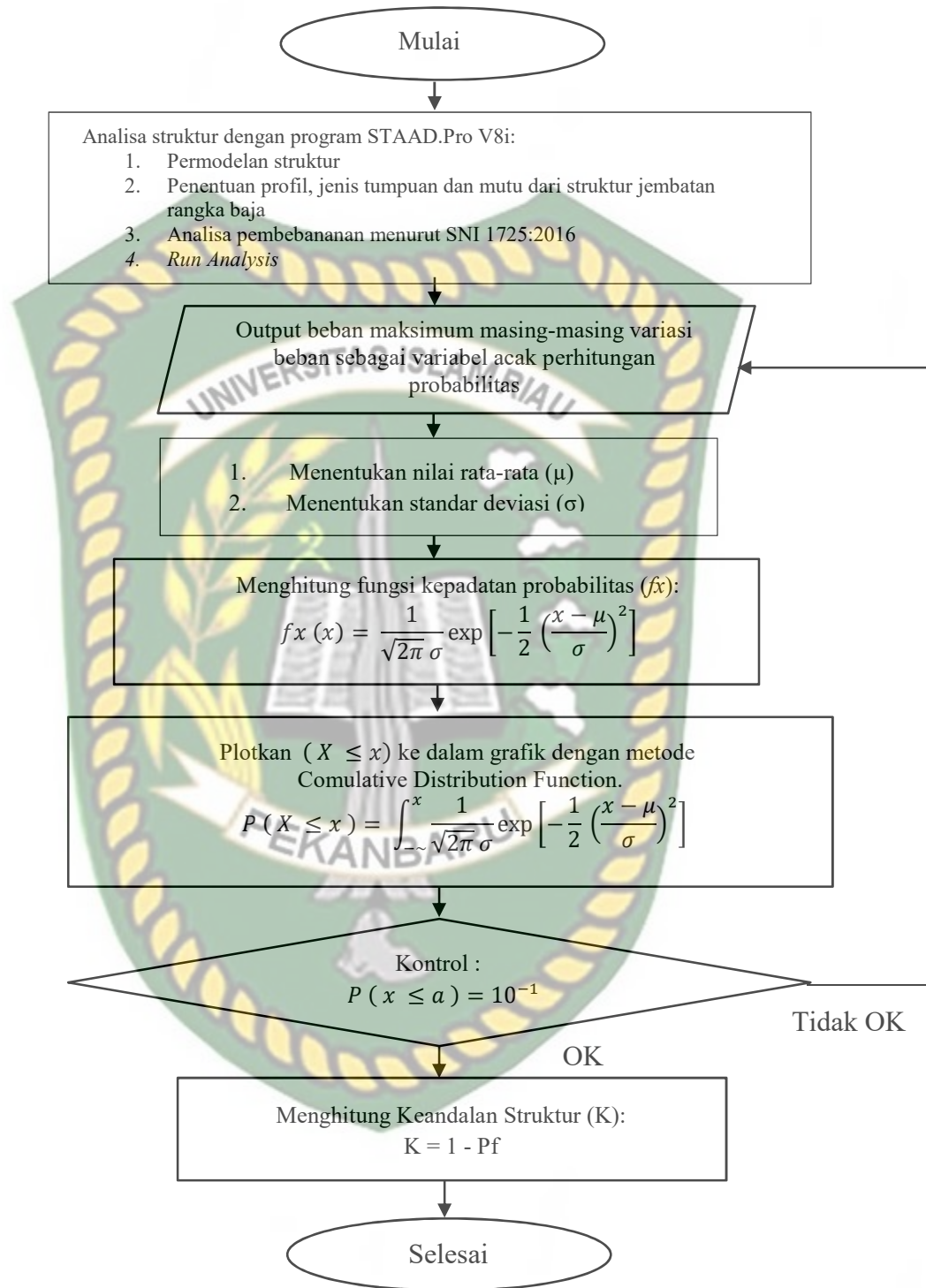
#### 4.6.6 Kesimpulan

Kesimpulan merupakan tahap akhir penelitian dari hasil analisa dan pembahasa yang dilakukan sehingga dapat menjawab rumusan masalah.

Pada penyusunan penelitian ini, penulis menyajikan diagram alir penelitian. Diagram Alir Penelitian digunakan dalam penyusunan penelitian ini agar pembaca dapat dengan mudah mengetahui langkah-langkah penelitian analisis keandalan struktur rangka batang dengan aplikasi jembatan rangka baja ini. Adapun uraian pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 4.4 dan tahapan analisis penelitian pada gambar 4.5 yaitu sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Uraian Pelaksanaan Penelitian

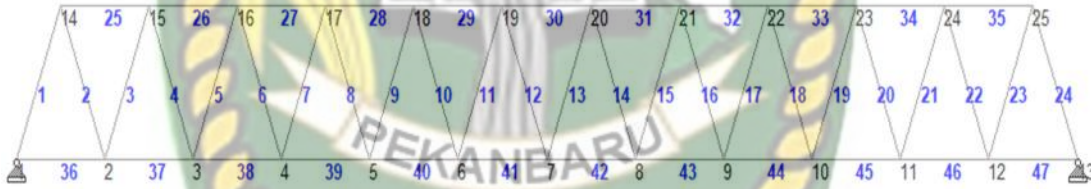


**Gambar 4.7** Tahapan Analisis Penelitian

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Hasil Analisis Struktur

Dari hasil analisis struktur dari struktur jembatan dengan variasi pembebanan yang dibantu menggunakan program STAAD.Pro V8i, hasil outputnya akan ditampilkan oleh penulis yaitu batang yang memiliki gaya aksial maksimum diantara seluruh batang dari struktur jembatan. Kemudian, output dari batang yang memiliki gaya aksial maksimum yang terdiri dari 10 variasi letak beban tersebut yang akan dianalisis untuk dijadikan variabel dalam menghitung probabilitas dari struktur. Pada analisis ini yang memiliki nilai gaya aksial paling maksimum adalah batang 30. Hasil dapat dilihat pada tabel 5.1 dan untuk penomoran batang dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut:



**Gambar 5.1** Permodelan Struktur dengan penomoran masing-masing batang

**Tabel 5.1** Hasil Variasi Pembebanan dalam bentuk Output Gaya Aksial pada struktur Jembatan Rangka

NO	Variasi Pembebanan	Gaya Aksial Batang 1 (Fx) (ton)	Keterangan
1.	Variasi Beban 1	138,057	Batang Tekan
2.	Variasi Beban 2	137,145	Batang Tekan

**Tabel 5.1** (Lanjutan)

3.	Variasi Beban 3	128,869	Batang Tekan
4.	Variasi Beban 4	128,873	Batang Tekan
5.	Variasi Beban 5	127,031	Batang Tekan
6.	Variasi Beban 6	116,931	Batang Tekan
7.	Variasi Beban 7	99,467	Batang Tekan
8.	Variasi Beban 8	90,286	Batang Tekan
9.	Variasi Beban 9	81,099	Batang Tekan
10.	Variasi Beban 10	71,911	Batang Tekan

Gaya Aksial ( $F_x$ ) yang terlihat pada tabel 5.1 adalah hasil output dari 10 variasi pembebanan yang diinput pada masing-masing batang dan kemudian diambil batang dengan gaya aksial maksimum yaitu batang 30. Kemudian, gaya aksial dari batang 30 akibat 10 variasi pembebanan untuk dijadikan variabel acak data analisis untuk mencari nilai probabilitas dari struktur jembatan rangka ini. Hasil output nilai gaya aksial ( $F_x$ ) dari program STAAD.Pro V8i dapat ditunjukkan pada lampiran B.

## 5.2 Hasil Nilai Rata-rata ( $\mu$ )

Nilai rata-rata ( $\mu$ ) adalah nilai yang merupakan total nilai-nilai pada suatu fungsi dengan variabel acak yang dibagi dengan jumlah nilai yang terlibat dalam perhitungan. Dari analisis ini, nilai gaya aksial maksimum antara setiap batang adalah gaya aksial pada batang 30. Kemudian output gaya aksial dari batang 30 akibat dari 10 variasi pembebanan dijadikan data analisis probabilitas struktur. Dari seluruh gaya

aksial batang 30 akibat 10 variasi pembebanan didapat nilai rata-rata sebesar 111,967 ton. Untuk detail analisa perhitungannya terdapat pada lampiran A.22.

$$\bar{X} \text{ data} = \frac{\sum_{i=1}^{10} xi}{10}$$

$\bar{X} \text{ data} :$

$$= \frac{138,057 + 137,145 + 128,869 + 128,873 + 127,031 + 116,931 + 99,467 + 90,286 + 81,099 + 71,911}{10}$$

$$\bar{X} \text{ data} = \frac{1119,669}{10}$$

$$\bar{X} \text{ data} \approx \mu = 111,967$$

### 5.3 Hasil Nilai Standar Deviasi ( $\sigma$ )

Standar deviasi ( $\sigma$ ) adalah nilai statistika yang digunakan untuk menentukan bagaimana perserbaran data dalam suatu sampel dan melihat seberapa dekat data-data tersebut dengan *mean* atau rata-rata dari sampel tersebut. Dari hasil perhitungan dengan rumus akar dari varian data maka didapat hasil nilai standar deviasi sebesar 24,316. Untuk lebih lengkapnya hasil analisis perhitungannya dapat dilihat pada lampiran A.23.

$$\sigma \approx \sigma \text{ data} \rightarrow \sigma \text{ data} = \sqrt{\text{var}(\text{data})}$$

$$\text{var data} = \left( \frac{1}{n-1} \right) \sum_{i=1}^{10} (xi - \bar{X} \text{ data})^2$$

$$= \left( \frac{1}{10-1} \right) \left( (138,057 - 111,967)^2 + (137,145 - 111,967)^2 + (128,869 - 111,967)^2 + (128,873 - 111,967)^2 + (127,031 - 111,967)^2 + (116,931 - 111,967)^2 + (99,467 - 111,967)^2 + (90,286 - 111,967)^2 + (81,099 - 111,967)^2 + (71,911 - 111,967)^2 \right)$$

$$= \left( \frac{1}{9} \right) (5321,31)$$



$$\text{var data} = 591,26$$

$$\sigma \text{ data} = \sqrt{\text{var data}} = \sqrt{591,26} = 24,316$$

$$\sigma \text{ data} = \sigma = 24,316$$

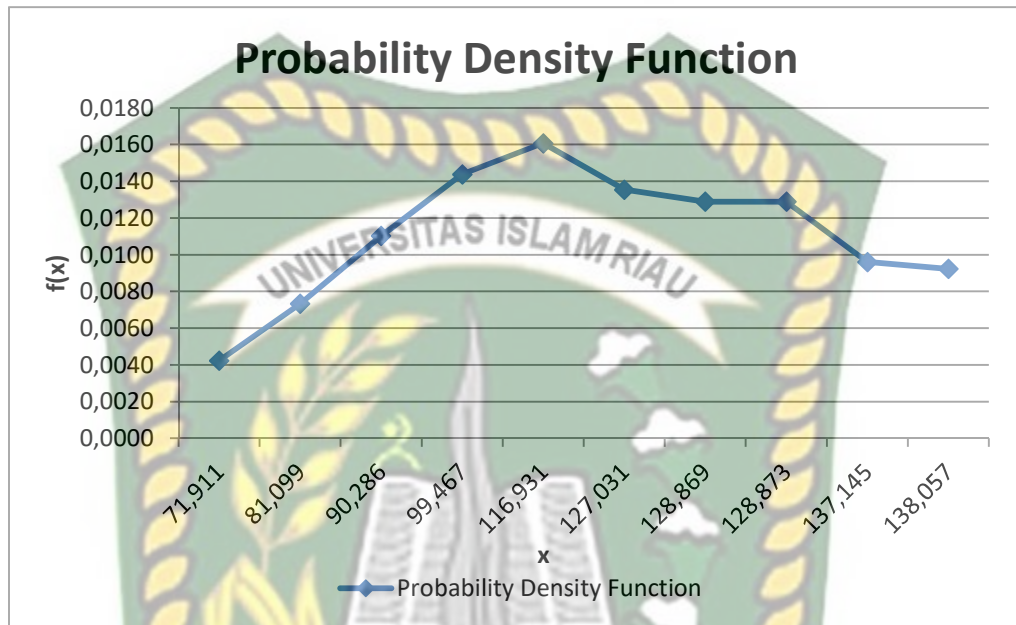
#### 5.4 Hasil Nilai Fungsi Kepadatan Probabilitas ( $f(x)$ )

Fungsi kepadatan probabilitas atau *probability density function* (PDF) menyatakan nilai probabilitas dari setiap kejadian X dan dituliskan sebagai  $f(x)$ . Beban diurutkan dari yang terkecil sampai yang terbesar kemudian didapat nilai fungsi kepadatan probabilitas dari masing-masing gaya aksial tersebut. Berikut nilai beban gaya-gaya aksial beserta nilai hasil dari perhitungan fungsi kepadatan probabilitas dilihat pada tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Nilai Gaya Aksial dan  $f(x)$

	Nilai Gaya Aksial Maksimum (ton)	$f(x)$
$x_1$	71,911	0,0042
$x_2$	81,099	0,0073
$x_3$	90,286	0,0110
$x_4$	99,467	0,0144
$x_5$	116,931	0,0161
$x_6$	127,031	0,0135
$x_7$	128,869	0,0129
$x_8$	128,873	0,0129
$x_9$	137,145	0,0096
$x_{10}$	138,057	0,0092

Untuk detail perhitungan lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.22, sementara grafik dari *Probability Density Function* (PDF) tersebut dapat dilihat pada gambar 5.2.



**Gambar 5.2** Grafik *Probability Density Function* (PDF)

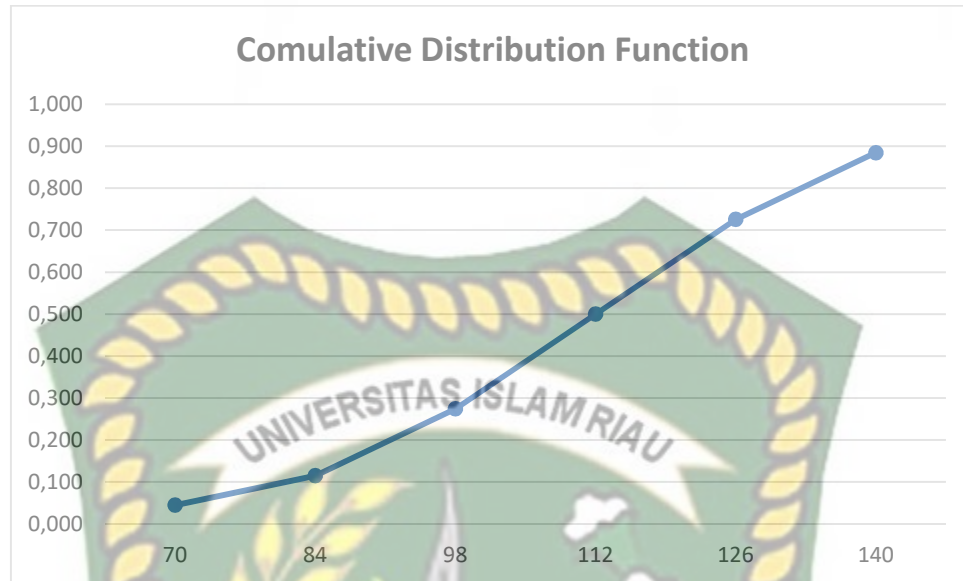
Grafik *Probability Density Function* (PDF) menunjukkan hubungan antara nilai dari  $f_x$  yaitu fungsi kepadatan probabilitas yang menyatakan nilai probabilitas dari setiap kejadian  $x$  dengan nilai gaya aksial maksimum yang terjadi pada struktur jembatan rangka yang ditinjau. Dari grafik ditunjukkan nilai dari  $f_x$  dan gaya aksial maksimum apabila nilai dari keduanya dihubungkan membentuk lonceng apabila dihubungkan keseluruhannya. Dari grafik menunjukkan semakin besar nilai dari gaya aksial maksimum dari batang 30 tersebut maka belum tentu semakin besar pula nilai dari fungsi kepadatan probabilitas tersebut.

### 5.5 Hasil Perhitungan Probabilitas dengan *Comulative Distribution Function*

Probabilitas kegagalan struktur dihitung dengan metode *Comulative Distribution Function* (CDF) dimana nilai pembebanan diambil dari nilai 70 – 140 dengan interval 14. Sehingga probabilitas kegagalan struktur dihitung mulai dari 70, 84, 98, 112, 126, 140. Berikut nilai persentase hasil probabilitas dari masing-masing beban dapat dilihat sebagai berikut:

1.  $P = (x \leq 70) = 4,456 \%$
2.  $P = (x \leq 84) = 11,507 \%$
3.  $P = (x \leq 98) = 27,425 \%$
4.  $P = (x \leq 112) = 50,00 \%$
5.  $P = (x \leq 126) = 72,575 \%$
6.  $P = (x \leq 140) = 88,493 \%$

Dari hasil diatas dapat diambil kesimpulan bahwasannya semakin besar beban yang digunakan maka semakin besar pula nilai probabilitas kegagalan (*probability of failure*) struktur yang terjadi pada batang jembatan rangka ini. Sementara untuk perencanaan struktur dengan beban tetap yang memenuhi nilai resiko yaitu sebesar  $10^{-1}$  maka beban yang didapat atau harus direncanakan ialah sebesar  $\leq 80,843$  ton. Untuk detail analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.26 dan untuk grafik dari plot data untuk *Comulative Distribution Function* bisa dilihat pada gambar 5.3 dibawah ini.



**Gambar 5.3** Grafik *Comulative Distribution Function* (CDF)

Grafik *Comulative Distribution Function* (CDF) merupakan hubungan nilai dari probabilitas (peluang) kegagalan struktur dengan nilai gaya aksial yang telah diambil intervalnya dari 70 ton sampai 140 ton. Dari grafik menunjukkan nilai probabilitas (peluang) kegagalan struktur yang dihitung menggunakan metode *Cumulative Distribution Function* (CDF) ini membentuk tangga apabila dihubungkan keduanya secara keseluruhan. Ini berarti menunjukkan semakin besar nilai gaya aksial gaya maksimum dari analisa struktur rangka jembatan tersebut maka semakin tinggi pula nilai probabilitas (peluang) kegagalan dari struktur tersebut.

### 5.6 Hasil Perhitungan Keandalan Struktur (*Reliability*)

Jika dihitung atau dianalisis dengan masing-masing beban tadi sesuai dengan rumus yang sudah tertera diatas sebelumnya, maka nilai keandalan (*reliability*) yang didapat setelah melakukan perhitungan adalah sebagai berikut:

1.  $P = (x \leq 70) = 95,543 \%$
2.  $P = (x \leq 84) = 88,493 \%$
3.  $P = (x \leq 98) = 72,575 \%$
4.  $P = (x \leq 112) = 50,00 \%$
5.  $P = (x \leq 126) = 27,425 \%$
6.  $P = (x \leq 140) = 11,507 \%$

Untuk lebih jelasnya, analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.32. Untuk hasil analisis dari perbandingan antara probabilitas kegagalan struktur dan keandalan struktur bisa dilihat pada tabel 5.3 seperti berikut.

**Tabel 5.3** Perbandingan Nilai Probabilitas Kegagalan Struktur dan Keandalan Struktur

NO	Beban P (ton)	Probability of failure ( $P_f$ )	Probability of failure ( $P_f$ ) (%)	Reliability (K)	Reliability (K) (%)
1	$\leq 70$	0,044565	4,456	0,955435	95,544
2	$\leq 84$	0,11507	11,507	0,88493	88,493
3	$\leq 98$	0,274253	27,425	0,725747	72,575
4	$\leq 112$	0,50000	50	0,50000	50
5	$\leq 126$	0,725747	72,575	0,274253	27,425
6	$\leq 140$	0,884930	88,493	0,11507	11,507

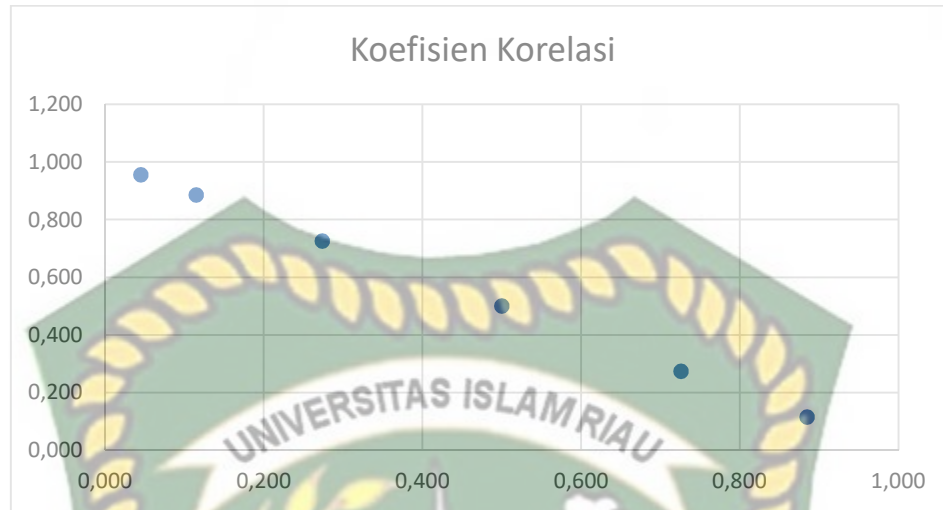
Dari tabel perbandingan antara nilai probabilitas struktur dan nilai keandalan struktur diatas terdapat nilai yang signifikan berbeda diantara keduanya. Hal ini bisa dikatakan bahwa nilai probabilitas struktur dan nilai keandalan struktur merupakan suatu nilai berbanding sangat terbalik dari segi nilainya. Misalnya pada beban 98 ton,

nilai probabilitas kegagalan struktur mencapai nilai 27,425 % sementara untuk nilai keandalan struktur mencapai nilai 72,575 %. Hal ini dikarenakan perumusan nilai keandalan struktur menggunakan nilai probabilitas (peluang) kegagalan dalam penghitungannya. Oleh karena itu, dalam tabel tersebut dapat diambil kesimpulan apabila semakin besar beban yang terjadi maka semakin besar pula nilai probabilitas kegagalan struktur dan semakin kecil nilai dari keandalan struktur tersebut. Begitu sebaliknya, semakin kecil beban yang terjadi maka semakin kecil probabilitas kegagalan struktur yang terjadi dan semakin besar nilai keandalan struktur tersebut.

Dari hasil perhitungan probabilitas kegagalan struktur tersebut juga dapat diambil kesimpulan adalah pada beban maksimum yaitu 140 ton maka struktur rangka batang ini didapat 88,49% maka struktur akan mengalami resiko keruntuhan atau gagal sehingga perlu dilakukan perkuatan pada struktur. Hal ini menjelaskan bahwa struktur rangka batang (truss) ini dinilai tidak memenuhi standar dalam memenuhi tingkat keandalan struktur dalam menahan akibat variasi dari beban kendaraan ini.

### 5.7 Hasil Perhitungan Analisis Koefisien Korelasi (r)

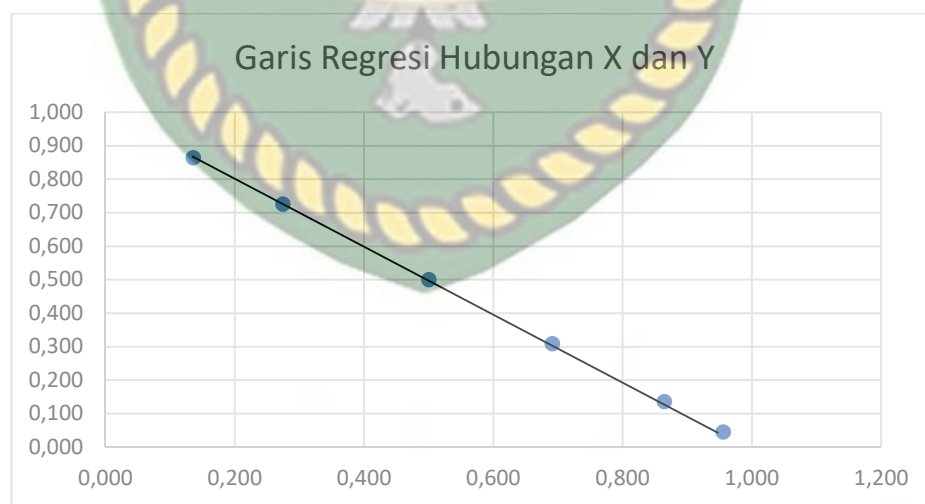
Nilai koefisien korelasi yang didapat antara nilai probabilitas kegagalan sebagai variabel X dan keandalan struktur sebagai variabel Y adalah -1. Nilai ini memberi pengertian bahwa hubungan variabel bebas/*predictor* X dengan variabel terikat/*response* Y memiliki korelasi negatif sempurna. Hal ini menandakan ada hubungan bertolak belakang antara kedua variabel, dimana apabila variabel X nilainya naik, maka variabel Y nilainya akan turun. Untuk detail analisa perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.32 dan grafik linear yang terjadi antara nilai probabilitas kegagalan dan keandalan struktur dapat dilihat pada gambar 5.4 dibawah sebagai berikut.



**Gambar 5.4** Grafik Koefisien Korelasi

### 5.8 Hasil Perhitungan Analisis Regresi Linier

Hasil perhitungan dari analisis regresi linier didapat antara hubungan variabel probabilitas kegagalan dan keandalan struktur adalah untuk nilai  $a$  (*konstanta intersep*) setelah dicari dengan menggunakan rumus adalah bernilai 1, sementara nilai  $b$  nya (*konstanta regresi*) bernilai -1. Untuk detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.33 sementara grafik dapat dilihat pada gambar 5.5.



**Gambar 5.5** Grafik Garis Regresi Hubungan X dan Y

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian analisis keandalan struktur rangka batang (*truss*) akibat beban kendaraan adalah sebagai berikut:

1. Probabilitas (peluang) kegagalan (*probability of failure*) struktur yang terjadi pada struktur jembatan rangka akibat variabel beban kendaraan memiliki resiko kegagalan besar pada beban maksimum, sehingga jika ingin memakai beban maksimum tersebut maka diperlukan perkuatan pada struktur. Namun perencanaan masih bisa dipakai jika menggunakan beban yang masih memenuhi nilai batas resiko yang terjadi pada struktur jembatan rangka ini.
2. Keandalan (*reliability*) struktur sangat erat hubungannya dengan probabilitas (peluang) keruntuhan bangunan, dimana keandalan struktur tergantung berapa besarnya probabilitas kegagalan yang terjadi pada struktur. Semakin besar probabilitas kegagalan strukturnya maka keandalan struktur tersebut semakin kecil. Begitupun sebaliknya, semakin kecil probabilitas (peluang) kegagalan struktur semakin besar nilai keandalan struktur pada jembatan rangka ini.

#### 6.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan yaitu sebagai berikut:

1. Dilakukan pengkajian dan penelitian lebih lanjut meliputi perhitungan probabilitas kegagalan struktur dan keandalan struktur dengan menggunakan metode selain metode distribusi normal (*Gaussian*).
2. Dilakukan analisa lebih mendetail untuk seluruh elemen struktur jembatan rangka pada lokasi penelitian lainnya dengan harapan penelitian yang dilakukan terus berlanjut.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adha, A. (2017). *Optimasi Bentuk Struktur dan Penampang pada Struktur Rangka Baja Terhadap Kendala Keandalan Material Struktur dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetik*. 3, 100–107.
- Adriyansyah, A. (2018). Analisis Keandalan Pada Struktur Rangka Batang Menggunakan Second Order Reliability Method (Sorm). *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 6(2), 62–67.
- Alunat, D. (2016). Studi Analisa Dan Desain Jembatan Rangka Baja Tipe V-Truss Dengan Panjang Bentang 60 Meter Dengan Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design (LRFD) Di Kabupaten Nunukan - Kalimantan Utara. Tugas Akhir Program Strata I Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Amatulhay Pribadi. (2018). *Evaluasi Pembebanan Jembatan Box Girder Beton Prategang dengan Pendekatan Probabilitas Menggunakan Hasil Pengukuran Beban Kendaraan Bergerak*. 4(2).
- Ariestadi, Dian. (2008). Teknik Struktur Bangunan Jilid 2 untuk SMK, Jakarta : Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, h. 181 – 193.
- Badaruddin. (2005). *Evaluasi Keandalan Struktur Gedung Kantor Bupati Sumbawa*. March, 25–27.
- Junita, P. (2019). Analisis Struktur Rangka Batang Dengan Metode Kekakuan. Tugas Akhir Program Strata I Teknik Sipil, Universitas HKBP Nommensen, Jakarta.
- Lazuarfy, D. (2017). Analisis Performansi Jembatan Rangka Baja Tipe Warren Akibat Variasi Beban Berjalan. Tugas Akhir Program Strata I Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

- Kurniawan, M. (2019). Optimasi Struktur Rangka Batang Menggunakan Metode Algoritma Genetika Dengan Kendala Tegangan Dan Probabilitas Kegagalan. *Jurnal Saintis*, 19(1), 1523. [https://doi.org/10.25299/saintis.2019.vol19\(1\).3043](https://doi.org/10.25299/saintis.2019.vol19(1).3043)
- Kurniawan, M., & Adha, A. (2019). Truss structure optimization for two design variable elements using Genetic Algorithm with stress and failure probability constraints. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1).
- Nugraha, W., & Sidi, I. D. (2016). Probability-based evaluation of vehicular bridge load using weigh-in-motion data. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 48(1), 66–85. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2016.48.1.6>
- Rahman, A. (2016). Studi Perbandingan Hasil Perencanaan Optimal Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Bertingkat Akibat Beban Statis Dan Beban Dinamis Manusia Berjalan. Tugas Akhir Program Strata I Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Setiyarto, D. (2017). Standar Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 2016. *The Loading Standards on Bridges According to SNI 1725 2016*. <https://repository.unikom.ac.id/54571/1/vii-10-y.djoko-setiyarto-standar-pembebanan-pada-jembatan.pdf>
- Standar Nasional Indonesia 1725:2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan
- Widyaningsih, E. (2020). Evaluasi Keandalan Jembatan Gantung Pejalan Kaki Dengan Variasi Letak dan Jenis Beban Lalu Lintas. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(2), 72–81. <https://doi.org/10.26760/jrh.v4i2.72-81>