

No. Inventaris : 284.S.11.2023



**universitas
MALIKUSSALEH**

SKRIPSI

**PENGARUH PERUBAHAN SUHU TERHADAP TEGANGAN DAN
DEFORMASI PADA JEMBATAN KERETA API RANGKA BAJA
(Studi Kasus: Jembatan Kereta Api Blang Keude Berbentang 39.1 m)**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
SARJANA TEKNIK
Pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh

Disusun Oleh,

TISATUN HASANAH

190110040

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
2023**

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Tisatun Hasanah

NIM : 190110040

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa di dalam Skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan utuh dari Skripsi, Tesis, buku, atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri. Apabila ternyata terdapat dalam Skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh hak gelar keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebesarnya untuk dapat digunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 01 November 2023

Saya yang membuat pernyataan


Tisatun Hasanah

190110040

LEMBARAN PENGESAHAN JURUSAN

Judul Skripsi :Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan dan Deformasi Pada Jembatan Rel Kereta Api Rangka Baja (Studi Kasus Jembatan Kereta Api Blang Keude Berbentang 39.1 m)

Nama Mahasiswa : Tisatun Hasanah

Nomor Mahasiswa : 190110040

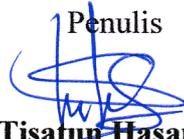
Bidang : Struktur

Tanggal Pelaksanaan : 01 Novembet 2023

Skripsi ini merupakan syarat untuk penulisan Skripsi pada Program Studi Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh.

Lhokseumawe, 01 November 2023

Penulis



Tisatun Hasanah

Nim. 190110040

Mengetahui,

Pembimbing Utama



Dr. Khairullah, ST., M.T.,

NIP. 197701172005011003

Pendamping Pembimbing



Syarifah Asria Nanda, ST., M.T.

NIP. 198106112008122002

Menyetujui

Ketua Program Studi



Nura Usrina, ST., MT.

NIP. 199004042023212058

Ketua Jurusan



Dr. Yulius Rief Alkhaly, ST., M.Eng

NIP. 197107072002121001

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Berdasarkan Evaluasi Seminar Hasil/Kolokium Skripsi Program Strata Satu (S1) Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang telah dilakukan pada tanggal 01 November 2023 terhadap mahasiswa:

Nama : Tisatun Hasanah
TeMPat, Tanggal Lahir : Pulung Rejo, 28 Oktober 2000
NIM : 190110040
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan dan Deformasi Pada Jembatan Kereta Api Rangka Baja (Studi Kasus: Jembatan Kereta Api Blang Keude Berbentang 39.1 m)
Pembimbing Utama : Dr. Khairullah, S.T., M.T.
Pembimbing Pendamping : Syarifah Asria Nanda, S.T., M.T.
Ketua Penguji : Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng
Anggota Penguji : David Sarana, ST., MT

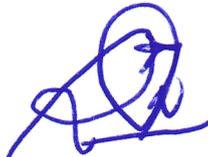
Menetapkan bahwa mahasiswa di atas tersebut telah memenuhi persyaratan akademik yang diperoleh untuk mendapatkan Ijazah Sarjana Program Studi Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Disetujui
Dekan Fakultas Teknik




Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T
NIP. 197610292003121003

Diperiksa
Ketua Jurusan


Dr. Yulius Rief Alkhalv, S.T., M.Eng
NIP. 197107072002121001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang telah meliMPahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi dengan judul **Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan dan Deformasi Pada Jembatan Kereta Api Rangka Baja (Studi Kasus: Jembatan Kereta Api Blang Keude Berbentang 39.1 m)** dapat diselesaikan, dan tak lupa pula salawat berangkaikan salam kepada baginda Nabi besar Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam yang telah membawa kita dari alam kebodohan menuju alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti sekarang ini.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas atas bantuan, bimbingan, dan masukan–masukan dari berbagai pihak, untuk itu terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fitrah, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng, selaku Rektor Universitas Malikussaleh
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, ST., MT., sebagai Dekanat Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh
3. Bapak Dr. Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh
4. Ibu Nura Usrina, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.
5. Bapak Dr. Khairullah, S.T., M.T Selaku dosen pembimbing utama.
6. Ibu Syarifah Arsia Nanda, ST., MT Selaku dosen pendamping pembimbing.
7. Bapak Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng Selaku dosen ketua penguji.
8. Bapak David Sarana, ST., MT Selaku dosen anggota penguji.
9. Keluarga besar yang tercinta yang selalu mendukung, memberi semangat dan selalu mendoakan setiap langkah saya.
10. Teman-teman yang selalu membantu saya dalam segi pikiran, tenaga dan materi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini mungkin banyak terdapat kekurangan, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya dan penulis mengharapkan kritik dan saran agar pada masa yang akan datang penulis dapat melakukan perbaikan untuk penulisan ilmiah lainnya. Akhirnya kepada Allah jugalah kita menyerahkan segalanya semoga penulisan ini dapat bermanfaat dan terima kasih.

Lhokseumawe, 01 November 2023

Tisatun Hasanah

LEMBAR PERSEMBAHAN

BISMILLAHIRAHMANIRAHIN

Segala puji Syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Berkat Rahmat dan hidayah-Nya telah memberikan kesempatan, kekuatan, membekaliku dengan ilmu, atas karunia serta kemudahan yang telah Engkau berikan akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat beserta salam selalu saya hadiahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad Shallallahu'alaihi Wassalam.

“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja Lelah-lelah itu. Lebarakan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu berjalan lancar. Tapi, gelombang-gelombang itu yang akan kau ceritakan.”

(Boy Chandra)

Tiada lembar skripsi yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan. skripsi ini akan saya persembahkan untuk orang-orang yang saya sayangi dan cintai.

Ibunda dan Ayahanda

Kepada ibunda Hj, Masiah dan kepada Ayahanda H. Pujo, S. sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih yang tiada hingga ku persembahkan karya kecil ini kepada ibunda dan ayahanda yang telah memberikan kasih sayang, dukungan dan rasa cinta yang tak terhingga. Terima kasih untuk semua yang telah diberikan kepada anak bungsu ini, terimakasih selalu mengerti, selalu sabar, selalu mendoakan yang terbaik dan selalu memberikan motivasi untuk anak bungsu yang banyak maunya ini. Hidup lebih lama lagi temani anak bungsu ini untuk menjadi orang yang lebih sukses lagi. *Iloveyou more more more.*

Kakak dan Abang

Teruntuk 6 kakak dan 2 Abang aku terima kasih sudah menjadi penyemangat dan sandaran terkuat setelah kedua orang tua kita. Terima kasih atas semua rasa sayang, do'a dan dukungan baik secara *finansial* maupun motivasi yang telah kalian berikan kepada adik bungsu kalian. Terima kasih selalu percaya dan tidak membandingkan pencapaian adik kalian dengan orang lain. Sebagai tanda terima kasih aku persembahkan skripsi ini sebagai bukti terima kasih aku kepada kakak dan abang.

Dosen Pembimbing

Teruntuk Bapak Dr. Khairullah, ST., MT. dan Ibu Syarifah Nanda Asria, ST.,MT. selaku dosen pembimbing skripsi saya, terima kasih banyak telah membantu selama ini. Mungkin kata terima kasih saja tidak cukup untuk menebus semua kebaikan yang telah bapak dan ibu berikan kepada saya, hanya Allah yang bisa membalas kebaikan bapak dan ibu yang bisa membalas kebaikan bapak dan ibu, mulai dari ilmu, kesabaran, keikhlasan yang telah bapak dan ibu berikan kepada saya. Semoga Allah selalu melindungi bapak, ibu beserta keluarga aamiin.....

Teman- Teman

Kepada sahabat kecil aku Tina Tri Lestari dan Reza Tri Lestari terima kasih selalu mendukung aku, mendengarkan keluh kesah ku dan selalu menguatkan aku. Terima kasih selalu ada disetiap perjalanan hidup aku walaupun kita tidak disatu kota. Semoga kita selalu sama sampai tua dan menjadi sahabat till Jannah.

Aamiin...

Kepada *Crazy Rich*, Siti Sarah, Dinda Arga, Shinta Rahmayanti dan Ridhatul Al Vira, Terima kasih telah menjadi teman dan keluarga aku disini. Terima kasih uda kebersamai aku dari maba sampai aku menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk semua yang kalian berikan ke aku dari nasihat, motivasi, waktu luang, serta doa yang kalian panjatkan. Terima kasih sudah menjadi saksi perjalanan hidup aku selama aku kuliah, memberikan banyak hal baru. Terima

kasih untuk setiap momen yang tak terlupakan. Dan aku harap pertemanan ini bukan hanya sekedar teman kuliah. Semangat dan sukses terus ini kita nangis dikit gapapa yang penting tercapai.

Kepada teman tim *Load Test* Annisa Neni Sundari Rambe, Ardiansyah, Fatwa Aulawi, Ramadhani Sebayang, Emil Ryan Mansyur, Khairul Azmi, dan Bang Zhafran. Terima kasih telah banyak membantu aku dalam menyelesaikan skripsi ini, terima kasih untuk waktu, tenaga dan pikiran kalian yang sudah kalian berikan kepada aku, selama kita mengerjakan skripsi ini. Terima kasih setiap momen yang tak terlupakan.

Kepada Kanopi Lama, Rafli Aulia Permana, Muhammad Yasir Zuhdi dan Bagas Irfham Azzahri. Terima kasih uda mau menjadi teman dekat aku di penghujung semester yang buat sakit kepala. Terima kasih atas waktu, tenaga, pikiran dan dukungan yang telah kalian berikan ke aku. Terima kasih uda mau nemani *crazy rich* untuk mengabulkan setiap *wish list* kami untuk menjelajahi Aceh ini. Teruntuk Rafli terima kasih uda banyak berkontribusi dalam semester akhir ini dan selalu *ready* dalam kondisi mendesak.

Terima kasih untuk segala momen yang tak terlupakan yang telah kita ukir bersama. Sampai jumpa dititik sukses kita masing-masing yaaa.
Semoga allah selalu melindungi kita aamiin

**PENGARUH PERUBAHAN SUHU TERHADAP TEGANGAN DAN
DEFORMASI PADA JEMBATAN KERETA API RANGKA BAJA
(Studi Kasus: Jembatan Kereta Api Blang Keude Berbentang 39.1 m)**

Oleh : Tisatun Hasanah

NIM : 190110040

Pembimbing Utama : Dr. Khairullah, S.T., M.T.
Pembimbing Pendamping : Syarifah Asria Nanda, S.T., M.T.
Ketua Penguji : Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng
Anggota Penguji : David Sarana, ST., MT

ABSTRAK

Jembatan rangka baja sering difungsikan untuk mengakomodir beban lalu lintas kereta api seperti melintasi sungai dan lembah. Pada jembatan kereta api rangka baja, suhu lingkungan dapat mempengaruhi perilaku struktur jembatan. Perubahan suhu yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan dan deformasi pada rangka baja jembatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan dan deformasi yang terjadi pada jembatan kereta api rangka baja dan melihat perbandingan hasil uji aktual dengan hasil analisis numerik. Pada analisis numerik, dengan menggunakan variasi perubahan suhu sesuai dengan data pengujian aktual yang dilakukan dengan bantuan *software* STAAD.Pro V8i dan kondisi tumpuan sendi-rol dalam keadaan *perfect*. Berdasarkan hasil analisis, batang yang mengalami perubahan tegangan yang signifikan terjadi pada batang gelagar melintang di atas tumpuan sendi. Pada gelagar tersebut, menunjukkan tegangan terjadi tegangan positif ke negatif akibat pengaruh perubahan suhu yang semakin meningkat. Tegangan yang terjadi pada suhu 27.6°C sebesar 2.46 MPa dan menurun menjadi -1.75 MPa pada suhu 43.6°C. Sementara itu, tegangan yang terjadi pada gelagar melintang diatas tumpuan rol adalah tegangan tekan yang meningkat dengan naiknya perubahan suhu. Perpindahan yang terjadi pada tumpuan rol menunjukkan bahwa perpindahan semakin memanjang akibat perubahan suhu semakin meningkat. Untuk Defleksi yang terjadi di tengah bentang menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi semakin kecil dengan naiknya perubahan suhu dengan selisih yang tidak signifikan. Pada penelitian ini, perbandingan tegangan dan deformasi yang terjadi pada data uji aktual dan analisis numerik memiliki selisih yang signifikan yang kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor irregularitas.

Kata kunci: *Jembatan Kereta Api, Perubahan Suhu, Tegangan, Deformasi, STAAD.Pro*

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBARAN PENGESAHAN JURUSAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	ivi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Masalah.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Hasil Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKAAN	5
2.1 Jembatan.....	5
2.2 Jembatan Rangka Baja (<i>Truss Bridge</i>).....	6
2.3 Jembatan Rel Kereta Api Rangka Baja.....	8
2.4 Pembebanan pada Jembatan.....	10
2.5 Pengaruh Suhu Terhadap Baja.....	11
2.6 Tegangan Yang Terjadi Akibat Perubahan Suhu Pada Komponen Jembatan Rangka.....	12
2.7 Deformasi Pada Komponen Jembatan Rangka.....	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	15
3.2 Lokasi Penelitian.....	16

3.3	Pengumpulan Data.....	17
3.3.1	Data Geometri Struktur.....	17
3.3.2	Data Material Struktur.....	18
3.3.3	Data Aktual	19
3.4	Analisis	21
3.5	Tahapan Analisis Struktur Menggunakan <i>Software</i> STAAD Pro V8i.....	21
3.6	Penelitian Terdahulu	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Hasil Analisis.....	32
4.1.1	<i>Output</i> Tegangan (<i>Stress</i>).....	32
4.1.2	<i>Output</i> Perpindahan (<i>Displasment</i>).....	33
4.1.3	<i>Output</i> Defleksi	34
4.1.4	<i>Output</i> Perbandingan Tegangan (<i>Stress</i>).....	36
4.1.5	<i>Output</i> Perbandingan Perpindahan (<i>Displasment</i>).....	40
4.2	Pembahasan	41
4.2.1	Tegangan (<i>Stress</i>) pada <i>Bearing</i> Sendi-Rol.....	41
4.2.2	Perpindahan (<i>Displasment</i>)	43
4.2.3	Defleksi pada <i>Bearing</i> Sendi-Rol.....	43
4.2.4	Perbandingan Tegangan (<i>Stress</i>).....	45
4.2.5	Perbandingan Deformasi Perpindahan (<i>Dispcalement</i>)	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN A LEMBAR PERHITUNGAN		54
LAMPIRAN B TABEL		56
LAMPIRAN C GAMBAR.....		59
LAMPIRAN D ADMINISTRASI PENULIS		61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tipe Jembatan Baja	9
Tabel 2. 2 Sifat Mekanisme Baja Struktural	10
Tabel 2. 3 Faktor Isi untuk Beban Mati.....	10
Tabel 2. 4 Suhu Jembatan Rata-rata Nominal	11
Tabel 2. 5 Sifat Bahan Rata-Rata Akibat Pengaruh Temperatur.....	11
Tabel 3. 1 Data Profil Baja.....	18
Tabel 3. 2 Data Uji Aktual	20
Tabel 4. 1 Tegangan Berdasarkan Analisis	33
Tabel 4. 2 Hasil Data Perpindahan	33
Tabel 4. 3 Hasil Defleksi Bottom Kanan.....	35
Tabel 4. 4 Hasil Defleksi Bottom Kiri	35
Tabel 4. 5 Stress pada STG 1	36
Tabel 4. 6 Stress pada STG 2	37
Tabel 4. 7 Stress pada STG 3	37
Tabel 4. 8 Stress pada STG 4	38
Tabel 4. 9 Stress pada STG 5	39
Tabel 4. 10 Stress pada STG 6	40
Tabel 4. 11 Perbandingan Perpindahan	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tipe <i>Warren Truss</i>	7
Gambar 2. 2 Tipe <i>Pratt Truss</i>	7
Gambar 2. 3 Tipe <i>Howe Truss</i>	7
Gambar 2. 4 Tipe <i>K-Truss</i>	8
Gambar 3. 1 Bagan alir tahapan penelitian.....	15
Gambar 3. 2 Lokasi Jembatan	16
Gambar 3. 3 Potongan memanjang	17
Gambar 3. 4 Potongan melintang	17
Gambar 3. 5 Denah pemasangan LVDT (2 Titik)	19
Gambar 3. 6 Denah pemasangan strain gauge 3,4, dan 5 (3 Titik)	20
Gambar 3. 7 Denah pemasangan strain gauge 1,2, dan 6 (3 Titik)	20
Gambar 3. 8 Langkah pertama	21
Gambar 3. 9 Langkah kedua.....	22
Gambar 3. 10 Langkah ketiga.....	22
Gambar 3. 11 Hasil dari langkah tiga.....	23
Gambar 3. 12 Langkah keempat.....	23
Gambar 3. 13 Langkah kelima	23
Gambar 3. 14 Hasil dari langkah kelima	24
Gambar 3. 15 Langkah keenam.....	24
Gambar 3. 16 Langkah selanjutnya dari langkah keenam.....	24
Gambar 3. 17 Langkah ketujuh	25
Gambar 3. 18 Langkah kedelapan	25
Gambar 3. 19 tahapan kesembilan.....	26
Gambar 3. 20 Tahapan kesepuluh	26
Gambar 3. 21 Hasil 3D pada STAAD.Pro V8i.....	27
Gambar 3. 22 Memasukan material.....	27
Gambar 3. 23 Memasukan beban	28
Gambar 3. 24 Hasil akhir.....	28

Gambar 4. 1 Kondisi jembatan	34
Gambar 4. 2 Tegangan (Stress) pada bearing sendi-rol.....	42
Gambar 4. 3 Perpindahan	43
Gambar 4. 4 Defleksi bottom Kanan	44
Gambar 4. 5 Defleksi bottom kiri.....	44
Gambar 4. 6 Perbandingan tegangan pada STG 1	45
Gambar 4. 7 Perbandingan Tegangan pada STG 2	46
Gambar 4. 8 Perbandingan Tegangan pada STG 3	46
Gambar 4. 9 Perbandingan tegangan pada STG 4.....	47
Gambar 4. 10 Perbandingan tegangan pada STG 5.....	48
Gambar 4. 11 Perbandingan tegangan pada STG 6.....	48
Gambar 4. 12 Perbandingan perpindahan LVDT 1	49
Gambar 4. 13 Perbandingan perpindahan LVDT 2.....	49

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

A	: Luas Penampang
E	: Modulus elastisitas
f_c'	: Mutu Baja
f_y	: Tegangan leleh
f_u	: Tegangan Putus
L	: Panjang bentang
ΔT	: Perubahan suhu
ϵ_T	: Regangan termal
δ_T	: Defleksi termal
α	: Koefisien muai temperatur
σ	: Tegangan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), Jembatan ialah jalan yang direntangkan di atas sungai (jurang, tepi pangkalan, dan sebagainya). Jembatan berfungsi sebagai prasarana transportasi untuk menyebrang dari sisi satu ke sisi yang lainnya. Salah satu jenis jembatan adalah jembatan rangka baja, jembatan rangka ini terdiri dari suatu struktur jembatan profil baja. Struktur baja adalah logam yang terbuat dari komponen baja struktural yang saling terhubung untuk mengangkut beban dan memberikan kekakuan yang penuh.

Adapun kelebihan jembatan rangka baja ialah lebih ringan bila dibandingkan dengan beton, mudah dibongkar pasang atau dipindahkan, pemasangannya relatif mudah mempunyai ukuran dan mutu tertentu dari pabrik, dan sesuai standar nasional Indonesia (SNI). Oleh karena itu, rangka baja banyak digunakan untuk pembangunan jembatan. Berdasarkan fungsinya jembatan rangka baja memiliki beberapa jenis salah satunya jembatan kereta api. Jembatan kereta api rangka baja merupakan jembatan baja yang difungsikan untuk mengakomodir beban lalu lintas kereta api yang melintasi permukaan lantai jembatan (Nuranita, B., 2019).

Pada jembatan kereta api rangka baja, suhu lingkungan dapat mempengaruhi perilaku struktur jembatan. Perubahan suhu dapat menyebabkan baja pada jembatan mengalami perubahan dimensi kemudian mempengaruhi tegangan dan deformasi pada rangka baja jembatan. Menurut Permen PUPR No.41 tahun 2015 tentang penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan, jembatan yang sudah selesai tahap konstruksi harus disertifikasi oleh Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (KKJTJ) serta melakukan pengecekan uji beban sebelum dioperasionalkan seperti pengujian yang dilakukan pada Jembatan Kereta Api Blang Keude.

Jembatan kereta api Blang Keude yang berlokasi di Blang Keude, Kec. Gandapura, Kabupaten Bireun, Provinsi Aceh adalah jembatan yang dilintasi oleh

rel kereta api dengan panjang bentang 39,1 m, tinggi 7,91 m dan lebar 4,8 m. Jembatan kereta api Blang Keude dibangun dua tahap, yaitu tahap pertama pada tahun 2015 dilakukan pembangunan awal bangunan bawah (*abutment*) dan tahap selanjutnya dibangun pada tahun 2016 dengan pembangunan yang dilakukan adalah pekerjaan bangunan atas jembatan hingga mencapai progress pekerjaan 100% (Pengembangan & Jawa, 2018). Jembatan rencana akan dioperasikan, sehingga pada tahun 2022 jembatan tersebut telah dilaksanakan pengujian pembebanan sesuai dengan Permen PU No.41 tahun 2015 sebelum dilakukannya pengoperasian jembatan kereta api tersebut.

Penelitian menggunakan perlakuan terhadap variasi perubahan suhu yang sesuai dengan suhu di lapangan. Penelitian dianalisis menggunakan *software* STAAD.Pro V8i dengan metode analisis numerik. Penelitian menghasilkan nilai tegangan dan deformasi dengan analisis menggunakan *software* dan nilai perbandingan tegangan dan deformasi antara hasil analisis dengan data uji aktual. Oleh sebab itu, layak diusulkan penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap tegangan dan deformasi pada jembatan rel kereta api struktur rangka baja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dibahas dalam penelitian ini. Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan dan deformasi pada jembatan rel kereta api rangka baja berdasarkan analisis STAAD.Pro V8i.
2. Bagaimana perbandingan nilai hasil uji aktual dengan nilai analisis perubahan suhu terhadap tegangan pada jembatan rangka baja menggunakan *software* STAAD.Pro V8i.

1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, terdapat beberapa tujuan penelitian. Adapun tujuan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan dan deformasi pada jembatan rel kereta api rangka baja.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai hasil uji aktual dengan nilai analisis perubahan suhu terhadap tegangan pada jembatan rangka baja menggunakan software STAAD.Pro V8i.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan masalah di atas, terdapat beberapa manfaat penelitian. Adapun manfaat penelitian dari penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi yang nantinya bisa dijadikan acuan *controlling* jembatan yang mengalami tegangan dan deformasi akibat perubahan suhu sehingga sangat berguna untuk memenuhi standar kelayakan sebuah jembatan.
2. Memberikan gambaran tentang perbandingan pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan dan deformasi pada jembatan kereta api rangka baja secara analisis menggunakan Software STAAD.Pro V8i dengan hasil secara aktual dengan menggunakan alat sensorik.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah terdapat lingkup dan batasan penelitian. Adapun ruang lingkup dan batasan penelitian dari penelitian ini adalah:

1. Deformasi yang dibahas hanya deformasi elastis.
2. Diasumsikan tumpuan sendirol dalam keadaan *perfect*.
3. Tidak memperhitungkan struktur bagian bawah.
4. Analisis menggunakan *software* STAAD.Pro V8i.
5. Penelitian tidak meneliti sambungan baut dan las pada jembatan.
6. Analisis dilakukan dalam kondisi tidak dibebani.
7. Perbandingan hasil analisis dengan data pengujian aktual hanya dilakukan di bentang yang terdapat alat sensorik.
8. Variasi perubahan suhu yang digunakan sesuai dengan perubahan suhu yang terjadi di lapangan.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode analisis numerik perangkat lunak elemen hingga komersial STAAD.Pro V8i. Penelitian dilakukan untuk menganalisis tegangan dan deformasi struktur jembatan. Sebelum melakukan analisis pada *software*, terdapat beberapa data yang harus dikumpulkan, seperti data geometri struktur, data material dan data aktual. Pemodelan struktur dilakukan dengan *software* STAAD.Pro V8i. Penelitian menggunakan penampang dan material baja. Penelitian dilakukan pembebanan yang terdiri dari beban mati dan suhu dengan perubahan suhu sesuai dengan di lapangan. Penelitian menghasilkan perbandingan nilai tegangan dan deformasi antara analisis menggunakan *software* dengan data uji aktual.

1.7 Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisis, komponen yang mengalami perubahan tegangan yang signifikan terjadi pada komponen gelagar melintang di atas tumpuan sendi. Pada gelagar tersebut, menunjukkan tegangan terjadi tegangan positif ke negatif akibat pengaruh perubahan suhu yang semakin meningkat. Tegangan yang terjadi pada suhu 27.6°C sebesar 2.46 MPa dan menurun menjadi -1.75 MPa pada suhu 43.6°C. Sementara itu, tegangan yang terjadi pada gelagar melintang diatas tumpuan rol adalah tegangan tekan yang meningkat dengan naiknya perubahan suhu. Perpindahan yang terjadi pada tumpuan rol menunjukkan bahwa perpindahan semakin memanjang akibat perubahan suhu semakin meningkat. Untuk Defleksi yang terjadi di tengah bentang menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi semakin kecil dengan naiknya perubahan suhu dengan selisih relatif kecil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKAAN

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang tidak sebidang dan berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya berupa sungai, laut, atau jalan lalu lintas biasa (Andekenro, 2019).

Menurut (Agus Iqbal M, 2018) pada umumnya jembatan memiliki beberapa jenis berdasarkan klasifikasi sebagai berikut:

1. Berdasarkan klasifikasi menurut kegunaannya jembatan terdiri dari:
 - a. Jembatan Jalan Raya
 - b. Jembatan Kereta Api
 - c. Jembatan Jalan Air
 - d. Jembatan Jalan Pipa
 - e. Jembatan Militer
 - f. Jembatan Penyeberangan
2. Berdasarkan klasifikasi menurut jenis material jembatan terdiri dari:
 - a. Jembatan Kayu
 - b. Jembatan Rangka Baja
 - c. Jembatan Beton Bertulang
 - d. Jembatan Beton Pratekan
3. Berdasarkan klasifikasi menurut letak lantai jembatan terdiri dari:
 - a. Jembatan Lantai Kendaraan Di Bawah (LLB)
 - b. Jembatan Lantai Kendaraan Di Atas (LLA)
 - c. Jembatan Lantai Kendaraan Di Tengah
 - d. Jembatan Lantai Kendaraan Di Atas Dan Di Bawah (*Double Deck Bridge*)
4. Berdasarkan klasifikasi menurut bentuk struktur secara umum, jembatan terdiri dari:
 - a. Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)
 - b. Jembatan Pelengkung/Busur (*Arch Bridge*)

- c. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)
 - d. Jembatan Portal (*Rigid Frame Bridge*)
 - e. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)
 - f. Jembatan *CableStayed* (*CableStayed Bridge*)
5. Berdasarkan klasifikasi menurut bidang yang dipotong, jembatan terdiri dari:
- a. Jembatan Tegak Lurus
 - b. Jembatan Lurus (*Straight Bridge*)
 - c. Jembatan Lengkung (*Curved Bridge*)
6. Berdasarkan klasifikasi menurut lokasi, jembatan terdiri dari:
- a. Jembatan Biasa
 - b. Jembatan *Viaduct*
 - c. Jembatan *Layang* (*Overbridge/Roadway Crossing*)
 - d. Jembatan Kereta Api
7. Berdasarkan klasifikasi menurut keawetan umur, jembatan terdiri:
- a. Jembatan Sementara
 - b. Jembatan Permanen
8. Klasifikasi menurut tingkat kemampuan/derajat gerak:
- a. Jembatan Atap
 - b. Jembatan Dapat Digerakan

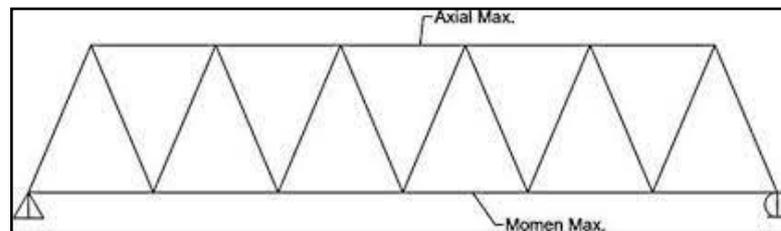
2.2 Jembatan Rangka Baja (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka baja (*truss bridge*) adalah jembatan dengan beban suprastruktur terdiri dari truss. Jembatan rangka tersusun dari bentang-bentang yang dihubungkan satu sama lain dengan pelat buhul, dengan pengikat paku keling, baut atau las. Bentang-bentang rangka ini hanya memikul gaya dalam aksial (normal) tekan atau tarik (Kartanegara, 2014).

Semakin berkembangnya penggunaan material baja untuk jembatan, maka ada beberapa tipe jembatan rangka baja. Tipe-tipe rangka baja adalah sebagai berikut:

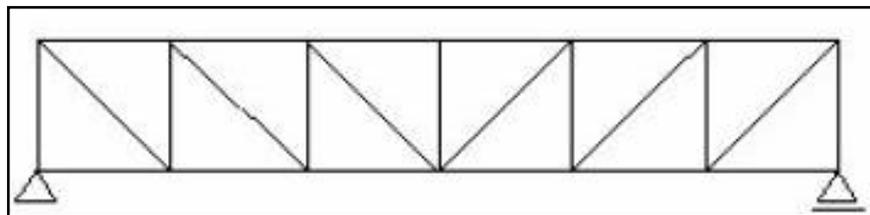
1. *Warren truss*, adalah tipe jembatan rangka dengan rangka utamanya berbentuk trapesium dari serangkaian segitiga. Penggunaan ukuran *trave* rangka *warren*

truss ini baik pada tinggi dan bentang rangkanya umumnya sama pada bentang jembatan yang berbeda. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



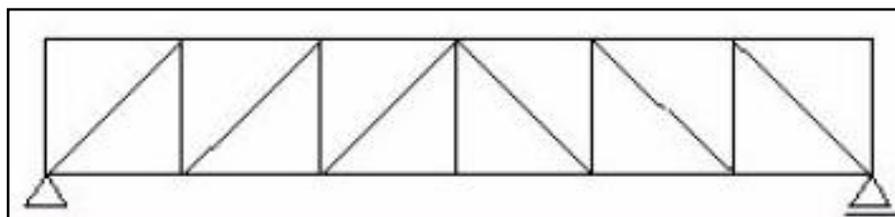
Gambar 2. 1 Tipe *Warren Truss*

2. Tipe *Pratt* (*Pratt Truss*), *Thomas* dan *Caleb Pratt* adalah penemu untuk jembatan tipe *Pratt* ini dan ditemukan pada tahun 1844. Pada jembatan tipe ini mempunyai elemen diagonal yang mengarah kebawah dan bertemu pada titik tengah bentang jembatan bagian bawah. Dapat dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



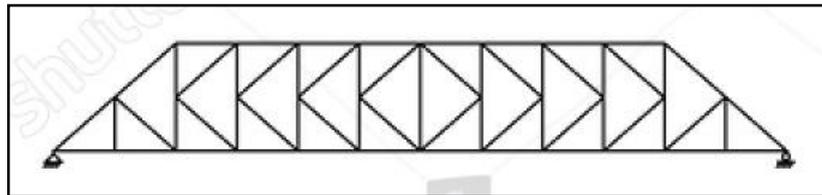
Gambar 2. 2 Tipe *Pratt Truss*

3. Tipe *Howe* (*Howe Truss*) *William Howe* adalah penemu untuk jembatan tipe *howe* ini dan ditemuka pada tahun 1840 di Massachusetts, Amerika Serikat. Jembatan ini merupakan kebalikan dari tipe *Pratt* yang mana elemen diagonalnya mengarah atau menjuru keatas dan menerima tekanan sedangkan untuk bentang vertikalnya menerima tegangan. Dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagi berikut:



Gambar 2. 3 Tipe *Howe Truss*

4. Tipe K (*K-Truss*), Jembatan ini adalah jembatan yang cukup banyak digunakan di Indonesia karena struktur dari jembatan ini yang memiliki kekokohan yang cukup tinggi dan memiliki resiko tekuk yang sedikit. Pada Gambar 2.4 merupakan jembatan yang diberi nama *K-Truss* karena elemen web berbentuk “K” dengan Panjang elemen web yang pendek.



Gambar 2. 4 Tipe *K-Truss*

2.3 Jembatan Rel Kereta Api Rangka Baja

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi yang disukai masyarakat karena daya dukung yang tinggi, waktu tempuh yang relatif singkat dan tarif yang terjangkau. Oleh karena itu, infrastruktur transportasi kereta api harus selalu dalam kondisi yang baik (Soebandono, dkk., 2019). Salah satu infrastruktur kereta api adalah jembatan. Jembatan kereta api rangka baja adalah jembatan baja yang digunakan untuk memikul beban lalu lintas kereta api yang melintasi permukaan lantai jembatan (Nuranita, 2019).

Berdasarkan aturan yang berkaitan dengan jalur dan bangunan kereta api yang merujuk pada standar teknis, pengujian, pemeriksaan, dan perawatannya telah diatur dalam peraturan Menteri Perhubungan, tanpa terkecuali dengan pembangunan jembatan. Hal ini diatur didalam Peraturan (Menteri Perhubungan NO 60 tahun 2012) tentang persyaratan teknis bangunan kereta api adalah sebagai berikut :

- a. Persyaratan sistem

Berdasarkan material untuk struktur jembatan, dibagi menjadi :

- Jembatan baja
- Jembatan beton
- Jembatan komposit

Tipe jembatan secara umum dibagi menjadi beberapa kelompok seperti yang tertera pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2. 1 Tipe Jembatan Baja

Tipe	Gelagar	Rangka
Dinding	Gelagar Dinding	Rangka Dinding
Rasuk	Gelagar Rasuk	Rangka Rasuk

(sumber:PM 60 tahun 2012)

Struktur baja harus dapat memikul beban rancangan secara aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan memiliki deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Kemampuan struktur baja untuk memikul beban tanpa adanya kelebihan tegangan diperoleh dengan menggunakan faktor keamanan dalam desain elemen struktur. Dengan menentukan jenis dan bentuk elemen struktur baja yang digunakan.

b. Persyaratan komponen

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

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

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

Adapun persyaratan minimum yang harus dipenuhi sifat mekanisme baja struktural yang tercantum pada (RSNIT-03-2005) yang dapat dilihat dari Tabel 2.2 di bawah ini, sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Sifat Mekanisme Baja Struktural

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

(sumber: RSNIT032005)

2.4 Pembebanan pada Jembatan

Menurut (SNI 1725, 2016) pada tabel 2 halaman 13, massa setiap bagian struktur harus dihitung berdasarkan dimensi yang ditunjukkan pada gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari tiap komponen bangunan dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Besarnya kerapatan massa dan berat isi dari berbagai macam komponen bahan diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Faktor Isi Untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat isi (Kn/m^3)	Kerapatan massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surface</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>coMPacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,822,7	19202315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,2519,6	12502000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,025,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja (<i>Steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber: SNI 1725-2016)

2.5 Pengaruh Suhu Terhadap Baja

Baja memiliki daktilitas yang lebih baik dan waktu pengerjaan yang lebih cepat, namun baja rentan terhadap perubahan suhu. Pada suhu tinggi, karakteristik material baja dapat mengalami penurunan. Seiring dengan meningkatnya temperatur pada baja, tegangan leleh semakin menurun. Selain itu, tegangan putus serta modulus elastisitas bahan juga menurun.

Peninjauan dilakukan terhadap timbulnya tegangan struktural karena adanya perubahan terhadap perbedaan suhu pada bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditentukan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat pada SNI 1725:2016 dapat dilihat pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Suhu Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15 °C	40 °C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15 °C	40 °C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15 °C	45 °C
Catatan (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5 °C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

(Sumber: SNI 1725:2016)

Untuk perhitungan tegangan dan pergerakan pada struktur jembatan akibat perbedaan perubahan suhu dapat diambil nilai modulus elastisitas young (E) dan koefisien muai panjang (α) sesuai dengan Tabel 2.5 berikut :

Tabel 2. 5 Sifat Bahan Rata-Rata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^6 per °C	200.000
Beton		
Kuat tekan < 30 MPa	10×10^6 per °C	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat tekan > 30 MPa	11×10^6 per °C	$4700\sqrt{f_c'}$

(Sumber: SNI 1725:2016)

2.6 Tegangan Yang Terjadi Akibat Perubahan Suhu Pada Komponen Jembatan Rangka

Tegangan merupakan besaran dari hasil pengukuran nilai intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A) (Singer 1995). Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada bentang yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila bentang ini ditarik dengan gaya F , maka tegangannya merupakan tegangan tarik (*tensile stress*); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan bentang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (*normal stress*). Tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan.

Dalam tegangan, perubahan suhu menyebabkan ekspansi atau kontraksi bahan, sehingga terjadi regangan termal dan tegangan termal dimana suatu bahan tidak dikekang sehingga bebas berekspansi. Apabila bahan mengalami pengaruh perubahan suhu maka bahan tersebut mengalami regangan termal dari segala arah. Pada kebanyakan bahan, regangan termal ϵ_T sebanding dengan perubahan suhu ΔT . Jadi dapat dihitung regangan akibat suhu dengan rumus 2.1 sebagai berikut:

$$\epsilon_T = \alpha(\Delta T) \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

ϵ_T = Regangan termal.

α = Koefisien perpanjangan akibat suhu.

ΔT = Perubahan suhu.

Perubahan suhu yang relatif wajar menghasilkan regangan yang sama besarnya dengan regangan yang diakibatkan oleh nilai beban biasa, yang menunjukkan bahwa efek suhu merupakan hal penting didalam desain. Dari rumus 2.1 dapat dihitung tegangan yang diakibatkan oleh pengaruh perubahan suhu. Adapun rumus 2.2 untuk menghitung tegangan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\sigma = E\alpha(\Delta T) \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

σ = Tegangan

E = modulus elastisitas

ΔT = Perubahan suhu.

2.7 Deformasi Pada Komponen Jembatan Rangka

Deformasi adalah perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi yang terjadi karena alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi bisa bersifat absolut maupun bersifat relatif. Gerakan titik dinyatakan absolut apabila yang dikaji ialah perilaku gerakan titik itu sendiri, sedangkan gerakan titik dinyatakan relatif apabila yang ditunjukkan pada gerakan titik yang satu terhadap titik yang lainnya.

Material yang terdeformasi mengalami gaya reaksi yang mengakibatkan perubahan bentuk dan posisi. Material yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penyebab deformasi, akan mengalami gaya-gaya reaksi yang mengakibatkan perubahan bentuk dan posisi. Perubahan tersebut dapat terjadi dengan lambat maupun cepat. Gaya-gaya reaksi tersebut terdiri dari translasi, rotasi, regangan, dan dilatasi. Deformasi suatu materi ditentukan oleh pergeseran dari partikel-partikel di dalam materi tersebut (Los, 2019.). Deformasi yang terjadi pada suatu materi mempunyai sifat gerakan yang dapat dikelompokkan dalam 2 macam sifat pergerakan, yaitu :

1. Gerakan bersifat plastis, yaitu gerakan yang dilakukan oleh materi yang terdeformasi tidak kembali ke bentuk asalnya/bentuk awal setelah gaya deformasi tersebut tidak bekerja padanya (setelah gaya dilepaskan)
2. Gerakan bersifat elastis, yaitu gerakan yang dilakukan oleh materi yang terdeformasi kembali ke asalnya/bentuk awal setelah gaya deformasi tidak bekerja.

Sebuah jembatan mencirikan dua macam deformasi yang berbeda, yaitu gerakan jangka panjang yang disebabkan oleh pondasi, dek jembatan dan tekanan regangan dan gerakan jangka pendek yang disebabkan oleh angin, suhu, pasang surut, gempa bumi dan lalu lintas. Tidak seperti deformasi jembatan jangka panjang, yang tidak dapat kembali ke bentuk aslinya, deformasi jembatan jangka

pendek disebut dengan defleksi (*deflection*). Disebut defleksi atau pembelokan dikarenakan objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuknya semula jika terlepas dari seluruh muatannya (Meng, 2010).

Defleksi dapat terjadi akibat pengaruh suhu yang terjadi pada bentang. Defleksi dapat dihitung dapat sebuah bentang dari regangan termal yang terjadi. Cara menghitung defleksi akibat pengaruh perubahan suhu dapat dilihat dari buku (Mekanika Bahan 1) dimana rumus tersebut dapat dilihat dari rumus 2.3 di bawah ini:

$$\delta_T = \epsilon_T L = \alpha(\Delta T) L \quad \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

ϵ_T = Regangan termal.

α = Koefisien perpanjangan akibat suhu.

ΔT = Perubahan suhu.

L = Panjang bentang

Dalam perencanaan dan pembangunan, survei deformasi sangat bermanfaat untuk memperkirakan umur (*lifetime*) suatu struktur yang sangat perlu dipantau. Misalnya jembatan. Jembatan merupakan struktur yang sangat rentan terhadap deformasi karena beban yang berlebihan (*overload*) maupun karena pengaruh lainnya. Apabila deformasi tidak dipantau dengan baik, maka akan mengakibatkan kerusakan yang menghabiskan banyak dana maupun korban jiwa yang seharusnya dapat dihindari.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan dalam pelaksanaan dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir di bawah ini :

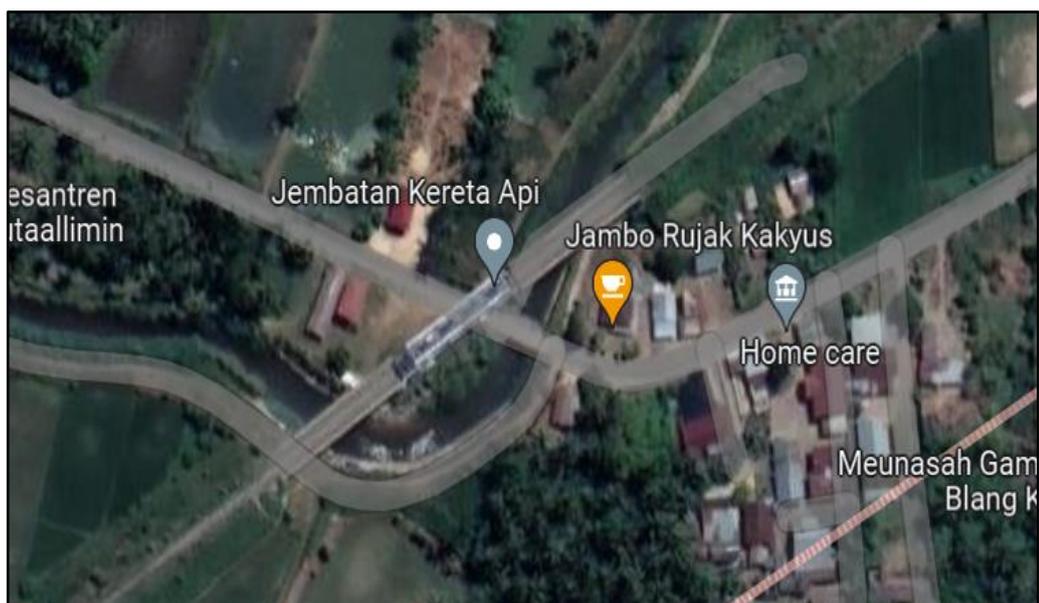


Gambar 3. 1 Bagan alir tahapan penelitian

Tahapan awal yang dilakukan penelitian ini adalah studi literatur mengenai pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan dan deformasi pada jembatan rel kereta api rangka baja. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data antara lain, data geometri, data material dan data hasil uji aktual. Untuk data hasil uji aktual yang dikumpulkan adalah nilai tegangan dan deformasi yang terjadi secara langsung di lapangan. Selanjutnya, dilakukan pemodelan menggunakan *software* STAAD PRO V8i dengan cara menginput data material dan dimensi penampang. Selanjutnya, dilakukan *input* data pembebanan antara lain yaitu beban mati dan beban suhu. Selanjutnya, dilakukan analisis menggunakan *software* STAAD PRO V8i. Hasil analisis yang diperoleh antara lain tegangan dan deformasi. Tahap terakhir, yang dilakukan pada penelitian ini adalah membandingkan hasil analisis menggunakan *software* STAAD PRO V8i terhadap data aktual.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian menggunakan jembatan rel kereta api rangka baja sebagai studi kasus. Penelitian dilakukan pada studi kasus dengan bentang 39.1 m. Studi kasus ini berlokasi di Blang Keude, Kecamatan Gandapura, Kabupaten Bireun, Aceh. Lokasi jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3. 2 Lokasi Jembatan

3.3 Pengumpulan Data

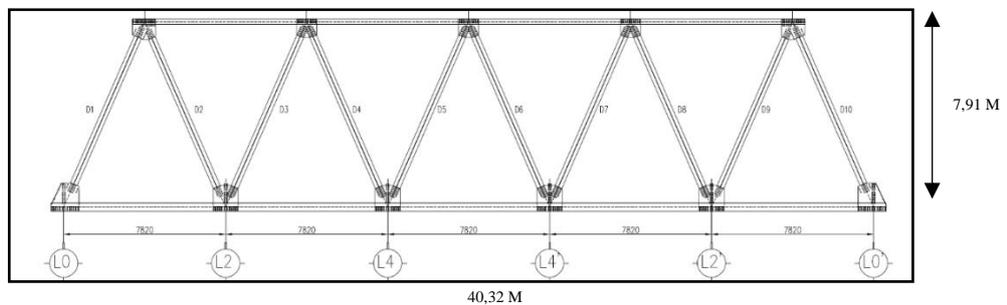
Pada analisis ini dikumpulkan data dari jembatan berupa data geometri, data material, data beban pengujian dan data hasil uji aktual. Data jembatan dimodelkan dalam bentuk 3D (tiga dimensi) pada *software* STAAD.Pro V8i. Analisis perubahan suhu jembatan sesuai dengan suhu yang terjadi sesuai di lapangan.

3.3.1 Data Geometri Struktur

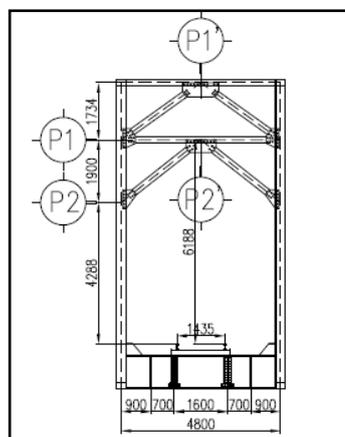
Data geometri struktur adalah data struktur yang diperlukan sebagai dimensi perencanaan struktur. Data geometri struktur berisi nilai panjang, lebar, tinggi dan jarak antar titik buhul. Data geometri dapat diketahui melalui visualisasi potongan struktur seperti terlihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.

Adapun data geometri struktur yang diperoleh sebagai berikut:

1. Panjang bentang jembatan : 39.1 m
2. Lebar bentang jembatan : 4.8 m
3. Tinggi jembatan : 7.91 m
4. Jarak antar titik buhul : 7.82 m



Gambar 3. 3 Potongan Memanjang

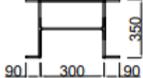
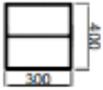


Gambar 3. 4 Potongan Melintang

3.3.2 Data Material Struktur

Data material struktur adalah data bahan konstruksi yang diperlukan dalam perencanaan struktur. Material struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja. Adapun material struktur baja yang digunakan adalah BJ37, A36. Data geometri dapat diketahui melalui dimensi struktur profil baja terlihat pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3. 1 Data Profil Baja

No	Komponen Struktur	Profil Baja
1	Bottom Chord (BC)	Tebal sayap 18 mm 
2	Gelagar Memanjang (GM)	Tebal sayap 22 mm 
3	Gelagar Melintang (GL)	Tebal sayap 22 mm 
4	Diagonal 1 & 10 (D1& D10)	Tebal sayap 22 mm 
5	Diagonal 2 – 9 (D2 – D9)	Tebal sayap 18 mm 
6	Bracing Bawah (BB)	Tebal sayap 10 mm 
7	Top Chord	Tebal sayap 18 mm 
8	Bracing Atas	Tebal sayap 10 mm 
9	Bracing 1 (B1)	Tebal sayap 8 mm 

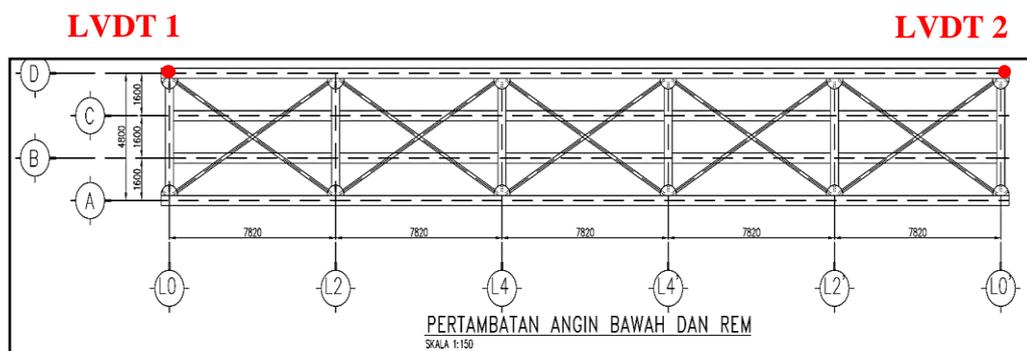
10	Bracing 2 (B2)	Tebal sayap 9 mm 
----	----------------	---

3.3.3 Data Aktual

Data aktual merupakan data yang diperoleh secara langsung di lapangan. Data aktual diukur menggunakan alat *strain gauge* dan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*). Alat ukur dipasang untuk *strain gauge* ada 6 titik dan LVDT ada dua titik yang dipasang pada jembatan. Pengukuran dilakukan 2 x 24 jam pada jembatan. Berikut ini merupakan alat yang digunakan dalam uji beban aktual.

1. Sensor LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*)

Sensor LVDT digunakan untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi pada struktur jembatan akibat perilaku pembebanan. Pada uji pembebanan jembatan ini dipasang 2 jumlah sensor LVDT pada daerah tumpuan dengan sisi berlawanan seperti Gambar 3.5 di bawah ini.

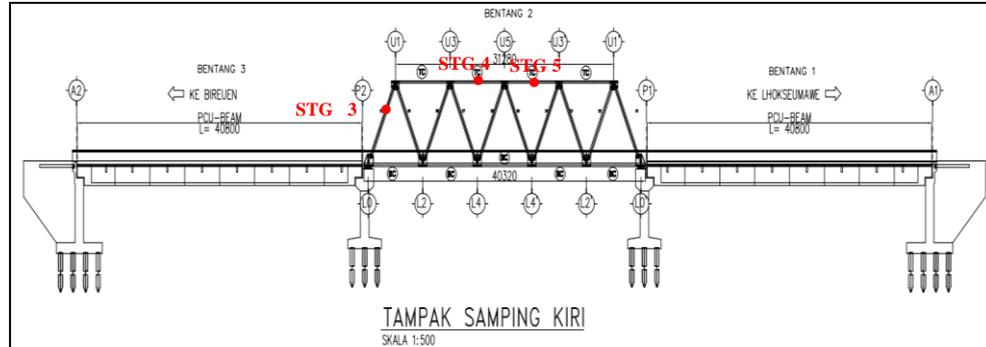


Gambar 3. 5 Denah Pemasangan LVDT (2 Titik)

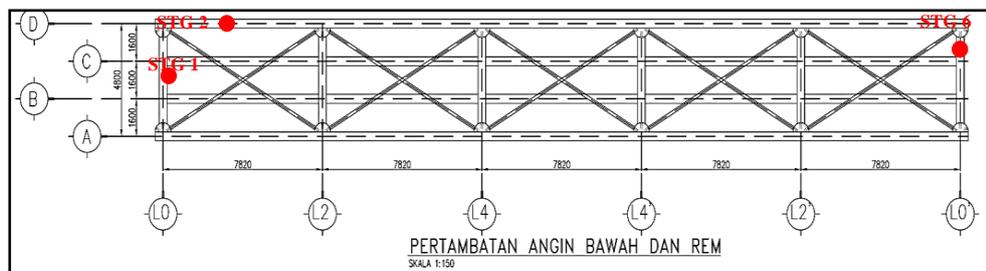
2. *Strain Gauge*

Strain Gauge pada uji pembebanan statis merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk mengukur tekanan (deformasi atau *strain*) dengan prinsip jika tekanan pada benda berubah, maka foil atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Pada uji pembebanan jembatan ini dipasang 6 jumlah sensor *strain gauge* yang letaknya tersebar

pada seluruh struktur rangka jembatan yang ditampilkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.6 Denah Pemasangan *Strain Gauge* 3,4, dan 5 (3 Titik)



Gambar 3.7 Denah Pemasangan *Strain Gauge* 1,2, dan 6 (3 Titik)

Berikut ini merupakan data hasil uji aktual yang dilakukan pada jembatan kereta api Blang Keude. Seperti diperlihatkan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Data Uji Aktual

STG 1	STG 2	STG 3	STG 4	STG 5	STG 6	LVDT 1	LVDT 2	Thermocouple	
Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja			Suhu	ΔT
MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	°C	
0	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.07	38.0	0
0.95	-8.76	-0.15	-1.89	-2.24	-2.19	-1.21	-0.14	43.6	5.6
-10.2	-16.12	-1.14	-8.96	-10.05	-10.0	-4.70	-0.92	43.0	5.0
-9.01	-11.84	-3.33	-7.51	-8.86	7.61	-5.11	-1.23	42.0	4.0
0.95	-8.76	-0.15	-1.89	-2.24	-2.19	-1.21	-0.14	41.9	3.9
-5.22	15.97	0.45	-9.01	-9.90	-0.05	-4.70	-0.92	41.8	3.8
-8.21	-6.77	-4.18	-5.37	-6.57	-2.94	-5.11	-1.30	41.6	3.6
0.95	-10.5	0.90	-8.41	-9.16	-8.56	-3.01	-0.48	39.5	1.5
-3.88	-1.49	-0.35	-4.28	-5.13	-0.15	-3.98	-0.99	38.9	0.9
-2.49	1.59	-1.84	-1.54	-2.29	1.44	-3.79	-1.25	37.0	-1.0
-0.35	2.29	0.25	-1.04	-1.64	1.19	-3.31	-0.94	33.8	-4.2
0.60	2.69	1.49	-0.90	-1.24	1.59	-1.97	-0.80	31.0	-7.0

0.85	3.09	1.64	-0.50	-0.75	1.39	-1.32	-0.46	29.7	-8.3
0.90	3.18	1.54	-0.15	-0.40	1.29	-0.60	-0.52	28.7	-9.3
1.00	3.53	1.44	0.10	-0.10	1.29	-0.40	0.46	28.1	-9.9
0.90	3.53	1.34	0.20	0.05	1.29	-0.16	0.41	27.6	-10.4

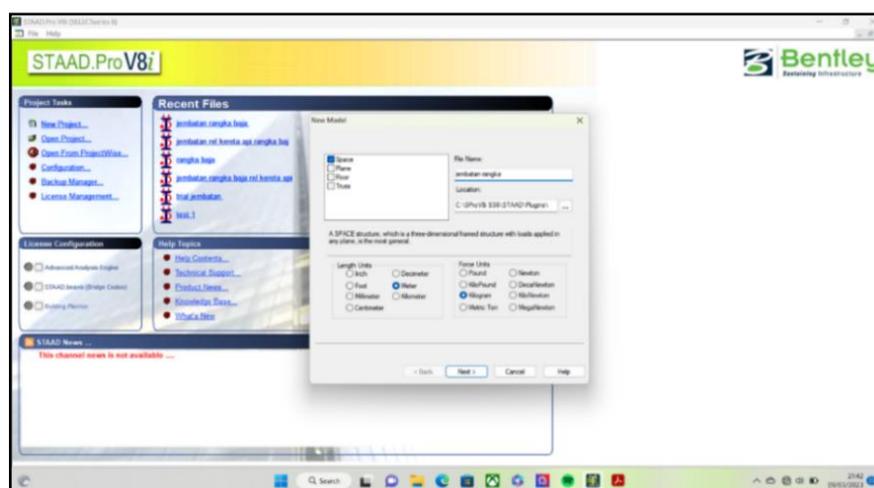
3.4 Analisis

Analisis adalah metode yang dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu pada jembatan. Analisis dilakukan pada suhu sebagai fokus parameter yang diasumsikan sesuai dengan perubahan suhu yang ada di lapangan. Analisis struktur dilakukan menggunakan *software* STAAD Pro V8i. Setelah dilakukan *Run analysis*, maka diperoleh hasil penelitian berupa pengaruh perubahan suhu terhadap tegangan dan deformasi. Hasil analisis menggunakan *software* STAAD Pro V8i dibandingkan dengan data uji aktual.

3.5 Tahapan Analisis Struktur Menggunakan *Software* STAAD Pro V8i

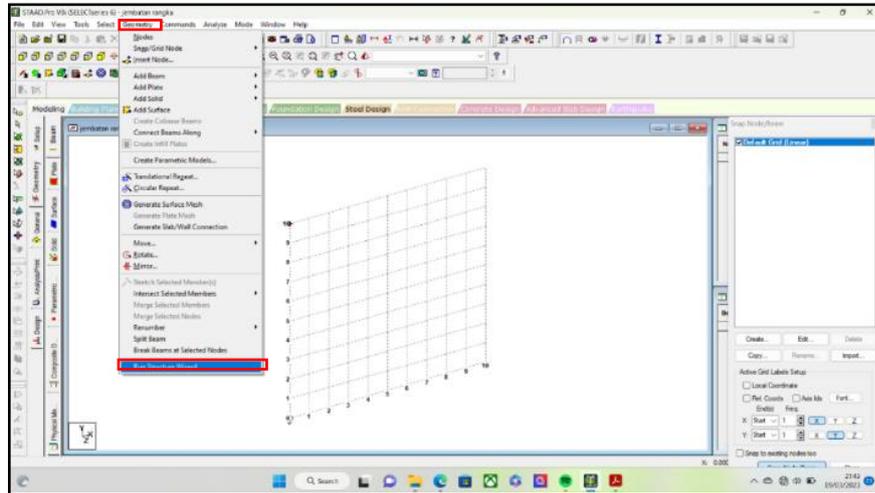
Dalam penggunaan STAAD.Pro V8i terdapat beberapa langkah dalam pemodelan struktur. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Buka *software* STAAD.Pro V8i. Lalu pilih menu *new project*. Kemudian pilih *space* dan beri nama *project*. Setelah itu, masukan satuan ukuran dan kemudian *next*. Dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut:



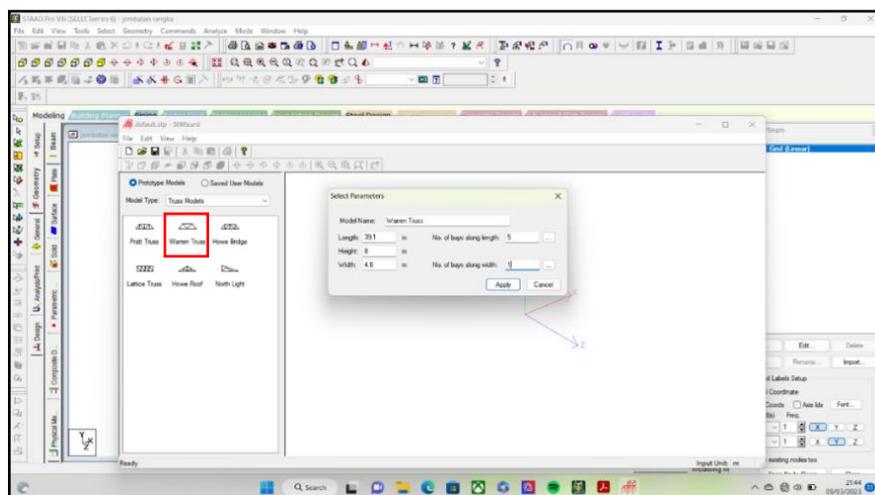
Gambar 3.8 Langkah pertama

2. Tahapan kedua adalah memasukan tipe jembatan dengan cara masuk menu *geometry* kemudian pilih *run structure wizard*. Seperti pada Gambar 3.9 sebagai berikut:

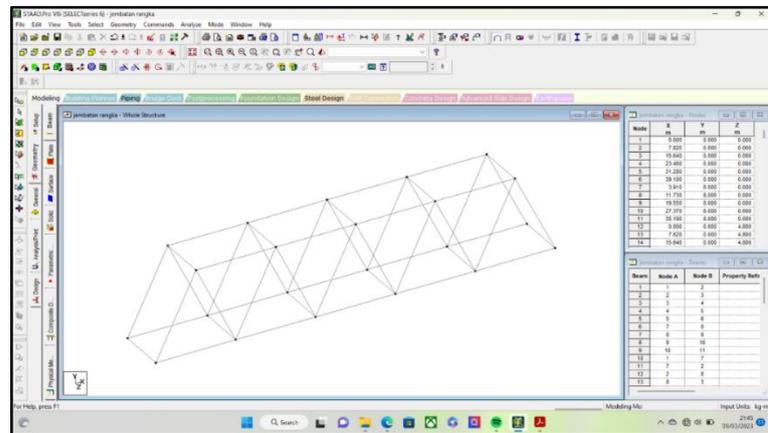


Gambar 3.9 Langkah kedua

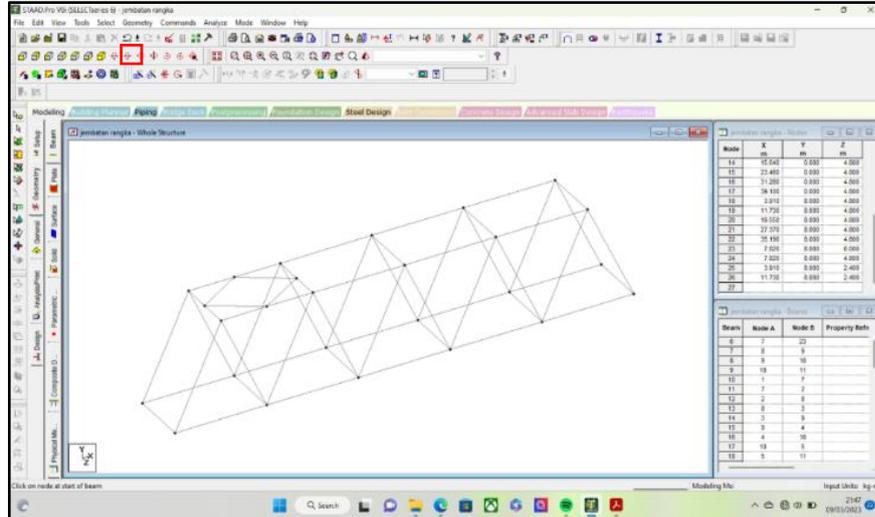
3. Setelah masuk ke menu *run structure wizard*, pilih *truss models* pada model type. Kemudian pilih tipe jembatan yang akan diinput dalam pemodelan. Jembatan pada penelitian ini adalah *warren truss*, kemudian masukan data geometri struktur pada jembatan ini seperti pada gambar 3.10 Setelah itu *apply*, kemudian pilih menu *transfer models*. Setelah itu hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.11 sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Langkah ketiga



5. Tahap berikutnya menambahkan *beam*. Pilih menu *add beam* kemudian tarik dari *node* ke *node* terlihat seperti Gambar 3.14 sebagai berikut:

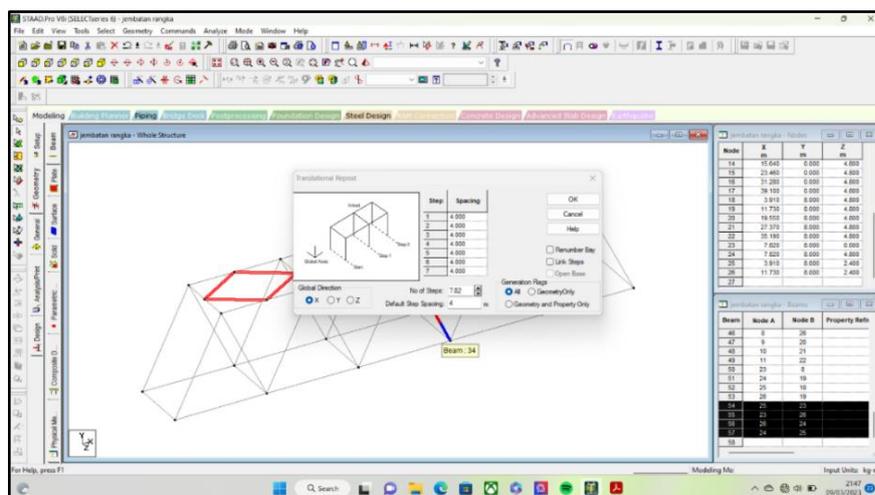


Gambar 3.14 Hasil dari langkah kelima

6. Setelah itu, *copy beam* dengan cara blok *beam* yang akan diduplikasikan. Kemudian masuk ke menu *translational repeat*, lalu pilih arah mana *beam* akan diduplikatkan sesuai dengan bentuk yang ada di lapangan seperti pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 di bawah ini:

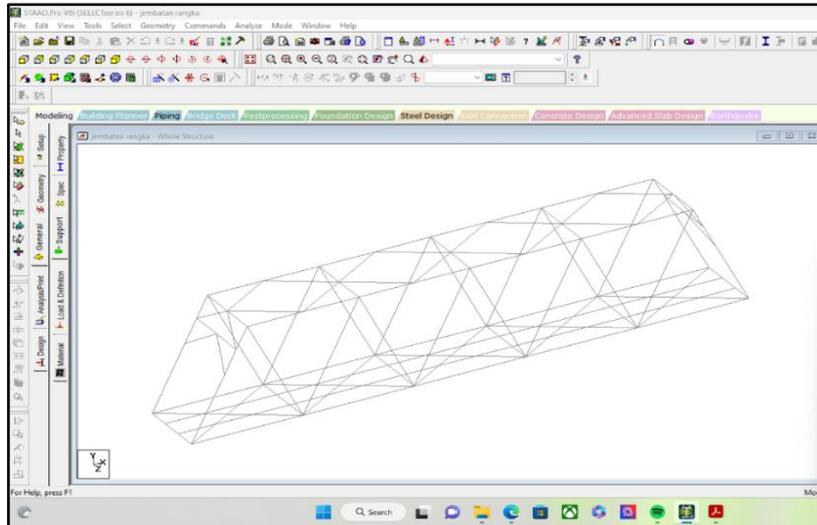


Gambar 3.15 Langkah keenam



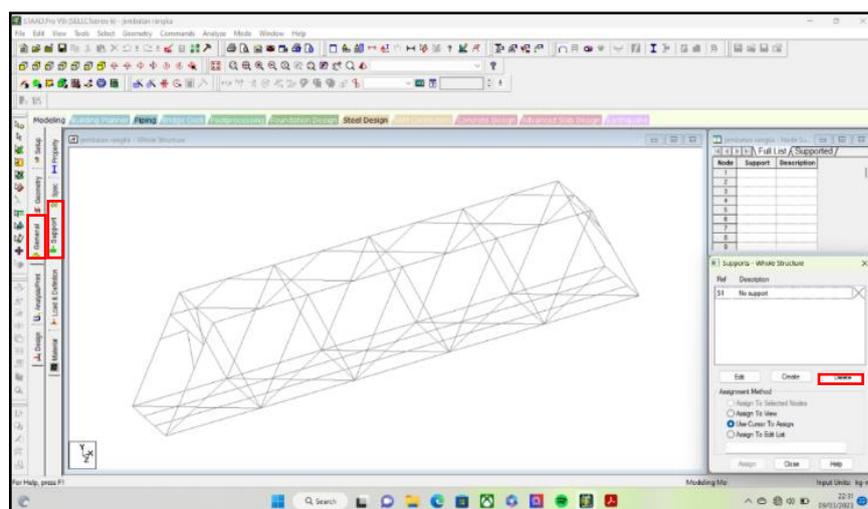
Gambar 3.16 Langkah selanjutnya dari langkah keenam

7. Lakukan tahap diatas untuk setiap *beam* yang akan diduplikatkan sesuai dengan bentuk yang ada di lapangan seperti yang terlihat pada Gambar 3.17 sebagai berikut:



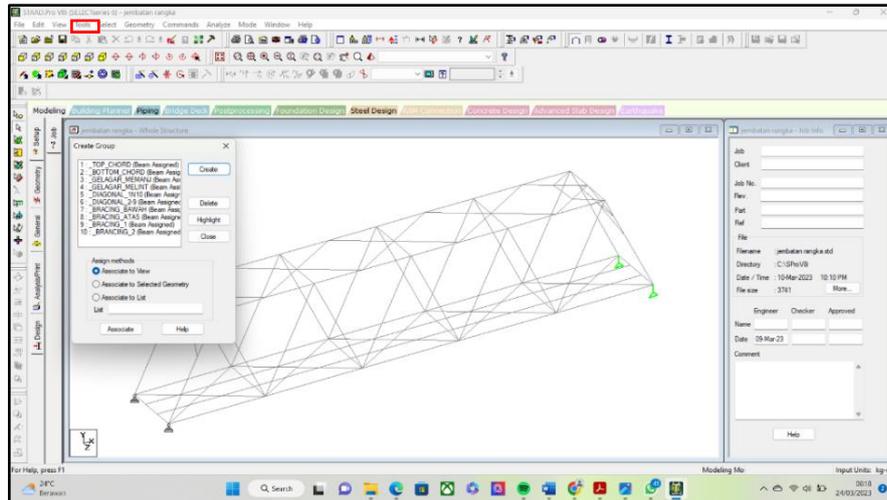
Gambar 3. 17 Langkah ketujuh

8. Setelah itu masukan tumpuan dengan cara masuk ke menu *general* lalu pilih *support*. Untuk menambahkan tumpuan pilih *create* seperti pada Gambar 3.18 Untuk tumpuan sendi pilih *pinned* lalu *add*. Untuk sendi rol pilih *fixed but*. Kemudian letakkan tumpuan pada *node* yang akan diberikan tumpuan kemudian klik *assigning* seperti pada Gambar 3.18.



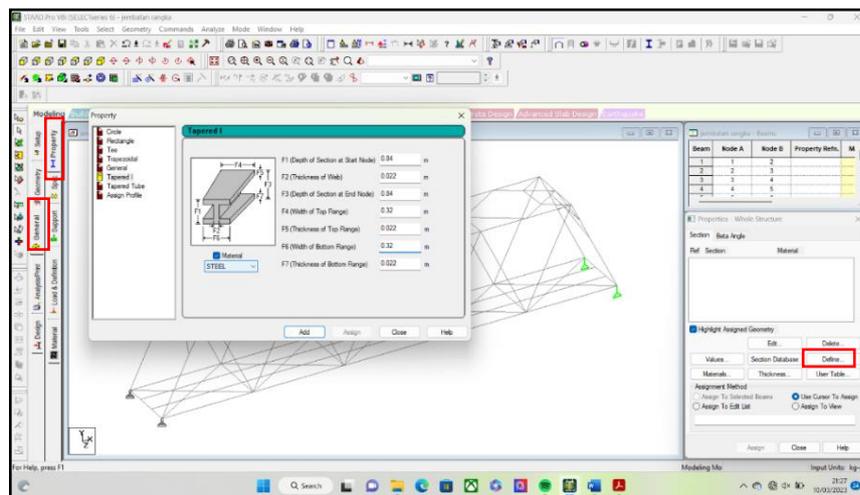
Gambar 3. 18 Langkah kedelapan

9. Tahapan selanjutnya, memberikan nama pada setiap struktur pada jembatan dengan cara masuk ke menu pilih *create group* seperti pada Gambar 3.19 sebagai berikut:



Gambar 3.19 tahapan kesembilan

10. Masukkan profil baja sesuai dengan profil baja yang ada di lapangan dengan cara masuk ke menu *general* lalu ke *property*. Setelah itu masuk ke menu *define*, seperti pada Gambar 3.20 sebagai berikut:

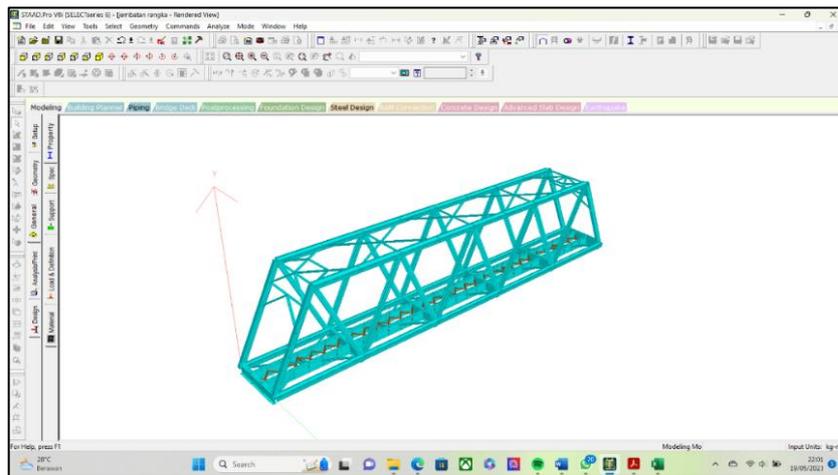


Gambar 3.20 Tahapan kesepuluh

11. Untuk profil baja yang tidak tersedia di menu *define* atau profil baja *custom*. Cara memasukannya dengan cara gambarkan profil baja pada autocad kemudian simpan file dalam bentuk dwf, kemudian *export* gambar ke

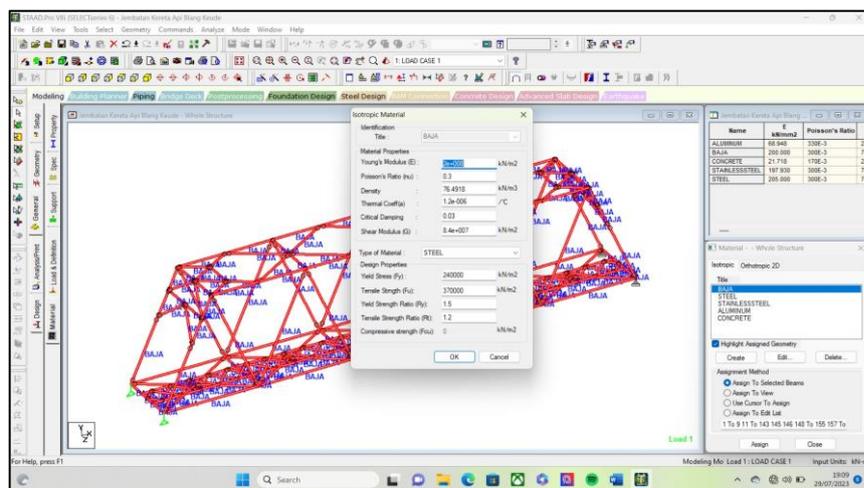
STAAD.Pro V8i pada menu *section wizard*. Selanjutnya, ambil titik koordinat dari profil baja.

12. Selanjutnya masukan titik koordinat pada *create user table*. Gambar hasil setelah dimasukan penampang dan profil baja dapat dilihat pada Gambar 3.21 sebagai berikut:



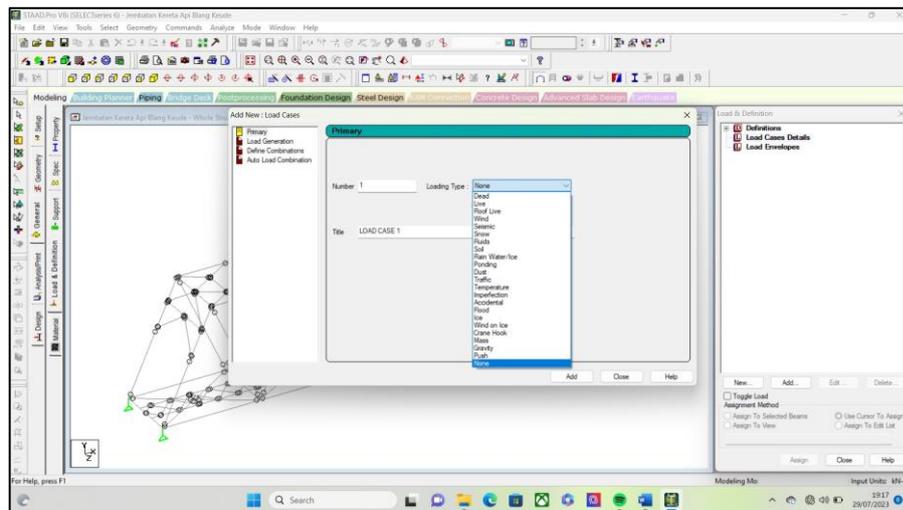
Gambar 3.21 Hasil 3D pada STAAD.Pro V8i

13. Selanjutnya, masukan material yang akan digunakan pada jembatan dengancara masuk kemenu *general*, lalu pilih material kemudian *add*. Lalu masukan data material yang digunakan dan buat nama material dapat dilihat pada Gambar 3.22 di bawah ini.



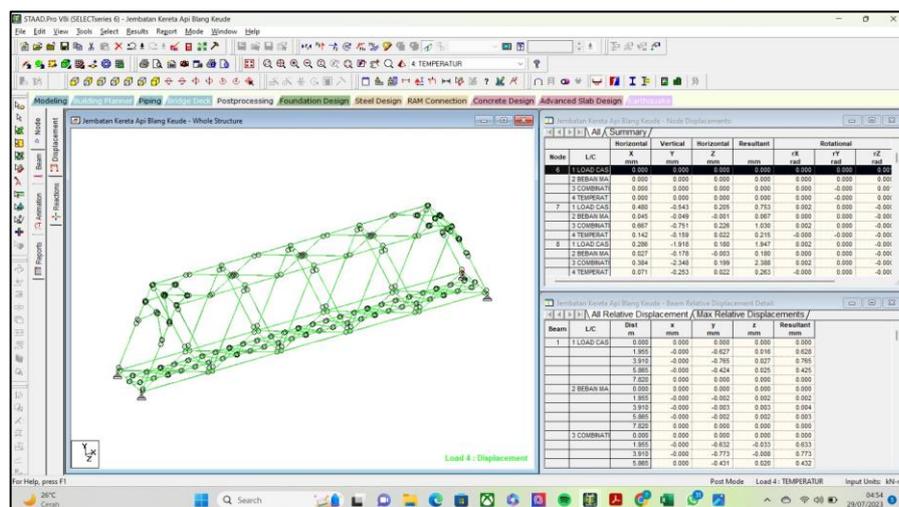
Gambar 3.22 Memasukan material

14. Selanjutnya, tahap memasukan pembebanan yang akan dianalisis pada jembatan seperti beban berat sendiri, beban mati dan perubahan suhu. Dengan cara masuk ke menu general pilih *Load & Definision* kemudian pilih *Load cases* kemudian *add*, buat keterangan beban dan beban apa yang akan dimasukan. Kemudian *add* beban yang akan dimasukan lalu assign beban pada geometri yang akan diberi beban terlihat pada Gambar 3.23 di bawah ini.



Gambar 3. 23 Memasukan beban

16. Jika semua data sudah di assign tahap selanjutnya ialah *run analysis* dengan cara masuk ke menu *Analyze*. Setelah itu, *postprocessing* dan ambil data apa saja yang diperlukan pada penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 3.24 di bawah ini.



Gambar 3. 24 Hasil akhir

3.6 Penelitian Terdahulu

NO	Judul	Masalah	Metode	Hasil
1.	Simulasi, Studi Eksperimen dan Analisis Defleksi pada Ujung Bebas Curved Beam Akibat Beban Terkonsentrasi Tunggal	pengaruh beban terhadap defleksi, dan defleksi yang terjadi diselesaikan dengan simulasi computer dengan model BEAM3 2D	Menggunakan data analitis dan data eksperimen	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembebanan berpengaruh secara signifikan terhadap defleksi yang terjadi. Pemodelan menggunakan BEAM3 2D memberikan hasil simulasi yang baik. Hal ini ditunjukkan dari uji t yang dilakukan, dimana hasil simulasi yang
2.	Analisis Alternatif Perkuatan Jembatan Rangka Baja (Studi Kasus : Jembatan Rangka Baja SoekarnoHatta Malang)	Dengan semakin meningkatnya beban yang diterima jembatan dan umur jembatan semakin sedikit ataupun habis, menyebabkan kekuatan berkurang dan terjadinya lendutan yang maksimal	penelitian ini menggunakan pengumpulan data melalui studi pustaka dan studi lapangan. Menggunakan analisis menggunakan staad pro.	Dari hasil analisis menggunakan STAAD Pro terhadap jembatan suhat bentang 60 meter didapatkan besar lendutan terhadap beban mati dan beban hidup sebesar 11,72 cm dengan lendutan maksimum izin 6 cm maka lendutan yang terjadi melebihi lendutan yang diizinkan sehingga perlu dilakukan perkuatan dengan cara prategang
3.	Simulasi, Studi Eksperimen dan Analisis Defleksi pada Ujung Bebas Curved Beam Akibat Beban	Pengaruh beban terhadap defleksi, dan defleksi yang terjadi diselesaikan dengan	Menggunakan data analitis dan data eksperimen.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembebanan berpengaruh secara signifikan terhadap defleksi yang terjadi. Pemodelan menggunakan BEAM3

NO	Judul	Masalah	Metode	Hasil
	Terkonsentrasi Tunggal	simulasi computer dengan model BEAM3 2D		2D memberikan hasil simulasi yang baik. Kelebihan lain yang diperoleh dari simulasi adalah bahwa hasil defleksi yang didapat tidak terbatas hanya pada ujung curved beam, tetapi dapat juga memprediksi defleksi pada setiap node ataupun setiap elemen sesuai yang dikehendaki.
4.	Analisis Keamanan Jembatan Rangka Baja Soekarno – Hatta Malang Ditinjau Dari Aspek Kesehatan, Tegangan Pelat Buhul, Dan Simulasi Kebakaran	Tegangan yang terjadi di tengah bentang akibat kebakaran	Menggunakan <i>hammer test</i> dan UPV test. Juga menggunakan software untuk analisis perpindahan panas yaitu software Fire Dynamics Simulator kemudian menggunakan Ansys APDL Multiphysic	ketika terjadi kebakaran di tengah bentang, total waktu yang dibutuhkan saMPai tegangan bentang diagonal mencapai leleh adalah setelah menit ke 18.90 (1134 s) dan mencapai titik putus pada menit ke 19.23 (1154 s). Sedangkan, ketika terjadi kebakaran pada bagian pinggir bentang, waktu yang dibutuhkan jembatan untuk mencapai leleh adalah setelah menit ke 15.81 (949 s), dan pada menit ke 17.95 (1077 s) tegangan bentang diagonal mencapai titik putus
5.	Evaluasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Rangka Baja Double Track	Analisis dan pembebanan jembatan sesuai kriteria teknis yang mengacu	Analisis menggunakan software MIDAS Civil	Hasil analisis pada jembatan kereta api rangka baja tipe WTT bentang 50 m menghasilkan beberapa bentang

NO	Judul	Masalah	Metode	Hasil
	Tipe Welded Through Truss Bentang 50 meter	pada Lampiran Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.		diagonal dengan rasio tegangan > 1 yang berarti secara umum jembatan tidak memenuhi syarat kekuatan, Hasil analisis jembatan tanpa kombinasi beban hidup statik menghasilkan elemen struktur dengan nilai rasio tegangan kurang dari 1 yang berarti struktur memenuhi syarat kekuatan.

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan hasil analisis serta pembahasan dari pokok permasalahan yang ada pada penelitian ini sesuai dengan teori-teori yang telah dijelaskan bab tinjauan kepustakaan. Adapun hasil dan pembahasan tersebut adalah sebagai berikut:

4.1 Hasil Analisis

Hasil penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah yang ingin dibahas yaitu membandingkan hasil uji aktual dengan hasil analisis pada jembatan kereta api rangka baja yang dipengaruhi oleh perubahan suhu yang terjadi pada jembatan, dengan melakukan perubahan suhu sesuai dengan perubahan suhu yang terjadi di lapangan. Hasil uji aktual diperoleh dari alat sensorik yaitu *strain gauge* (STG). Hasil analisis diperoleh dengan metode numerik dengan bantuan *software* STAAD.PRO V8i. Adapun hasil yang didapatkan yaitu tegangan dan deformasi.

4.1.1 Output Tegangan (*Stress*)

Pada analisis dengan simulasi tumpuan sendi-rol akibat pengaruh perubahan suhu sesuai dengan data pengujian aktual dengan suhu awal 38⁰C. Hasil tegangan yang terjadi pada setiap STG memiliki tegangan yang berbeda. Pada STG 1 tegangan yang terjadi adalah tegangan tekan dengan nilai maksimum sebesar 0.472 MPa pada suhu 43.6⁰C, untuk STG 2 terjadi tegangan tarik menuju tekan, dengan nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 0.521 MPa pada suhu 27.6⁰C dan tegangan tekan tertinggi 0.535 MPa pada suhu 43.6⁰C, untuk STG 3 tegangan tekan dengan nilai tertinggi 0.918 MPa pada suhu 27.6⁰C, untuk STG 4 dan 5 memiliki hasil tegangan yang sama yaitu tegangan tekan dengan nilai tertinggi sebesar 1.526 MPa, dan untuk STG 6 tegangan yang terjadi tegangan tarik menuju tegangan tekan dengan nilai tegangan tarik tertinggi yang terjadi sebesar 2.463 MPa pada suhu 27.6⁰C dan tegangan tekan tertinggi sebesar 1.751 MPa pada suhu 43.6⁰C. Data hasil analisis dapat dilihat dari Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Tegangan Berdasarkan Analisis

Suhu	ΔT	STG 1	STG 2	STG 3	STG 4	STG 5	STG 6
$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
27.6	-10.4	-0.079	0.521	-0.918	-0.245	-0.245	2.463
28.1	-9.9	-0.09	0.49	-0.916	-0.285	-0.285	2.300
28.7	-9.3	-0.103	0.452	-0.912	-0.333	-0.333	2.143
29.7	-8.3	-0.126	0.39	-0.907	-0.413	-0.413	1.881
31.0	-7.0	-0.155	0.309	-0.9	-0.517	-0.517	1.541
33.8	-4.2	-0.218	0.134	-0.884	-0.742	-0.742	0.809
37.0	-1.0	-0.29	-0.065	-0.866	-0.998	-0.998	-0.027
38.9	0.9	-0.333	-0.184	-0.856	-1.15	-1.151	-0.524
39.5	1.5	-0.347	-0.221	-0.852	-1.198	-1.199	-0.681
41.6	3.6	-0.394	-0.352	-0.841	-1.367	-1.367	-1.23
41.8	3.8	-0.399	-0.365	-0.84	-1.383	-1.383	-1.282
41.9	3.9	-0.401	-0.371	-0.839	-1.391	-1.391	-1.282
42.0	4.0	-0.403	-0.377	-0.839	-1.399	-1.399	-1.308
43.0	5.0	-0.426	-0.44	-0.833	-1.479	-1.479	-1.335
43.6	5.6	-0.472	-0.535	-0.83	-1.526	-1.527	-1.751

4.1.2 Output Perpindahan (*Displacement*)

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa pada jembatan kereta api hasil perpindahan (*displacement*) dengan perubahan suhu sesuai dengan data pengujian aktual dengan suhu awal $38^{\circ}C$. Data uji aktual perpindahan diperoleh dari alat LVDT. LVDT 1 terletak di tumpuan rol dan LVDT 2 terletak pada tumpuan sendi. Pada LVDT 1 mendapatkan hasil perpindahan terbesar terjadi pada suhu $43.6^{\circ}C$ sebesar 0.355 mm. Pada LVDT 2 mendapatkan hasil perpindahan tidak terjadi perpindahan untuk semua perubahan suhu. Adapun hasil perpindahan yang diperoleh dapat dilihat dari Tabel 4.2 di bawah ini:

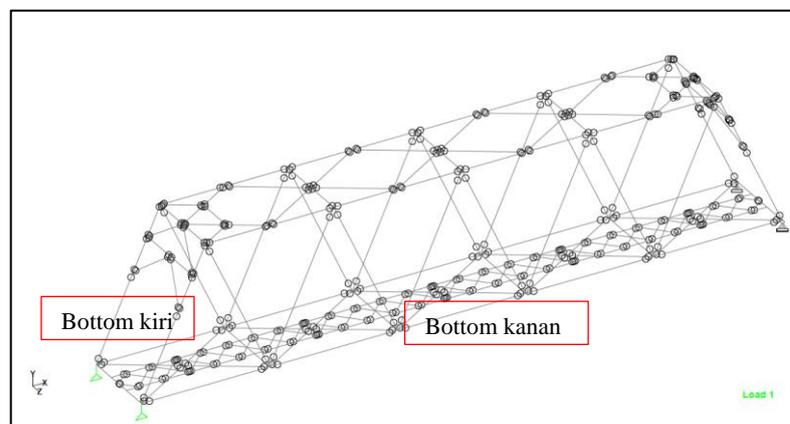
Tabel 4. 2 Hasil Data Perpindahan

SUHU ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)
27.6	-10.4	-0.375	0
28.1	-9.9	-0.352	0
28.7	-9.3	-0.324	0

29.7	-8.3	-0.278	0
31.0	-7.0	-0.218	0
33.8	-4.2	-0.088	0
37.0	-1.0	0.06	0
38.9	0.9	0.148	0
39.5	1.5	0.176	0
41.6	3.6	0.273	0
41.8	3.8	0.282	0
41.9	3.9	0.287	0
42.0	4.0	0.292	0
43.0	5.0	0.338	0
43.6	5.6	0.355	0

4.1.3 Output Defleksi

Pada bagian ini ditampilkan hasil analisis defleksi yang terjadi pada jembatan ini perubahan suhu sesuai dengan data pengujian aktual dengan suhu awal 38⁰C. Pada bentang *bottom* kanan dan kiri pada jembatan rel kereta api rangka baja di Blang Keude. Pada analisis ini menghasilkan defleksi dengan perubahan suhu semakin meningkat maka defleksi yang terjadi semakin menurun. Hasil defleksi yang didapat untuk *bottom* kanan dan kiri memiliki nilai yang hampir sama. Pada defleksi yang terjadi di tengah bentang dengan suhu terendah memiliki defleksi 3.728 mm dan pada suhu tertinggi memiliki defleksi 3.721 mm. Hasil dari defleksi pada *bottom* kanan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan *bottom* kiri pada Tabel 4.4 dan kondisi jembatan dapat dilihat dari Gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4. 1 Kondisi jembatan

Tabel 4. 3 Hasil Defleksi *Bottom* Kanan

Suhu	ΔT	POSISI DEFLEKSI (mm)						
		Kanan 1	Kanan 2	Kanan 3	MAX	Kanan 4	Kanan 5	Kanan 6
27.6	-10.4	0	2.327	3.135	3.672	3.115	2.371	0
28.1	-9.9	0	2.328	3.136	3.671	3.114	2.366	0
28.7	-9.3	0	2.329	3.137	3.671	3.114	2.36	0
29.7	-8.3	0	2.331	3.139	3.67	3.114	2.351	0
31.0	-7.0	0	2.335	3.142	3.67	3.114	2.339	0
33.8	-4.2	0	2.347	3.15	3.67	3.114	2.312	0
37.0	-1.0	0	2.369	3.161	3.67	3.113	2.282	0
38.9	0.9	0	2.385	3.169	3.669	3.113	2.265	0
39.5	1.5	0	2.391	3.172	3.669	3.113	2.259	0
41.6	3.6	0	2.413	3.182	3.668	3.112	2.238	0
41.8	3.8	0	2.415	3.183	3.668	3.112	2.237	0
41.9	3.9	0	2.416	3.183	3.667	3.112	2.236	0
42.0	4.0	0	2.417	3.184	3.667	3.111	2.226	0
43.0	5.0	0	2.429	3.185	3.667	3.111	2.219	0
43.6	5.6	0	2.429	3.189	3.665	3.109	2.239	0

Tabel 4. 4 Hasil Defleksi *Bottom* Kiri

Suhu	ΔT	POSISI DEFLEKSI (mm)						
		KIRI 1	KIRI 2	KIRI 3	MAX	KIRI 4	KIRI 5	KIRI 6
27.6	-10.4	0	2.507	3.135	3.728	3.149	2.367	0
28.1	-9.9	0	2.507	3.169	3.728	3.149	2.362	0
28.7	-9.3	0	2.507	3.17	3.727	3.148	2.356	0
29.7	-8.3	0	2.509	3.172	3.727	3.148	2.347	0
31.0	-7.0	0	2.511	3.175	3.726	3.148	2.334	0
33.8	-4.2	0	2.522	3.183	3.726	3.148	2.308	0
37.0	-1.0	0	2.54	3.194	3.726	3.148	2.278	0
38.9	0.9	0	2.554	3.202	3.726	3.148	2.261	0
39.5	1.5	0	2.559	3.205	3.726	3.147	2.255	0
41.6	3.6	0	2.578	3.215	3.725	3.147	2.235	0
41.8	3.8	0	2.578	3.215	3.724	3.146	2.235	0
41.9	3.9	0	2.58	3.216	3.724	3.146	2.234	0
42.0	4.0	0	2.581	3.216	3.724	3.145	2.233	0
43.0	5.0	0	2.592	3.218	3.724	3.145	2.214	0
43.6	5.6	0	2.592	3.222	3.721	3.143	2.222	0

4.1.4 Output Perbandingan Tegangan (*Stress*)

Pada bagian ini ditampilkan hasil perbandingan *stress* (tegangan) yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan analisis numerik yang telah dilakukan. Dengan menggunakan variasi perubahan suhu sesuai dengan suhu aktual dan suhu awal 38°C. Hasil perbandingan tegangan dapat dilihat sebagai berikut:

a. Tegangan yang terjadi pada STG 1

Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat beberapa tegangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada STG 1 seperti data aktual. Perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan suhu awal 38°C. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada STG 1 memiliki selisih dengan rata-rata sebesar 106%. Hasil perbandingan tegangan pada STG 1 dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4. 5 *Stress* pada STG 1

Suhu °C	ΔT °C	Aktual MPa	Analisis MPa	Selisih
27.6	-10.4	0.9	-0.079	109%
28.1	-9.9	1	-0.09	109%
28.7	-9.3	0.9	-0.103	111%
29.7	-8.3	0.85	-0.126	115%
31.0	-7.0	0.6	-0.155	126%
33.8	-4.2	-0.35	-0.218	38%
37.0	-1.0	-2.49	-0.29	88%
38.9	0.9	-3.88	-0.333	91%
39.5	1.5	0.95	-0.347	137%
41.6	3.6	-8.21	-0.394	95%
41.8	3.8	-5.22	-0.399	92%
41.9	3.9	0.95	-0.401	142%
42.0	4.0	-9.01	-0.403	96%
43.0	5.0	-10.2	-0.426	96%
43.6	5.6	0.95	-0.472	150%

b. Tegangan yang terjadi pada STG 2

Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat beberapa tegangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada STG 1 seperti data aktual. Perubahan suhu

yang terjadi di lapangan dengan suhu awal 38⁰C. STG 2 terletak di *bottom chord* dengan tumpuan rol. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada STG 2 memiliki selisih rata-rata sebesar 93%. Hasil tegangan pada STG 2 dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4. 6 *Stress* pada STG 2

Suhu °C	ΔT °C	Aktual MPa	Analisis MPa	Selisih
27.6	-10.4	3.52	0.521	85%
28.1	-9.9	3.53	0.49	86%
28.7	-9.3	3.18	0.452	86%
29.7	-8.3	3.09	0.39	87%
31.0	-7.0	2.69	0.309	89%
33.8	-4.2	2.29	0.134	94%
37.0	-1.0	1.59	-0.065	104%
38.9	0.9	-1.49	-0.184	88%
39.5	1.5	-10.5	-0.221	98%
41.6	3.6	-6.77	-0.352	95%
41.8	3.8	15.97	-0.365	102%
41.9	3.9	-8.76	-0.371	96%
42.0	4.0	-11.84	-0.377	97%
43.0	5.0	-16.12	-0.44	97%
43.6	5.6	-8.76	-0.535	94%

c. Tegangan yang terjadi pada STG 3

Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat beberapa tegangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada STG 3 seperti data aktual. Perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan suhu awal 38⁰C. STG 3 terletak di diagonal ujung diatas tumpuan rol. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada STG 3 memiliki selisih rata-rata sebesar 203%. Hasil perbandingan tegangan pada STG 3 dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini:

Tabel 4. 7 *Stress* pada STG 3

Suhu °C	ΔT °C	Aktual MPa	Analisis MPa	Selisih
27.6	-10.4	1.34	-0.918	169%
28.1	-9.9	1.44	-0.916	164%
28.7	-9.3	1.54	-0.912	159%
29.7	-8.3	1.64	-0.907	155%

31.0	-7.0	1.49	-0.9	160%
33.8	-4.2	0.25	-0.884	454%
37.0	-1.0	-1.84	-0.866	53%
38.9	0.9	-0.35	-0.856	145%
39.5	1.5	0.9	-0.852	195%
41.6	3.6	-4.18	-0.841	80%
41.8	3.8	0.45	-0.84	287%
41.9	3.9	-0.15	-0.839	459%
42.0	4.0	-3.33	-0.839	75%
43.0	5.0	-1.44	-0.833	42%
43.6	5.6	-0.15	-0.83	453%

d. Tegangan yang terjadi pada STG 4

Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat beberapa tegangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada STG 4 seperti data aktual. Perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan suhu awal 38⁰C. STG 4 terletak pada *top chord*. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada STG 4 memiliki selisih rata-rata sebesar 92%. Hasil perbandingan tegangan pada STG 4 dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini:

Tabel 4. 8 *Stress* pada STG 4

Suhu °C	ΔT °C	Aktual MPa	Analisis MPa	Selisih
27.6	-10.4	0.2	-0.245	223%
28.1	-9.9	0.1	-0.285	385%
28.7	-9.3	-0.15	-0.333	122%
29.7	-8.3	-0.5	-0.413	17%
31.0	-7.0	-0.9	-0.517	43%
33.8	-4.2	-1.04	-0.742	29%
37.0	-1.0	-1.54	-0.998	35%
38.9	0.9	-4.28	-1.15	73%
39.5	1.5	-8.14	-1.198	85%
41.6	3.6	-5.37	-1.367	75%
41.8	3.8	-9.01	-1.383	85%
41.9	3.9	-1.89	-1.391	26%
42.0	4.0	-7.51	-1.399	81%
43.0	5.0	-8.96	-1.479	83%
43.6	5.6	-1.89	-1.526	19%

e. Tegangan yang terjadi pada STG 5

Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat beberapa tegangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada STG 5 seperti data aktual. Perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan suhu awal 38⁰C. STG 5 terletak pada *top chord*. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada STG 3 memiliki selisih rata-rata sebesar 105%. Hasil perbandingan tegangan pada STG 5 dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini:

Tabel 4. 9 Stress pada STG 5

Suhu °C	ΔT °C	Aktual MPa	Analisis MPa	Selisih
27.6	-10.4	0.05	-0.245	590%
28.1	-9.9	-0.1	-0.285	185%
28.7	-9.3	-0.4	-0.333	17%
29.7	-8.3	-0.75	-0.413	45%
31.0	-7.0	-1.24	-0.517	58%
33.8	-4.2	-1.64	-0.742	55%
37.0	-1.0	-2.29	-0.998	56%
38.9	0.9	-5.13	-1.151	78%
39.5	1.5	-9.16	-1.199	87%
41.6	3.6	-6.57	-1.367	79%
41.8	3.8	-9.9	-1.383	86%
41.9	3.9	-2.24	-1.391	38%
42.0	4.0	-8.86	-1.399	84%
43.0	5.0	-10.05	-1.479	85%
43.6	5.6	-2.24	-1.527	32%

f. Tegangan yang terjadi pada STG 6

Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat beberapa tegangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada STG 6 seperti data aktual. Perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan suhu awal 38⁰C. STG ini terletak pada gelagar melintang diatas tumpuan sendi. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada STG 6 memiliki selisih rata-rata sebesar 75%. Hasil perbandingan tegangan. Hasil tegangan pada STG 6 dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini:

Tabel 4. 10 *Stress* pada STG 6

Suhu °C	ΔT °C	Aktual MPa	Analisis MPa	Selisih
27.6	-10.4	1.29	2.463	91%
28.1	-9.9	1.29	2.3	78%
28.7	-9.3	1.29	2.143	66%
29.7	-8.3	1.39	1.881	35%
31.0	-7.0	1.59	1.541	3%
33.8	-4.2	1.19	0.809	32%
37.0	-1.0	1.44	-0.027	102%
38.9	0.9	-0.15	-0.524	249%
39.5	1.5	-8.56	-0.681	92%
41.6	3.6	-2.94	-1.23	58%
41.8	3.8	-10.05	-1.282	87%
41.9	3.9	-2.19	-1.282	41%
42.0	4.0	-7.61	-1.308	83%
43.0	5.0	-10	-1.335	87%
43.6	5.6	-2.19	-1.751	20%

4.1.5 *Output Perbandingan Perpindahan (Displacement)*

Pada bagian ini ditampilkan hasil perbandingan perpindahan (*displacement*) yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu yang terjadi di lapangan dengan analisis numerik yang telah dilakukan. Dengan menggunakan variasi perubahan suhu sesuai dengan suhu aktual dan suhu awal 38°C. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Pada LVDT 1 memiliki selisih dengan rata-rata 79%. Hasil perbandingan perpindahan dapat dilihat pada Tabel 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Perbandingan perpindahan

SUHU (°C)	ΔT °C	LVDT 1			LVDT 2		
		Aktual (mm)	Analisis (mm)	SELISIH	Aktual (mm)	Analisis (mm)	SELISIH
27.6	-10.4	-0.16	-0.375	134%	-0.41	0	100%
28.1	-9.9	-0.4	-0.352	12%	-0.46	0	100%
28.7	-9.3	-0.6	-0.324	46%	-0.52	0	100%
29.7	-8.3	-1.32	-0.278	79%	-0.46	0	100%
31.0	-7.0	-1.97	-0.218	89%	-0.8	0	100%
33.8	-4.2	-3.31	-0.088	97%	-0.94	0	100%
37.0	-1.0	-3.79	0.06	102%	-1.25	0	100%

38.9	0.9	-3.79	0.148	104%	-0.99	0	100%
39.5	1.5	-3.01	0.176	106%	-0.48	0	100%
41.6	3.6	-4.7	0.273	106%	-1.3	0	100%
41.8	3.8	-4.7	0.282	106%	-0.92	0	100%
41.9	3.9	-1.21	0.287	124%	0.14	0	100%
42.0	4.0	-5.11	0.292	106%	-1.23	0	100%
43.0	5.0	-4.7	0.338	107%	-0.92	0	100%
43.6	5.6	-1.21	0.355	129%	-0.14	0	100%

4.2 Pembahasan

Pembahasan dari penelitian ini berupa nilai dari stress dan deformasi yang dipengaruhi oleh perubahan suhu yang terjadi suhu dengan aktual. Dengan suhu awal 38°C. Pada pembahasan ini hanya membahas bagaimana pengaruh suhu terhadap tegangan, perpindahan dan defleksi pada jembatan rel kereta api rangka baja. Pada pembahasan ini juga membahas perbandingan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada jembatan sesuai dengan data aktual dengan data analisis yang didapat dari STAAD.Pro V8i. Dari hasil yang didapat nilai dari data aktual dengan data analisis terdapat perbedaan yang beragam.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pada data analisis yang dilakukan jembatan diasumsikan baut pada jembatan tidak diteliti *bearing* diasumsikan dalam keadaan *perfect*, dan beban yang diperhitungkan hanya pengaruh perubahan suhu yang bekerja. Sedangkan di lapangan terdapat irregular yang tidak dapat dipastikan hanya suhu saja yang bekerja, tidak memastikan keadaan *bearing* masih dalam keadaan yang *perfect* atau sudah mengalami kekakuan, dan tidak memastikan keadaan baut dan las dalam keadaan sempurna pada saat pengambilan data menggunakan alat sensorik.

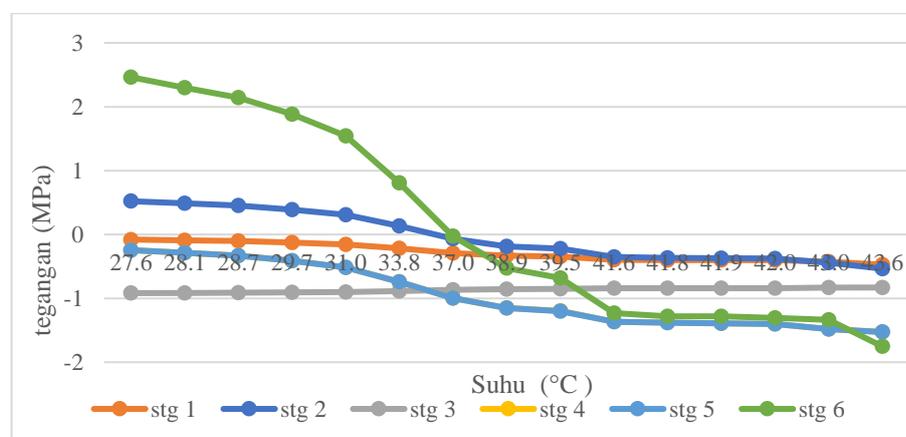
4.2.1 Tegangan (*Stress*) Berdasarkan Analisis

Pada pembahasan ini diperlihatkan hasil analisis tegangan yang terjadi pada jembatan yang dipengaruhi oleh pengaruh perubahan suhu yang terjadi sesuai dengan di lapangan dengan suhu awal 38°C. Suhu semakin tinggi maka mempunyai sifat kekuatan tarik maksimum yang semakin kecil (Haryadi, 2006) dan tegangan

tekan akan semakin meningkat pada saat suhu semakin meningkat. Dapat dilihat tegangan tekan yang terjadi pada setiap STG semakin meningkat pada pengaruh perubahan suhu semakin meningkat.

Pada STG 1 yang terletak di gelagar melintang di atas tumpuan rol dengan tegangan yang terjadi ialah tegangan tekan dengan selisih yang tidak terlalu jauh pada setiap perubahan suhu. Pada STG 2 yang terletak di gelagar melintang di atas tumpuan rol naiknya perubahan suhu menghasilkan tegangan tarik menjadi tegangan tekan dengan yang selisih tidak terlalu jauh pada setiap perubahan suhu. STG 3 yang terletak pada elemen diagonal di atas tumpuan rol, tegangan yang terjadi ialah tegangan tekan dengan kenaikan yang kecil. Selanjutnya, tegangan yang terjadi pada STG 4 dan STG 5 yang terletak pada *top chord*, tegangan yang terjadi pada STG ini merupakan tegangan tekan semakin meningkat dengan naiknya perubahan suhu. Dan pada STG 6 yang terletak pada gelagar melintang di atas tumpuan sendi terjadi tegangan tarik menjadi tekan dengan penurunan yang lebih jelas terlihat dari pada STG lain. Pada pengaruh perubahan suhu ini dapat dilihat tegangan tertinggi dan terendah terjadi pada STG 6.

Berdasarkan analisis, pengaruh perubahan suhu yang terjadi mempengaruhi tegangan yang terjadi pada setiap bentang. Jika suhu meningkat maka tegangan tarik menurun sedangkan tegangan tekan meningkat. Tetapi, pada STG 3 perubahan suhu meningkat namun tegangan tekan semakin kecil. Berdasarkan analisis yang dilakukan pengaruh perubahan suhu tidak begitu signifikan.. Tegangan yang terjadi pada tumpuan sendi rol dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini:

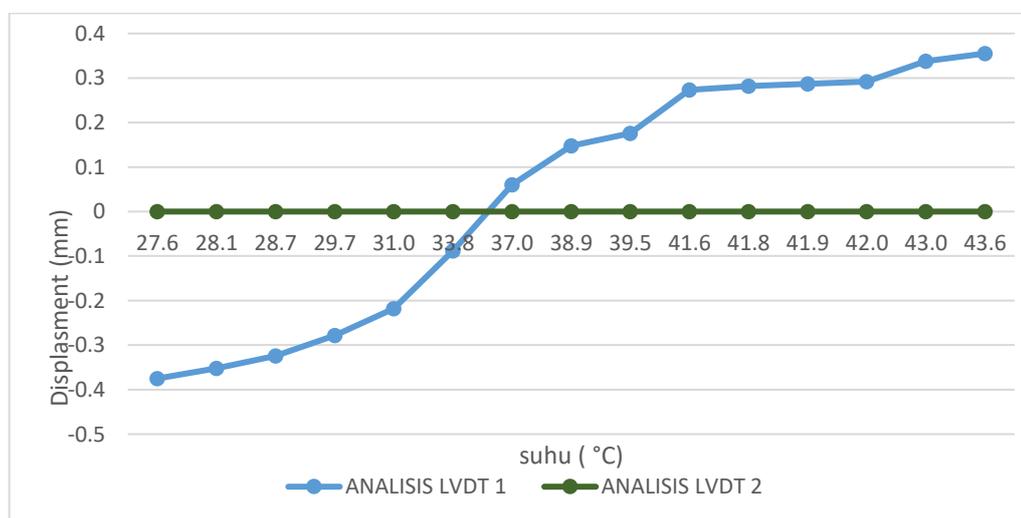


Gambar 4.2 Tegangan (Stress) pada bearing sendi-rol

4.2.2 Perpindahan (*Displacement*)

Berdasarkan hasil analisis perpindahan yang terjadi pada jembatan yang dipengaruhi oleh perubahan suhu dengan suhu awal 38°C sesuai dengan data aktual. Perpindahan yang diperlihatkan terletak pada LVDT 1 pada tumpuan rol dan LVDT 2 pada tumpuan sendi. Hasil analisis yang telah dilakukan terlihat perpindahan pada tumpuan rol sedangkan pada tumpuan sendi tidak terjadi perpindahan.

Pengaruh perubahan suhu semakin meningkat maka perpindahan yang terjadi pada tumpuan rol semakin ke arah luar. Perpindahan yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu ini memiliki perbedaan yang tidak jauh. Pada analisis numerik ini tumpuan diasumsikan dalam keadaan *perfect* dan hanya pengaruh perubahan suhu yang diperhitungkan. Variasi perubahan suhu yang digunakan ialah suhu yang sesuai dengan data aktual. Hasil analisis dapat diasumsikan bahwa perubahan suhu semakin meningkat dan perpindahan semakin menurun atau bisa dikatakan meningkatnya perubahan suhu perpindahan yang terjadi semakin ke arah luar atau dapat dikatakan bahwa bentang semakin memanjang. Hasil analisis yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini:



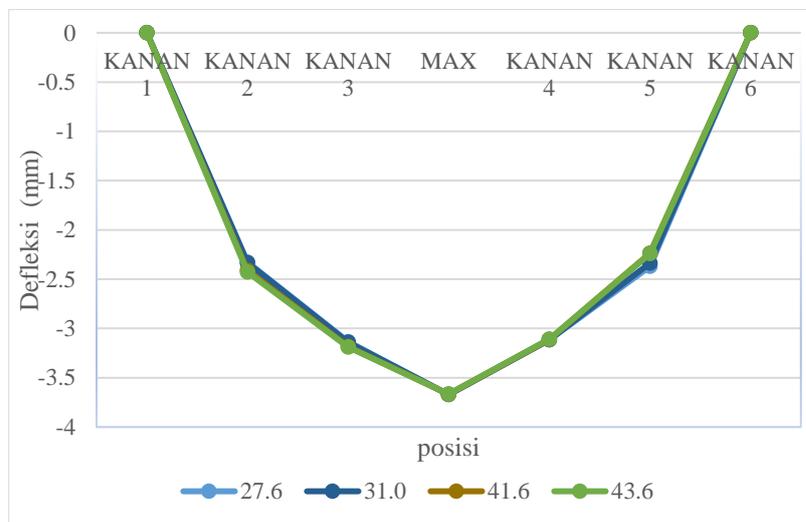
Gambar 4.3 Perpindahan

4.2.3 Defleksi pada *Bearing Sendi-Rol*

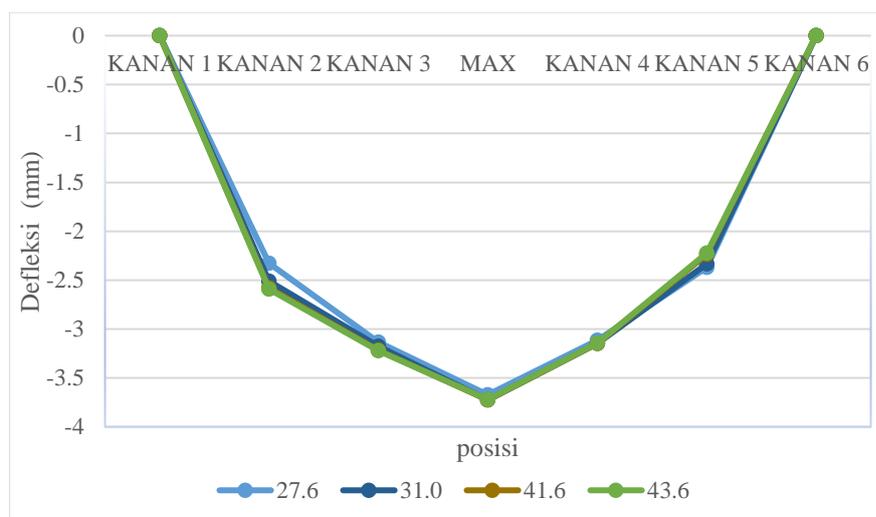
Pada pembahasan ini diperlihatkan hasil analisis defleksi yang terjadi pada jembatan yang dipengaruhi oleh pengaruh perubahan suhu yang terjadi sesuai di

lapangan dengan suhu awal 38°C. Defleksi yang diperlihatkan di *bottom* sebelah kiri dan kanan. Hasil analisis yang telah dilakukan perbedaan pengaruh perubahan suhu tidak terlalu membuat perbedaan defleksi yang terjadi.

Pengaruh perubahan suhu semakin meningkat defleksi yang terjadi semakin kecil. Defleksi maksimum yang terjadi pada suhu terkecil yaitu 27.6°C dengan nilai defleksi 3.728 mm ke arah bawah dan defleksi minimum terjadi pada suhu 43.6°C dengan nilai defleksi 3.721 mm ke arah bawah. Defleksi yang terjadi dapat dilihat dari Gambar 4.4 defleksi kanan dan Gambar 4.5 defleksi kiri di bawah ini:



Gambar 4.4 Defleksi *bottom* Kanan

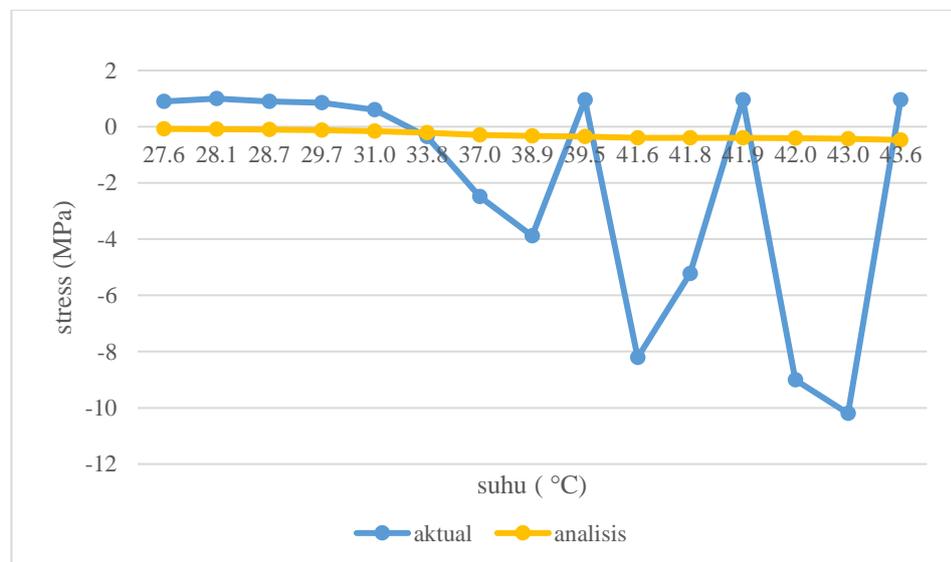


Gambar 4.5 Defleksi *bottom* kiri

4.2.4 Perbandingan Tegangan (*Stress*)

a. Tegangan pada STG 1

Pada STG 1 terdapat perbandingan antara data aktual dengan data analisis yang signifikan di beberapa titik. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Hasil tegangan tekan terbesar yang terjadi pada perubahan suhu tertinggi. Perubahan suhu semakin meningkat tegangan tekan yang terjadi semakin naik. Pada STG 1 tidak ada terjadi tegangan tarik pada perubahan suhu yang terjadi. Tetapi pada data aktual terdapat tegangan tekan dan tarik. Perbandingan data aktual dengan data analisis dapat dilihat dari Gambar 4.6 di bawah ini:

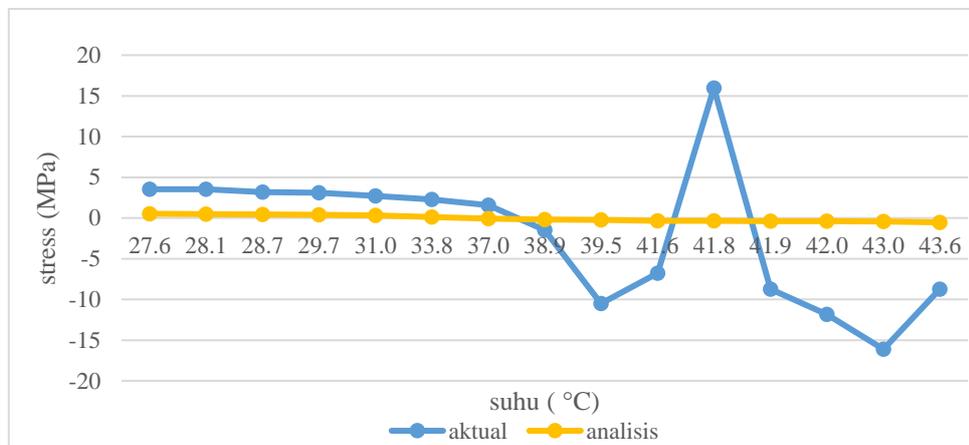


Gambar 4.6 Perbandingan tegangan pada STG 1

b. Tegangan pada STG 2

Pada STG 2 terdapat perbandingan antara data aktual dengan data analisis yang signifikan di beberapa titik. Hasil analisis dengan aktual memiliki selisih yang beragam. Hasil tegangan tekan terbesar yang terjadi pada perubahan suhu tertinggi dan tegangan tarik terbesar terjadi pada suhu terkecil. Perubahan suhu semakin meningkat nilai tegangan mengalami peningkatan. Pada data aktual dan analisis terdapat tegangan tarik dan tekan pada perubahan suhu yang sama tetapi besar tegangan berbeda. Hanya disuhu

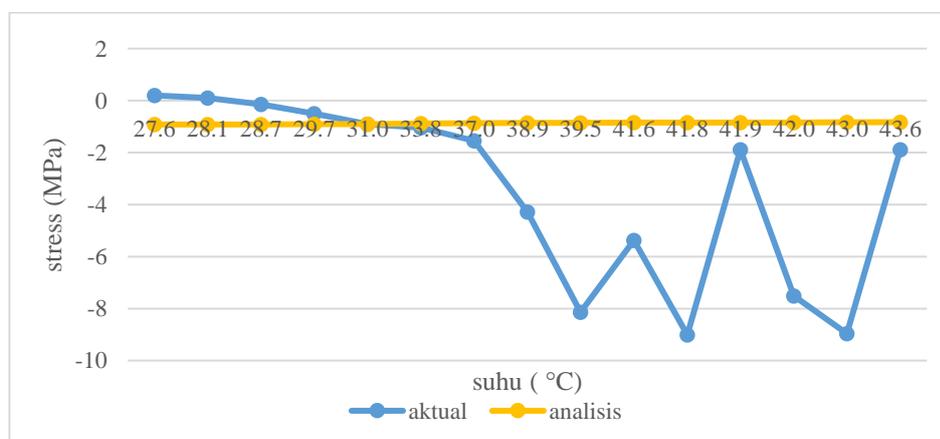
41.8⁰C yang terjadi perbedaan tegangan. Perbandingan data aktual dengan data analisis dapat dilihat dari Gambar 4.7 di bawah ini:



Gambar 4.7 Perbandingan Tegangan pada STG 2

c. Tegangan pada STG 3

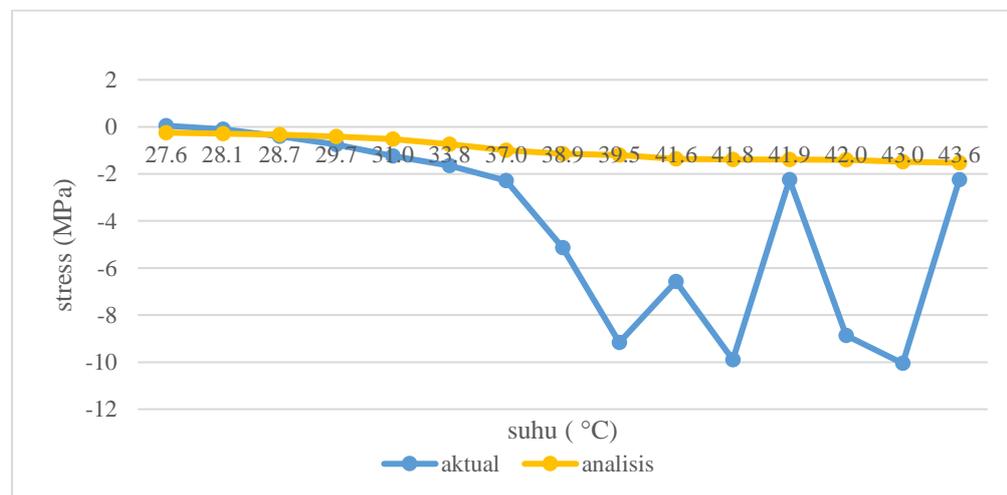
Pada STG 3 terdapat perbandingan antara data aktual dengan data analisis yang signifikan di beberapa titik. Hanya di beberapa pengaruh perubahan suhu perbandingan yang tidak begitu jauh perbedaannya. Pada STG 3 data aktual menunjukkan tegangan yang terjadi ada tegangan tarik dan tekan dengan tegangan yang terjadi naik turun. Sedangkan pada data analisis menghasilkan tegangan tekan dimana perubahan suhu semakin menaik maka tegangan tekan yang terjadi semakin menurun nilainya dengan penurunan yang tidak signifikan. Perbandingan data aktual dengan data analisis dapat dilihat dari Gambar 4.8 di bawah ini:



Gambar 4.8 Perbandingan Tegangan pada STG 3

d. Tegangan pada STG 4

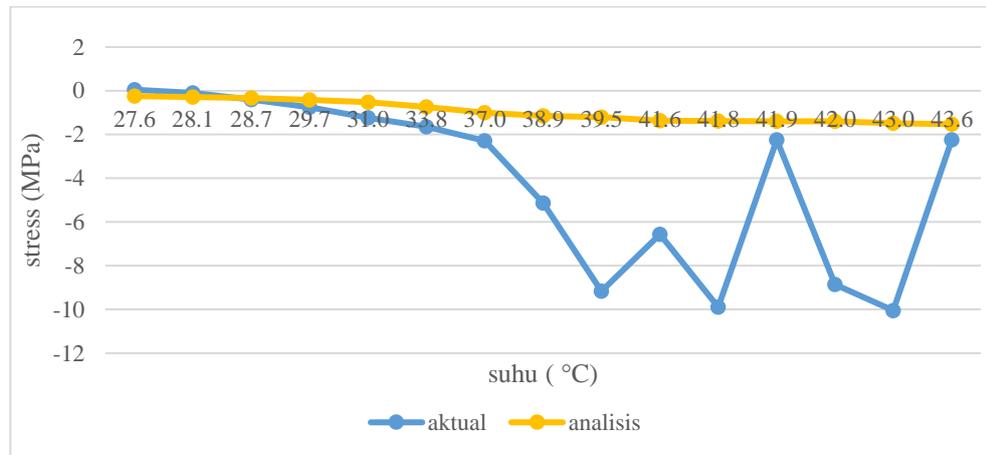
Pada STG 4 terdapat perbandingan antara data aktual dengan data analisis yang signifikan di beberapa titik. Hanya di beberapa pengaruh perubahan suhu perbandingan yang tidak begitu jauh perbedaannya. Pada STG 4 data aktual menunjukkan tegangan yang terjadi ada tegangan tarik dan tekan. Pada data aktual hanya dua perubahan suhu yang terjadi tegangan tarik. Sedangkan pada data analisis menghasilkan tegangan tekan dimana perubahan suhu semakin menaik maka tegangan yang terjadi semakin naik nilainya dengan kenaikan yang tidak signifikan. Perbandingan data aktual dengan data analisis dapat dilihat dari Gambar 4.9 di bawah ini:



Gambar 4.9 Perbandingan tegangan pada STG 4

e. Tegangan pada STG 5

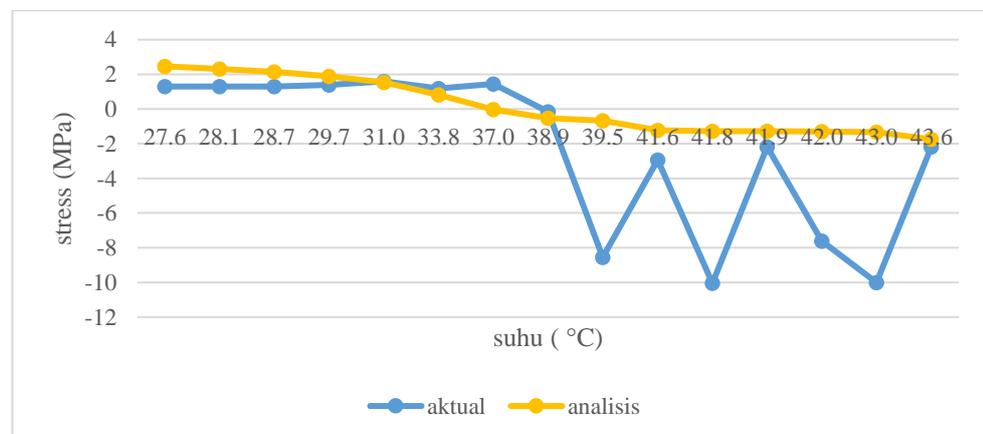
Pada STG 5 terdapat perbandingan antara data aktual dengan data analisis yang signifikan di beberapa titik. Hanya di beberapa pengaruh perubahan suhu perbandingan yang tidak begitu jauh perbedaannya. Pada STG 5 data aktual menunjukkan tegangan yang terjadi ada tegangan tarik dan tekan. Pada data aktual hanya satu perubahan suhu yang terjadi tegangan tarik. Sedangkan pada data analisis menghasilkan tegangan tekan dimana perubahan suhu semakin menaik maka tegangan yang terjadi semakin naik nilainya dengan kenaikan yang tidak signifikan. Perbandingan data aktual dengan data analisis dapat dilihat dari Gambar 4.10 di bawah ini:



Gambar 4.10 Perbandingan tegangan pada STG 5

f. Tegangan pada STG 6

Pada STG 6 terdapat perbandingan antara data aktual dengan data analisis yang signifikan di beberapa titik. Hanya di beberapa pengaruh perubahan suhu perbandingan yang tidak begitu jauh perbedaannya. Pada STG 6 data aktual dan data analisis menunjukkan tegangan yang terjadi ada tegangan tarik dan tekan. Tetapi nilai yang dihasilkan terdapat perbedaan. Pada data aktual tegangan tarik yang terjadi mengalami naik turun sedangkan pada data analisis tegangan tarik yang terjadi turun dengan nilai penurunan tidak signifikan dan pada data aktual tegangan tekan mengalami naik turun sedangkan pada analisis tegangan tekan mengalami kenaikan yang tidak begitu signifikan. Perbandingan data aktual dengan data analisis dapat dilihat dari Gambar 4.11 di bawah ini:

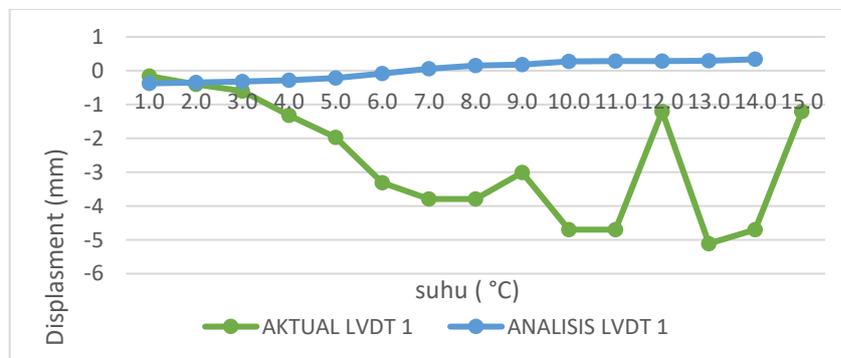


Gambar 4.11 Perbandingan tegangan pada STG 6

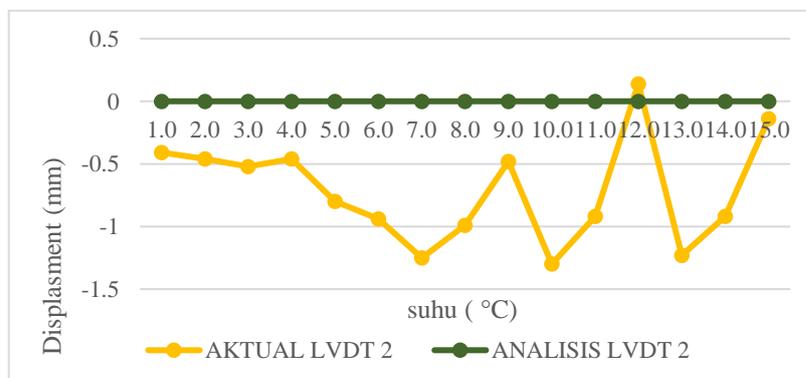
4.2.5 Perbandingan Deformasi Perpindahan (*Displacement*)

Pada pembahasan ini membahas tentang perbandingan perpindahan yang terjadi pada LVDT 1 dan LVDT 2 yang diakibatkan oleh pengaruh perubahan suhu yang terjadi di lapangan. Dimana letak LVDT 1 di tumpuan rol dan LVDT 2 terletak pada tumpuan sendi. Pada LVDT 1 terdapat perbedaan perpindahan yang signifikan. Pada data hasil aktual didapat nilai semua perpindahan bernilai negatif. Sedangkan hasil dari analisis bernilai positif dan negatif. Dimana nilai perpindahan akan menurun dengan naiknya perubahan suhu. Pada LVDT 2 terdapat perbedaan yang signifikan dimana data aktual yang terjadi mengalami perpindahan. Sedangkan, pada data analisis tidak terjadi perpindahan.

Perbedaan yang terjadi pada perpindahan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor atau iregularitas. Sedangkan pada STAAD Pro.V8i jembatan diasumsikan hanya dibebani oleh pengaruh perubahan suhu, keadaan tumpuan diasumsikan dalam keadaan *perfect*, dan sambungan baut tidak diperhitungkan. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 di bawah ini:



Gambar 4.12 Perbandingan perpindahan LVDT 1



Gambar 4.13 Perbandingan perpindahan LVDT 2

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan variasi perubahan suhu yang terjadi sesuai dengan di lapangan. Pada analisis ini dapat dilihat semakin naik perubahan suhu yang terjadi maka tegangan tarik akan semakin menurun dan pada tegangan tekan semakin naik. Hanya di STG 3 yang hasil perubahan suhu meningkat maka tegangan tekan yang terjadi juga semakin kecil. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pengaruh perubahan suhu tidak signifikan terhadap tegangan yang terjadi pada batang yang ada di jembatan dan pengaruh suhu yang terlihat sedikit signifikan terjadi pada batang STG 6 yang terletak pada tumpuan sendi. Perpindahan yang terjadi pada analisis adalah ketika suhu naik maka perpindahan yang terjadi ke arah luar jembatan atau dapat dikatakan jembatan tersebut mengalami perpanjangan. Defleksi yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu pada analisis ini menunjukkan bahwa perubahan suhu semakin tinggi suhu yang terjadi maka semakin kecil defleksi yang terjadi.
2. Perbandingan Tegangan dan Perpindahan yang terjadi terhadap hasil uji aktual dan hasil analisis pada jembatan Blang Keude memiliki selisih yang signifikan dikarenakan kemungkinan banyak faktor irregularitas yang terjadi. Selisih rata-rata pada STG 1 sebesar 105%, STG 2 sebesar 93%, STG 3 sebesar 203%, STG 4 sebesar 105%, STG 5 sebesar 92% dan STG 6 sebesar 75%. Pada STG 1 dan STG 6 terjadi tegangan tarik dan tegangan tekan dengan nilai penurunan yang seragam sedangkan pada data aktual terdapat tegangan tekan dan tarik dengan kenaikan dan penurunan yang tidak seragam. Pada STG 2 terjadi tegangan tekan dan tarik, tegangan tarik dan tekan secara aktual dan analisis terjadi pada perubahan suhu yang sama tetapi besar tegangan berbeda. Pada STG 3 terjadi

tegangan pada data aktual terdapat tegangan tarik dan tekan tetapi pada data analisis hanya terjadi tegangan tekan. Pada STG 4 dan 5 terjadi tegangan tarik dan tekan pada data aktual dan hanya terjadi tegangan tekan pada data analisis. Perpindahan terpanjang terjadi pada suhu tertinggi dengan nilai perpindahan sebesar 0.355 mm pada analisis sedangkan pada pengujian di lapangan pada suhu tertinggi perpindahan yang terjadi sebesar -1.21 mm. Pada LVDT 2 perpindahan yang terjadi pada analisis 0 sedangkan pada data aktual perpindahan maksimum terjadi pada suhu 38°C sebesar -1.25 mm. Rata-rata selisih perpindahan untuk LVDT 1 sebesar 96% dan LVDT 2 sebesar 100%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengumpulan data di lapangan harus komprehensif dan akurat terkait dengan perilaku struktur jembatan. Data ini harus mencakup informasi tentang pembebanan aktual, respons struktural, dan kondisi lingkungan sekitar.
2. Pada penelitian ini adalah perlu dilakukan analisis menggunakan metode *Finite Element Model Updating* yang dihubungkan dengan data pengujian di lapangan untuk melakukan proses validasi agar menjadi model FE baru yang sudah tervalidasi dengan aktual struktur jembatan di lapangan dan dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan, perhitungan kapasitas struktur, optimasi desain, SHMS (*Structural Health Monitoring System*), dan analisis lanjutan lainnya dengan akurasi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andekenro, A. (2019). *Perencanaan Struktur Jembatan Komposit Cihaurbeuti*. 4.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. *Badan Standarisasi Nasional*, 1–67.
- Gede, D. (2016). Analisis Defleksi Vertikal Jembatan Suramadu Menggunakan Gps Cors (Continuosly Operating Reference Station) Analysis of Vertical Deflection Suramadu Bridge Using Gps Cors (Continuosly Operating Reference Station).
- Gere, J. M. (n.d.). *MEKANIKA*.
- Gesa, K. (2021). Evaluasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Rangka Baja Double Track Bentang 50 Meter. Skripsi, 5–34. https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/MT_Globalization_Report_2018.pdfhttp://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India_globalisation%2Csocietyandinequalities%28sero%29.pdf<https://www.quora.com/What-is-the>
- Haryadi, G. D. (2006). Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K460. *Rotasi*, 8(2), 1–8. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/2386>
- Imansyah, M. D. (2016). Analisis Keamanan Jembatan Rangka Baja Soekarno – Hatta Malang Ditinjau Dari Aspek Kesehatan, Tegangan Pelat Buhul, Dan Simulasi Kebakaran. 1–7. <https://www.academia.edu/8396599/>
- Jaya, T. (2018). Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api Dengan Sistem Busur Atas dan Bawah. *Skripsi*.
- Kartanegara, K. K. (2014). Disusun Oleh : Anis Massaroh Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Samarinda.
- Los, U. M. D. E. C. D. E. (n.d.). Peningkatan Kekuatan Tarik Baja Karbon Aisi 1040 Akibat Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Perlakuan Panas. 71–78.
- Menteri Perhubungan. (2012). Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. *PM. No. 60 Tahun 2012*, 1–57.

- Nuranita, B. (2019). Analisis Kinerja Jembatan Kereta Api Tertutup Berdasarkan Draft Teknis Jalur Kereta Api untuk Kereta Berat (Heavy Train) 1435 mm. *Tesis*.
- Nuranita, B., Desmaliana, E., & Gesa, K. (2021). Evaluasi Perencanaan Jembatan Kereta Api Rangka Baja Double Track Tipe Welded Through Truss Bentang 50 meter. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 6(3), 132. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v6i3.132>
- Rasidi, N., Ningrum, D., & W, L. G. S. (n.d.). (Studi Kasus : Jembaran Rangka Baja Soekarnohatta Malang). 1–10.
- Rsni, D. (2006). *Perencanaan struktur baja untuk jembatan*. 9.
- Samyak, S., Manoj, T. P., & Santhi, A. S. (2017). A parametric study of integral bridges subjected to thermal loading. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 431–440.
- SNI 1725:2016. (2016). Pembebanan untuk Jembatan. *Badan Standarisasi Nasional*, 1–63.
- soebandono, B., Nugroho, B. N. W., Anam, A. N., Ismayana, R. P., & Maulana, T. I. (2019). Perkuatan Struktur Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren bentang 42 Meter. *Semesta Teknika*, 22(2), 123–130. <https://doi.org/10.18196/st.222244>
- Struyk, H.J. Veen, K. H. C. W. V. D. S. (1984). *Jembatan*. 385. uri: <https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=20190669>

LAMPIRAN A
LEMBAR PERHITUNGAN

A.1 Perhitungan Beban Mati Profil Baja

Beban yang diperhitungkan dari berat seluruh rangka jembatan itu sendiri, pada Jembatan Kereta Api Blang Keude menggunakan material baja, Adapun berat baja profil baja ditampilkan pada Tabel A.1 dibawah ini,

Tabel A.1 berat sendiri jembatan

Profil Baja (mm)	Panjang (m)	Berat (kN)
H300X350X12X18	78.200	160.213
H520X300X12X18	62.560	147.695
H300X400X16X22	38.140	96.163
H300X350X12X18	152.570	184.016
H1000X300X16X22	28.800	63.379
T200X100X10	145.940	32.374
T200X130X10	91.760	22.458
H840X320X16X22	78.200	160.405
L80X80X8	1111.870	10.406
L90X90X9	8.000	4.957
Total		882.066

A.2 Beban Mati Tambahan (Super Dead Load)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban mati tambahan jembatan Blang Keude

1. Bantalan

Panjang (p) = 1.6 m

Lebar bantalan (l) = 0.22 m

Tinggi bantalan (t) = 0.20 m

γ kayu = 8 kN/bantalan

panjang jembatan = 39.1 m

jarak bantalan = 0.6 m

$$\text{jumlah bantalan} = \frac{\text{panjang jembatan}}{\text{jarak bantalan}} = \frac{39.1}{0.6} = 65 \text{ bantalan}$$

W = p.l.t. γ kayu = 0.563 kN/bantalan

$$Q = \frac{\left(\frac{w}{2}\right)n}{1} = \frac{\left(\frac{0.563}{2}\right)65}{39.1} = 0.468 \text{ kN/m}$$

2. Rail kereta

Jenis Rel R54 = 54.430 kg/m = 0.544 kN/m (PM. No. 60 Tahun 2012)

3. Berat Total bantalan dan rail

Q Total = Q bantalan + Q rail

$$= 0.468 + 0.544$$

$$= 1.012 \text{ kN/m}$$

LAMPIRAN B
TABEL

B.1 Tabel Reaksi Tumpuan Rol 1

No	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Moment		
		F _x kN	F _y kN	F _z kN	M _x kNm	M _y kNm	M _z kNm
1	TL 27.6	0	24.029	0	0	0	0
2	TL28.1	0	24.029	0	0	0	0
3	TL 28.7	0	24.029	0	0	0	0
4	TL 29.7	0	24.029	0	0	0	0
5	TL 31	0	24.029	0	0	0	0
6	TL 33.8	0	24.029	0	0	0	0
7	TL 37	0	24.029	0	0	0	0
8	TL 38.9	0	24.029	0	0	0	0
9	TL 39.5	0	24.029	0	0	0	0
10	TL 41.6	0	24.029	0	0	0	0
11	TL 41.8	0	24.029	0	0	0	0
12	TL 41.9	0	24.029	0	0	0	0
13	TL 42	0	24.029	0	0	0	0
14	TL 43	0	24.029	0	0	0	0
15	TL 43.6	0	24.029	0	0	0	0

B.2 Tabel Reaksi Tumpuan Rol 2

No	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Moment		
		F _x kN	F _y kN	F _z kN	M _x kNm	M _y kNm	M _z kNm
1	TL 27.6	0	24.031	0	0	0	0
2	TL28.1	0	24.031	0	0	0	0
3	TL 28.7	0	24.031	0	0	0	0
4	TL 29.7	0	24.031	0	0	0	0
5	TL 31	0	24.031	0	0	0	0
6	TL 33.8	0	24.031	0	0	0	0
7	TL 37	0	24.031	0	0	0	0
8	TL 38.9	0	24.031	0	0	0	0
9	TL 39.5	0	24.031	0	0	0	0
10	TL 41.6	0	24.031	0	0	0	0
11	TL 41.8	0	24.031	0	0	0	0
12	TL 41.9	0	24.031	0	0	0	0
13	TL 42	0	24.031	0	0	0	0

14	TL 43	0	24.031	0	0	0	0
15	TL 43.6	0	24.031	0	0	0	0

B.3 Tabel Reaksi Tumpuan Sendi 1

No	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Moment		
		Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
1	TL 27.6	0	24.031	73.306	0	0	0
2	TL28.1	0	24.031	69.815	0	0	0
3	TL 28.7	0	24.031	65.625	0	0	0
4	TL 29.7	0	24.031	58.643	0	0	0
5	TL 31	0	24.031	49.565	0	0	0
6	TL 33.8	0	24.031	30.014	0	0	0
7	TL 37	0	24.031	7.67	0	0	0
8	TL 38.9	0	24.031	5.597	0	0	0
9	TL 39.5	0	24.031	9.787	0	0	0
10	TL 41.6	0	24.031	24.45	0	0	0
11	TL 41.8	0	24.031	25.846	0	0	0
12	TL 41.9	0	24.031	26.545	0	0	0
13	TL 42	0	24.031	27.243	0	0	0
14	TL 43	0	24.031	34.225	0	0	0
15	TL 43.6	0	24.031	37.413	0	0	0

B.4 Tabel Reaksi Tumpuan Sendi 2

No	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Moment		
		Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
1	TL 27.6	0	24.029	73.306	0	0	0
2	TL28.1	0	24.029	69.815	0	0	0
3	TL 28.7	0	24.029	65.625	0	0	0
4	TL 29.7	0	24.029	58.643	0	0	0
5	TL 31	0	24.029	49.565	0	0	0
6	TL 33.8	0	24.029	30.014	0	0	0
7	TL 37	0	24.029	7.67	0	0	0
8	TL 38.9	0	24.029	5.597	0	0	0
9	TL 39.5	0	24.029	9.787	0	0	0
10	TL 41.6	0	24.029	24.45	0	0	0
11	TL 41.8	0	24.029	25.846	0	0	0
12	TL 41.9	0	24.029	26.545	0	0	0
13	TL 42	0	24.029	27.243	0	0	0

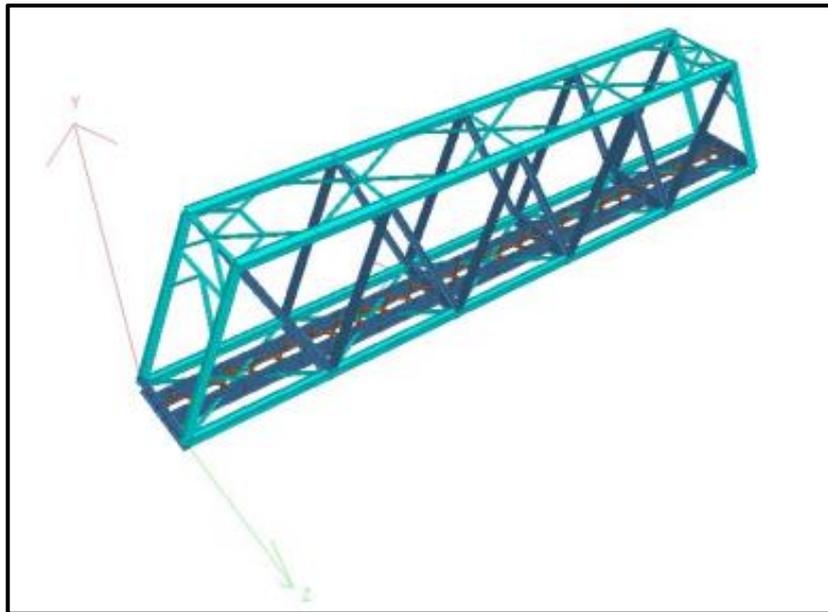
14	TL 43	0	24.029	34.225	0	0	0
15	TL 43.6	0	24.029	37.413	0	0	0

B.5 Tabel Simulasi Tumpuan Jembatan Sendi-Sendi

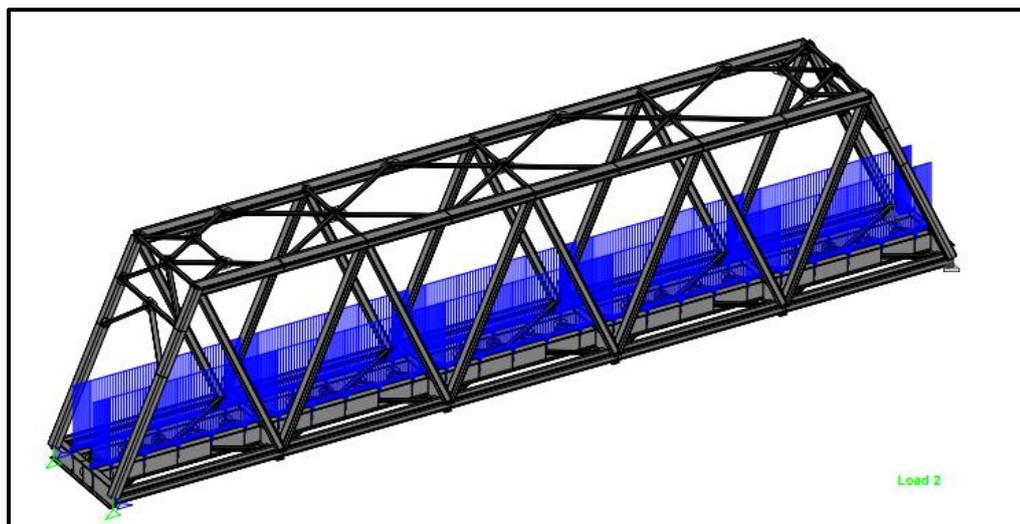
No	Suhu	ΔT	STG 1	STG 2	STG 3	STG 4	STG 5	STG 6
	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	27.6	-10.4	2.373	2.478	-0.9	-0.268	-0.268	2.374
2	28.1	-9.9	2.246	2.325	-0.898	-0.307	-0.307	2.247
3	28.7	-9.3	2.093	2.144	-0.896	-0.353	-0.353	2.094
4	29.7	-8.3	1.839	1.84	-0.892	-0.43	-0.431	1.839
5	31.0	-7.0	1.508	1.444	-0.888	-0.531	-0.532	-1.509
6	33.8	-4.2	0.795	0.593	-0.878	-0.748	-0.748	-0.796
7	37.0	-1.0	-0.019	-0.379	-0.867	-0.996	-0.996	-0.018
8	38.9	0.9	-0.503	-0.957	-0.86	-1.143	-1.143	-0.502
9	39.5	1.5	-0.655	-1.139	-0.858	-1.189	-1.19	-0.655
10	41.6	3.6	-1.19	-1.778	-0.851	-1.352	-1.352	-1.189
11	41.8	3.8	-1.241	-1.839	-0.85	-1.367	-1.368	-1.24
12	41.9	3.9	-1.266	-1.869	-0.85	-1.375	-1.376	-1.266
13	42.0	4.0	-1.292	-1.899	-0.849	-1.383	-1.383	-1.291
14	43.0	5.0	-1.546	2.203	-0.846	-1.46	-1.461	-1.546
15	43.6	5.6	-1.699	-2.386	-0.844	-1.507	-1.507	-1.698

LAMPIRAN C
GAMBAR

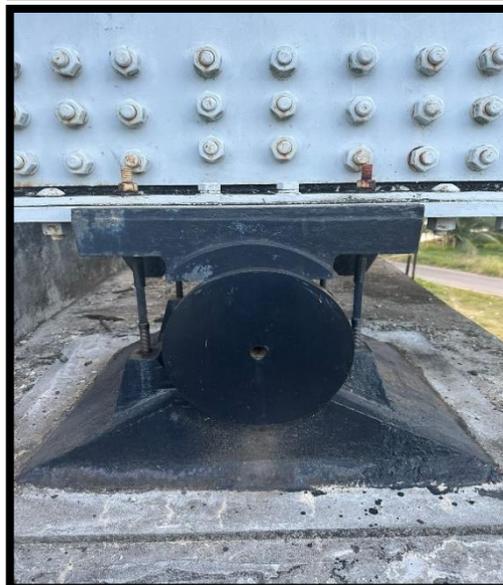
C.1 Gambar 3D jembatan Blang Keude



C.2 Gambar proyeksi beban mati tambahan jembatan Blang Keude



C.3 Gambar survey lapangan jembatan Blang Keude



LAMPIRAN D
ADMINISTRASI PENULIS

1. Personal

Nama : Tisatun Hasanah
NIM : 190110040
Bidang : Struktur
No. HP/Telepon : 0853 5872 7608
Email : tisatun.190110040@mhs.unimal.ac.id
Alamat : Dusun Pulung Rejo, Desa Mandalasena, Kabupaten
Labuhanbatu Selatan, Provinsi Sumatera Utara.

2. Orang Tua

Nama Ayah : Pujo. S
Pekerjaan : Petani
Umur : 65 Tahun
Alamat : Dusun Pulung Rejo, Desa Mandalasena, Kabupaten
Labuhanbatu Selatan, Provinsi Sumatera Utara.
Nama Ibu : Masiah
Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga
Umur : 63 Tahun
Alamat : Dusun Pulung Rejo, Desa Mandalasena, Kabupaten
Labuhanbatu Selatan, Provinsi Sumatera Utara.

3. Pendidikan Formal

Asal SLTA (tahun) : SMAN 1 Kotapinang (2016-2019)
Asal SLTP (tahun) : SMPN 1 Silangkitang (2013-2016)
Asal SD (tahun) : SDN 118274 Sialang Pamoran 1 (2007-2013)

4. Pendidikan NonFormal

Kursus/Pelatihan :

Institut Pelaksana :

5. Software yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Office

Tingkat Penguasaan : *)~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : AutoCad

Tingkat Penguasaan : *)~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : STAAD Pro

Tingkat Penguasaan : *)~~Basic/Intermediate/Advance~~