

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. PROSEDUR ANALISA UMUM

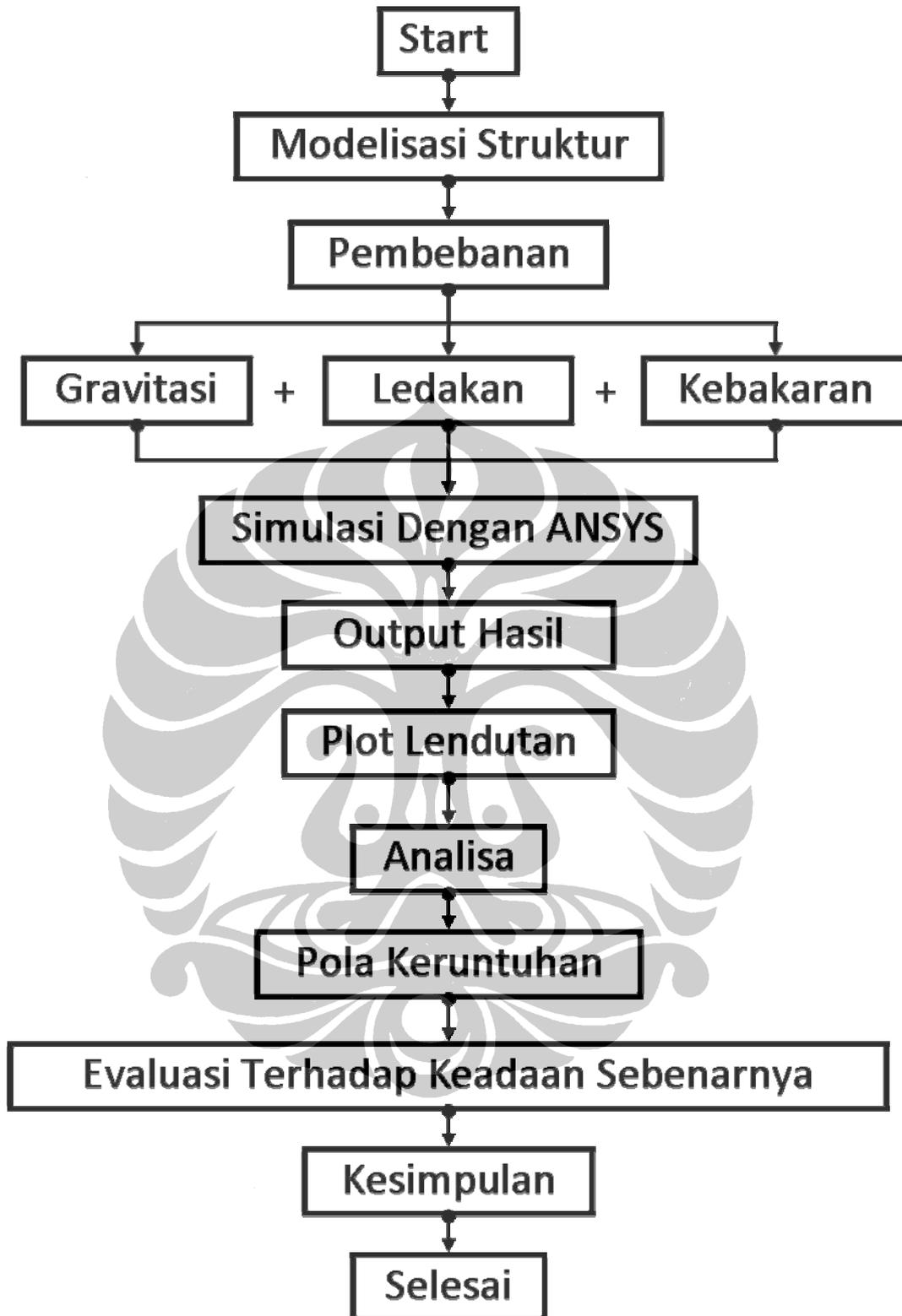
Tulisan ini merupakan sebuah penelitian yang menggunakan bantuan program ANSYS v8.0 sebagai program simulasi. Proses simulasi itu sendiri dilakukan sesuai dengan urutan pada Gambar 3.1. Adapun tahapan yang harus dilakukan pada saat menjalankan penulisan ini adalah:

1. Studi literatur. Penulis mencari dan mempelajari berbagai macam data mengenai hal-hal yang berhubungan dengan ledakan dan kebakaran, yaitu hal-hal yang menyebabkan dan diakibatkannya. Hal ini sudah dilakukan pada bab sebelumnya, tepatnya pada Bab 2, dari Subbab 2.1 hingga Subbab 2.5.
2. Studi data historis. Penulis akan mencari berita selengkapnya mengenai proses dan kejadian keruntuhan Jembatan Krasak sampai sedetail mungkin. Hal ini akan dilakukan baik melalui pencarian data di media massa, mempelajari hasil penelitian sebelumnya mengenai keruntuhan Jembatan Krasak ataupun mewawancarai saksi mata peristiwa tersebut. Pencarian data di media massa sudah dilakukan pada bab sebelumnya, yaitu Bab 1, Subbab 1.1. Begitu pula dengan pembelajaran dari hasil penelitian sebelumnya yang sudah dibahas pada Bab 2 Subbab 2.7. Sedangkan Untuk hasil wawancara dengan saksi mata peristiwa keruntuhan Jembatan Krasak akan dibahas pada Bab 3, Subbab 3.2.
3. Melakukan pencarian data-data yang berhubungan dengan bentuk model dan dimensi detail dari:
 - a. Jembatan Krasak yang runtuh

b. Truk tangki bermuatan 16000 liter premix.

Dimana data-data tersebut akan dimanfaatkan dalam melakukan modelisasi struktur dan keadaan Jembatan Krasak pada kondisi yang semirip mungkin dengan aslinya. Data literatur dari Jembatan Krasak sudah dibahas pada Bab 2, Subbab 2.6. Sedangkan untuk data detail dimensi Jembatan Krasak hasil pengukuran secara langsung pada lokasi akan dibahas pada Bab 3, Subbab 3.3. Untuk data dimensi truk tangki bermuatan 16000 liter premix akan dibahas pada Bab 3, Subbab 3.4.

4. Mencari dan menghitung data pembebanan yang mengakibatkan keruntuhan Jembatan Krasak. Pencarian dan perhitungan dilakukan terhadap beban lalu lintas, beban impuls ledakan jika memang terjadi ledakan, serta beban termal yang dinyatakan dengan grafik kenaikan suhu pada tiap elemen profil rangka baja yang mengalami kenaikan suhu. Data pembebanan ini akan dibahas pada Bab 3, Subbab 3.5.
5. Melakukan analisa struktur terhadap hal-hal yang terjadi pada Jembatan Krasak, yaitu dengan memasukkan beban lalu lintas yang ada pada saat itu, beban impuls yang ditimbulkan jika terjadi ledakan, serta beban termal dan pengaruhnya terhadap struktur jembatan. Analisa struktur ini dilakukan dengan program ANSYS v8.0.
6. Memperoleh *output* program ANSYS v8.0 berupa hubungan tegangan-regangan yang terjadi dan pola deformasi rangka baja struktural dari Jembatan Krasak tersebut. Hasil simulasi ini akan ditampilkan pada Bab 4.
7. Kesimpulan. Penulis membahas dan menyimpulkan hasil poin 1 sampai 6 di atas. Hal ini akan disajikan pada Bab 5.



Gambar 3.1. Alur Pengerjaan Simulasi

3.2. WAWANCARA DENGAN SAKSI MATA PERISTIWA KEBAKARAN JEMBATAN KRASAK

Dalam perjalanan penulis mencari data gambar Jembatan Krasak di Yogyakarta, penulis menemukan bahwa Bapak Supandi (foto dapat dilihat pada Lampiran E), penjaga arsip data PU Binamarga Provinsi D.I. Yogyakarta, ternyata bertempat tinggal sangat dekat dengan Jembatan Krasak. Beliau juga merupakan saksi mata langsung peristiwa kebakaran tersebut. Dalam wawancara tersebut, beliau mengatakan bahwa:

“Seingat saya, kebakaran yang terjadi pada Jembatan Krasak disebabkan karena truk tangki premix berkapasitas 16000 liter terbakar persis di tengah jembatan. Sebenarnya truk tangki tersebut sudah terbakar sebelum sampai di jembatan, kira-kira 100 meter sebelum memasuki jembatan. Akan tetapi karena warga di sekitar mulut jembatan tidak mengizinkan truk tersebut untuk berhenti di depan rumah mereka, takut nantinya rumah mereka ikut tersulut api, maka supir truk tersebut meneruskan laju kendaraannya hingga memasuki Jembatan Krasak. Namun karena api semakin besar dan supir tersebut takut akan terjadi apa-apa dengan dirinya, akhirnya dia pun menghentikan kendaraannya di tengah Jembatan Krasak serta melarikan diri. Kebakaran hebat pun tidak terhindarkan. Unit pemadam kebakaran tidak bisa mengambil resiko untuk memadamkan api dari jarak dekat mengingat kebakaran yang terjadi di tengah jembatan, dengan tujuan menghindari bertambahnya beban pada jembatan yang akan mempercepat proses keruntuhan. Akhirnya api baru padam setelah 8 jam, dengan 2 jam pertama kebakaran yang sangat hebat. Setelah padam, pemeriksaan dilakukan kepada tangki dan ditemukan masih tersisa sejumlah premix. Proses pengosongan tangki tersebut membutuhkan 20 drum berkapasitas sekitar 200 liter, sehingga diperkirakan masih tersisa sekitar 4000 liter di dalam tangki tersebut.”

Wawancara ini dirasa sangat berguna oleh penulis dikarenakan peristiwa kebakaran tersebut sangat berbeda antara yang dilaporkan oleh media massa dan yang dituturkan oleh Bapak Supandi. Hal ini akan mempengaruhi proses simulasi yang dilakukan pada tulisan ini.

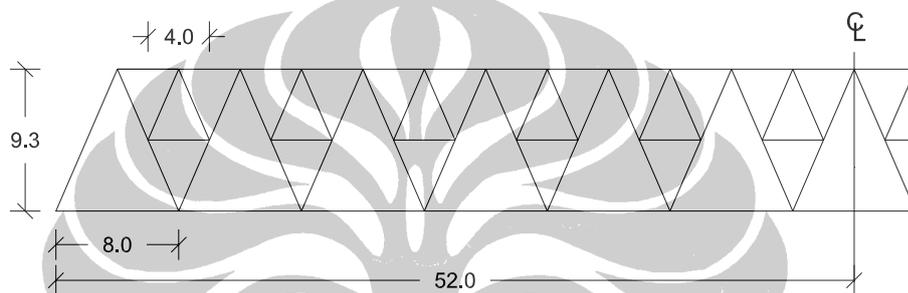
3.3. HASIL PENGUKURAN DIMENSI JEMBATAN KRASAK

3.3.1. Profil Baja Pada Struktur Jembatan Krasak

3.3.1.1. Umum

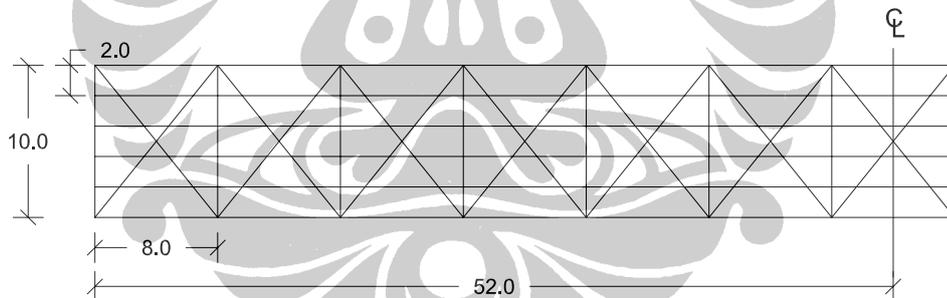
Secara keseluruhan, bagian-bagian pada Jembatan Krasak terdiri dari 3 bagian, yaitu bagian diagonal (sisi barat dan timur), bagian bawah (dek), serta bagian atas (pengaku). Gambaran umum serta ukuran bentang dari ketiga bagian tersebut yaitu:

Bagian Diagonal



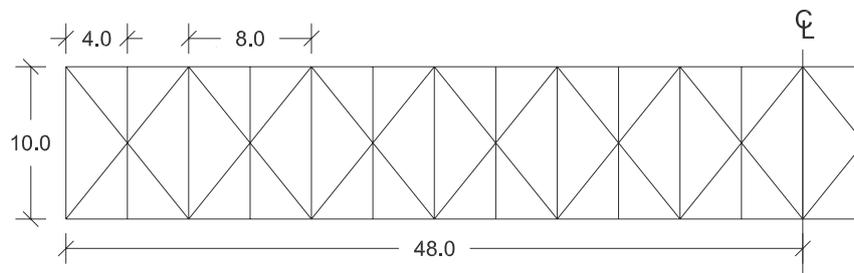
Gambar 3.2. Bentang Profil Baja Jembatan Krasak Bagian Diagonal

Bagian Bawah



Gambar 3.3. Bentang Profil Baja Jembatan Krasak Bagian Bawah

Bagian Atas

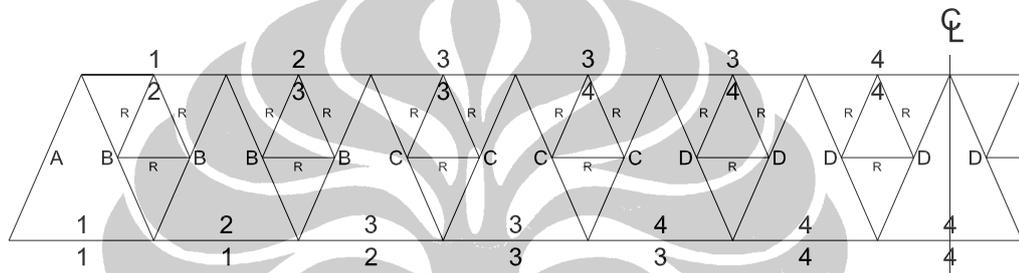


Gambar 3.4. Bentang Profil Baja Jembatan Krasak Bagian Atas

Ketiga bagian dari Jembatan Krasak tersebut akan dibahas lebih lanjut pada subbab selanjutnya dari tulisan ini. Pembahasan akan dilakukan mengenai profil yang digunakan dalam setiap bagian, dimensi dan karakteristik dari penampang tiap profil yang selanjutnya akan digunakan sebagai *input* ke dalam program. Karakteristik dari penampang tersebut meliputi luas (A), Momen Inersia sumbu Y (I_{YY}), dan Momen Inersia sumbu Z (I_{ZZ}).

3.3.1.2. Bagian Diagonal

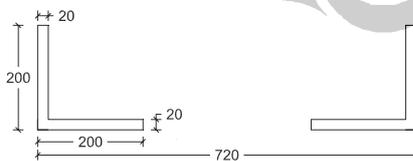
Berikut ini adalah penamaan dari profil-profil baja yang ada pada Jembatan Krasak bagian diagonal:



Gambar 3.5. Penamaan Profil Baja Jembatan Krasak Bagian Diagonal

Pada bagian diagonal ini, ciri khas jembatan CH adalah memiliki 2 baris rangka baja pada setiap sisinya. Sehingga terdapat rangka baja bagian dalam dan bagian luar. Hal ini terlihat dari penamaan profil yang digunakan pada rangka baja tersebut. Seperti pada profil 2-1, yang berarti dua profil *angles* dengan 2 buah di bagian dalam dan 1 buah di bagian luar.

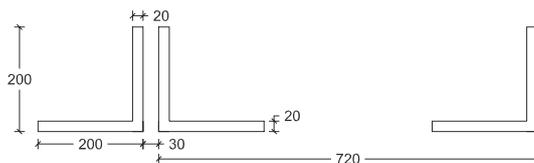
Profil 1-1



A	0,0152	m^2
I_{YY}	$5,76014 \times 10^{-5}$	m^4
I_{ZZ}	$1,449711 \times 10^{-3}$	m^4

Gambar 3.6. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 1-1

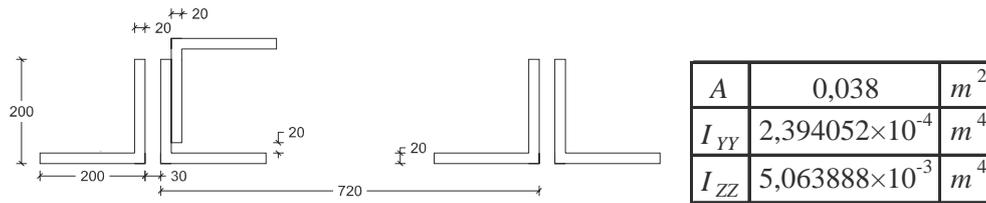
Profil 2-1



A	0,0228	m^2
I_{YY}	$8,64021 \times 10^{-5}$	m^4
I_{ZZ}	$2,44772 \times 10^{-3}$	m^4

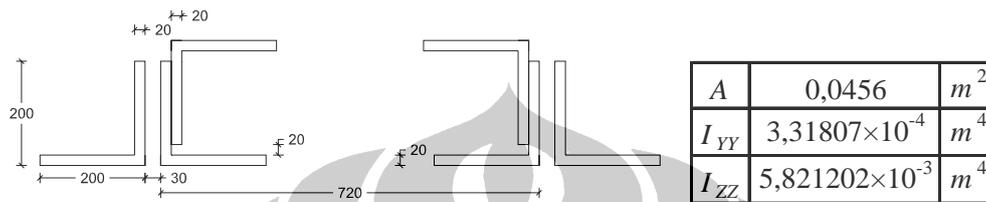
Gambar 3.7. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 2-1

Profil 3-2



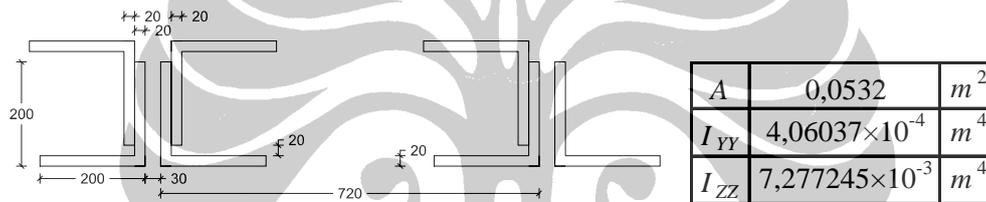
Gambar 3.8. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 3-2

Profil 3-3



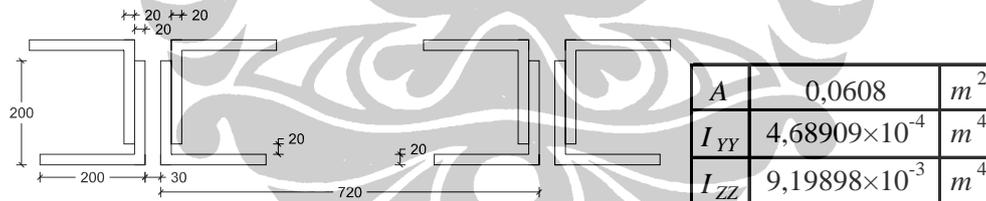
Gambar 3.9. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 3-3

Profil 4-3



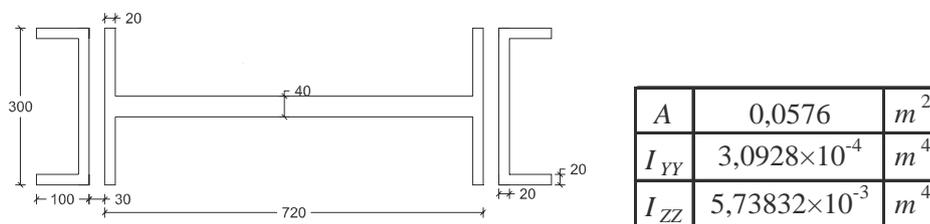
Gambar 3.10. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 4-3

Profil 4-4



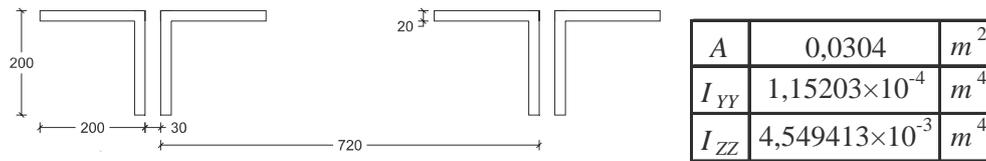
Gambar 3.11. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 4-4

Profil A



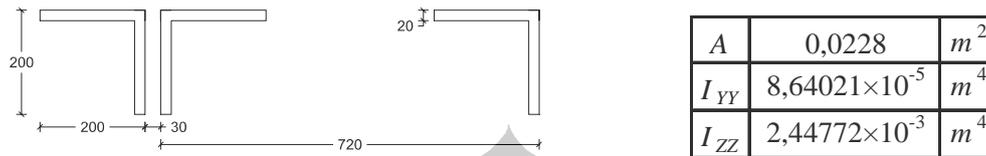
Gambar 3.12. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil A

Profil B



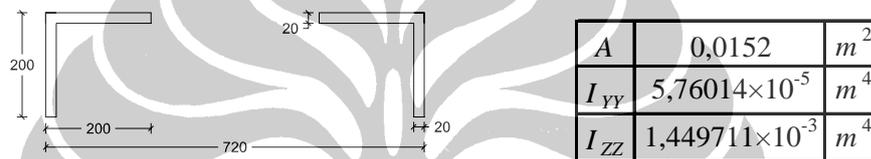
Gambar 3.13. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil B

Profil C



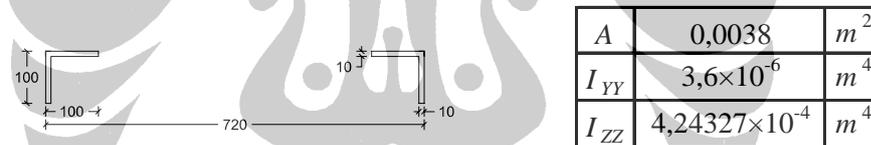
Gambar 3.14. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil C

Profil D



Gambar 3.15. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil D

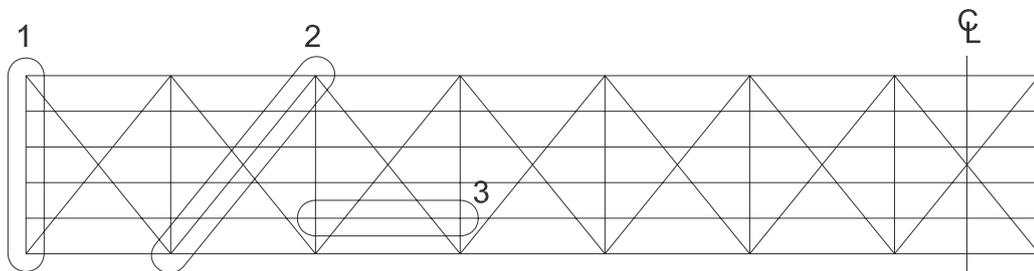
Profil R



Gambar 3.16. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil R

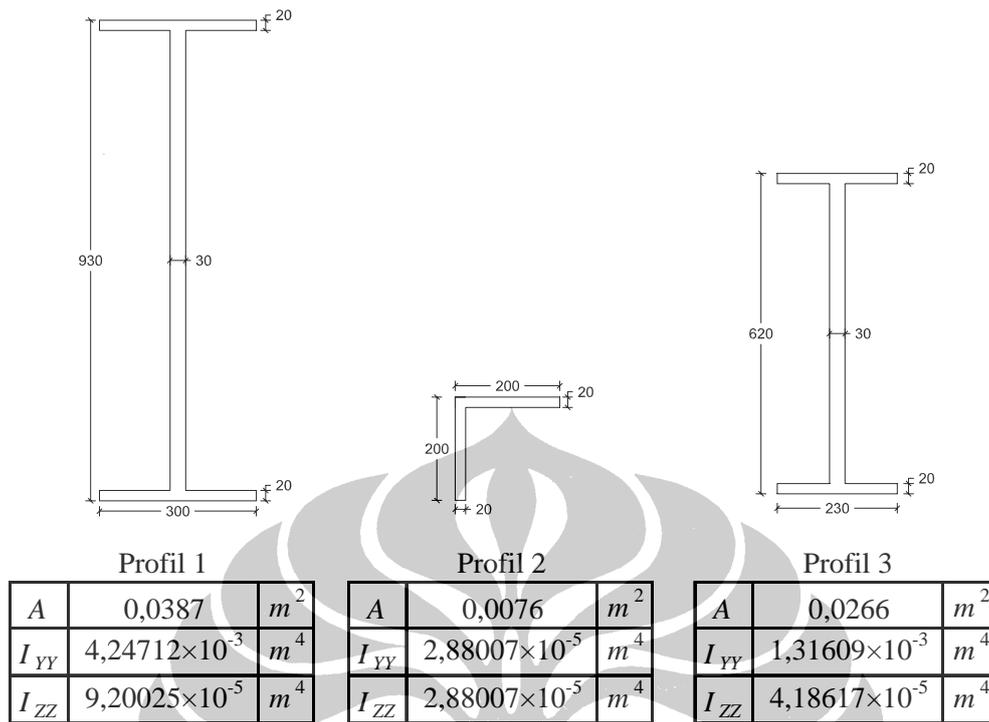
3.3.1.3. Bagian Bawah

Berikut ini adalah penamaan dari profil-profil baja yang ada pada Jembatan Krasak bagian bawah:



Gambar 3.17. Penamaan Profil Baja Jembatan Krasak Bagian Bawah

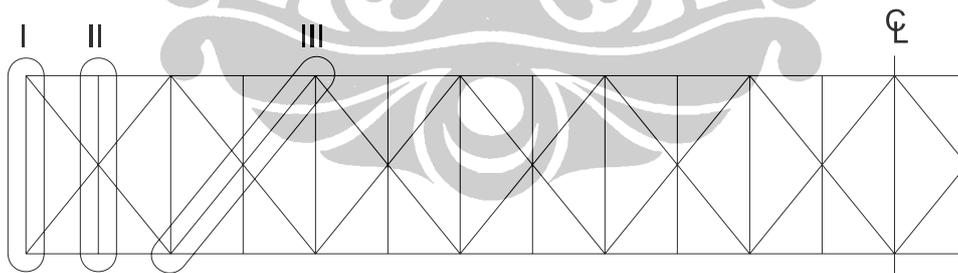
Profil 1, 2 dan 3



Gambar 3.18. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil 1, Profil 2, dan Profil 3

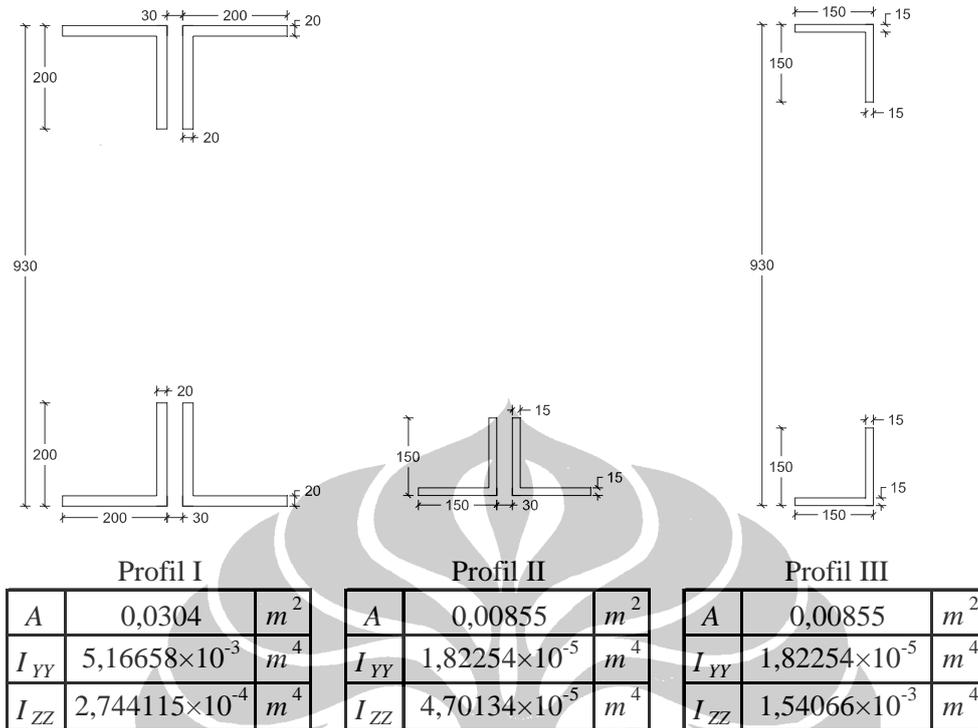
3.3.1.4. Bagian Atas

Berikut ini adalah penamaan dari profil-profil baja yang ada pada Jembatan Krasak bagian atas:



Gambar 3.19. Penamaan Profil Baja Jembatan Krasak Bagian Atas

Profil I, II, dan III



Gambar 3.20. Potongan Melintang dan Tabel Data Profil I, Profil II, dan Profil III

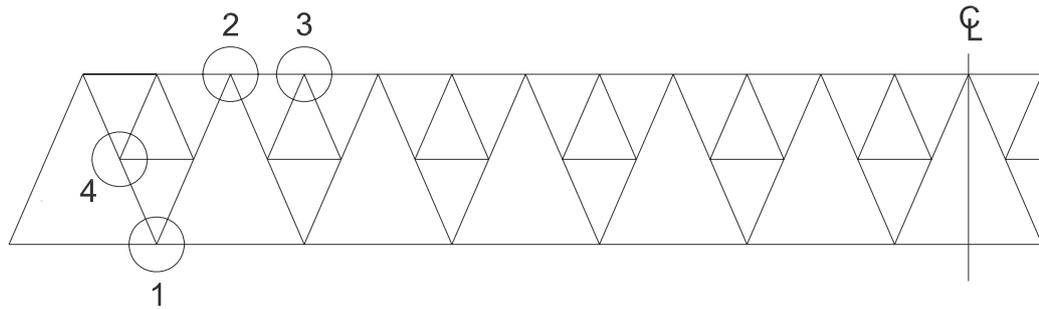
3.3.2. Detail Sambungan Pada Jembatan Krasak ^[21]

3.3.2.1. Umum

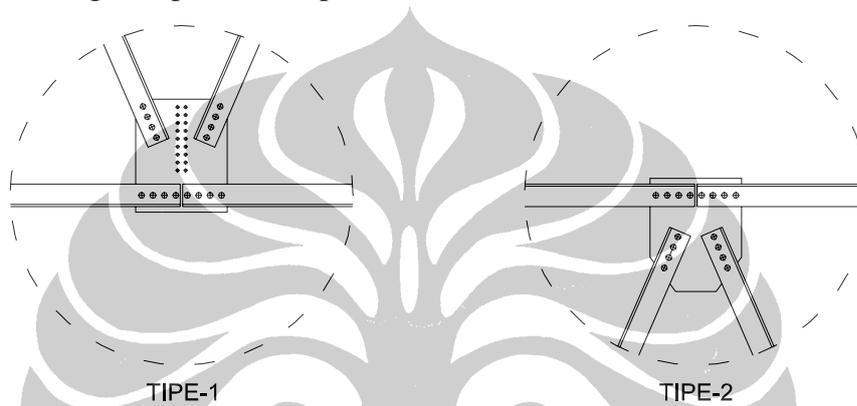
Secara umum, seperti pada penjelasan mengenai penggunaan profil pada Jembatan Krasak, maka detail sambungan pada Jembatan Krasak pun dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian diagonal, bagian bawah, dan bagian atas.

3.3.2.2. Bagian Diagonal

Pada bagian diagonal ini, detail sambungan yang perlu ditinjau untuk selanjutnya dijadikan *input* dalam program analisa dapat dilihat pada Gambar 3.21 berikut ini:



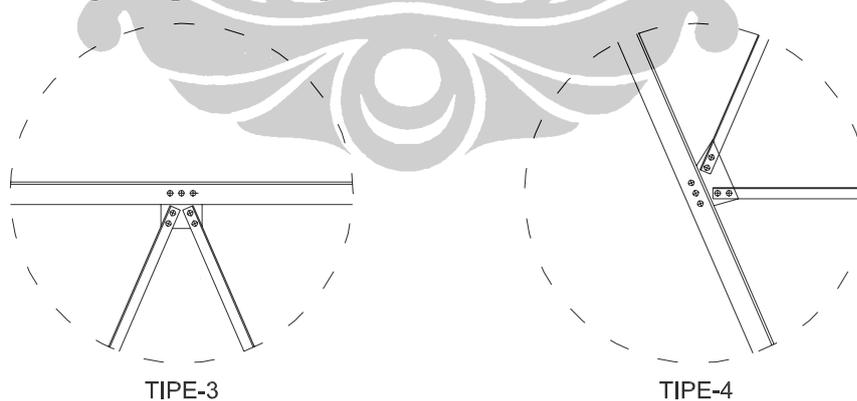
Gambar 3.21. Penamaan Sambungan Pada Jembatan Krasak Bagian Diagonal
Sambungan Tipe-1 dan Tipe-2



Gambar 3.22. Sambungan Tipe-1 dan Tipe-2 Pada Jembatan Krasak

Berdasarkan Gambar 3.22 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sambungan Tipe-1 dan Tipe-2 merupakan sambungan jenis *pin joint*, yang hanya menyalurkan gaya aksial antar profil.

Sambungan Tipe-3 dan Tipe-4

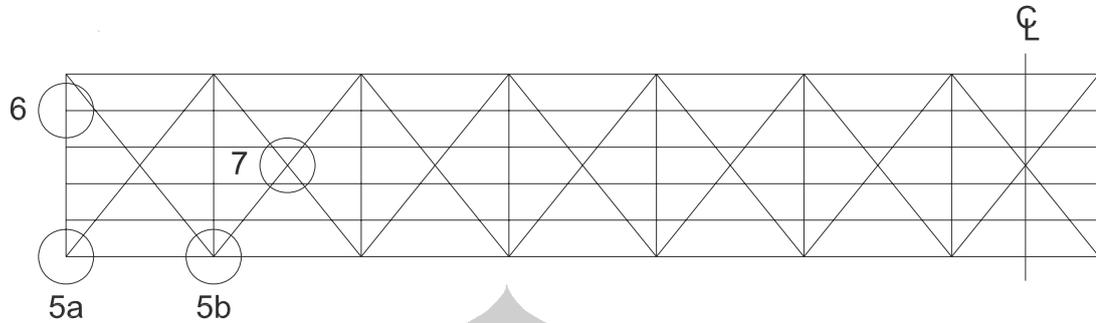


Gambar 3.23. Sambungan Tipe-3 dan Tipe-4 Pada Jembatan Krasak

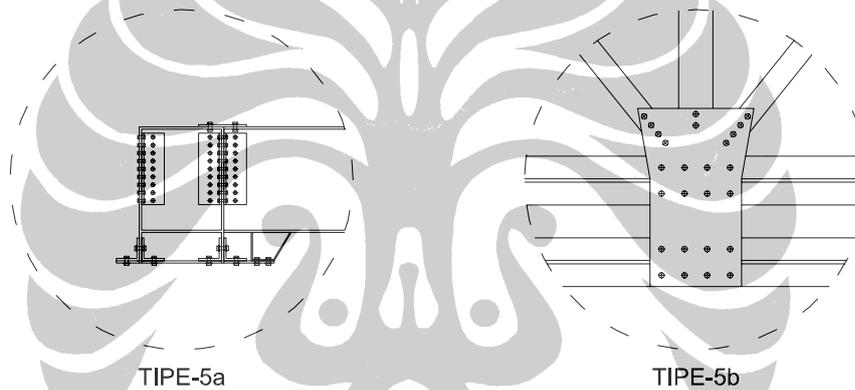
Berdasarkan Gambar 3.23 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sambungan Tipe-3 dan Tipe-4 merupakan sambungan jenis *pin joint*, yang hanya menyalurkan gaya aksial antar profil.

3.3.2.3. Bagian Bawah

Pada bagian bawah ini, detail sambungan yang perlu ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3.24 berikut ini:



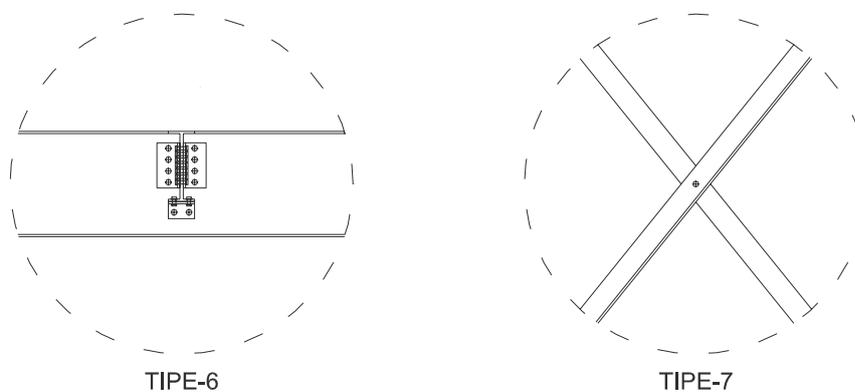
Gambar 3.24. Penamaan Sambungan Pada Jembatan Krasak Bagian Bawah Sambungan Tipe-5a dan Tipe-5b



Gambar 3.25. Sambungan Tipe-5a dan Tipe-5b Pada Jembatan Krasak

Berdasarkan Gambar 3.25 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sambungan Tipe-5a seakan berfungsi sebagai perletakan sendi dari Profil 1. Sedangkan sambungan Tipe-5b merupakan sambungan jenis *pin joint*.

Sambungan Tipe-6 dan Tipe-7

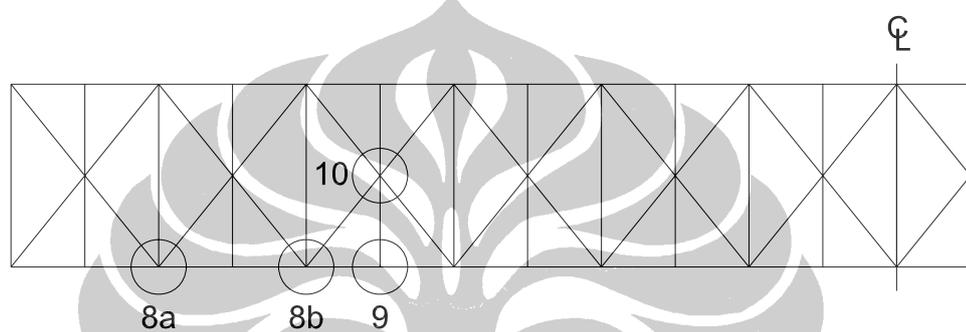


Gambar 3.26. Sambungan Tipe-6 dan Tipe-7 Pada Jembatan Krasak

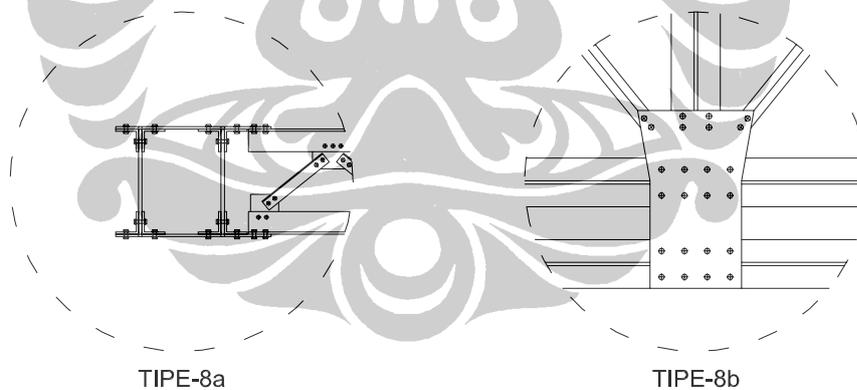
Berdasarkan Gambar 3.26 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sambungan Tipe-6 merupakan sambungan momen, yang dapat menyalurkan momen pada profil 3 menuju Profil 1 yang lebih besar. Sedangkan sambungan Tipe-7 berfungsi untuk mengurangi panjang efektif dari Profil 2 yang berperan sebagai pengaku di bagian bawah jembatan.

3.3.2.4. Bagian Atas

Pada bagian atas ini, detail sambungan yang perlu ditinjau untuk selanjutnya dijadikan *input* dalam program analisa dapat dilihat pada Gambar 3.27 berikut ini:



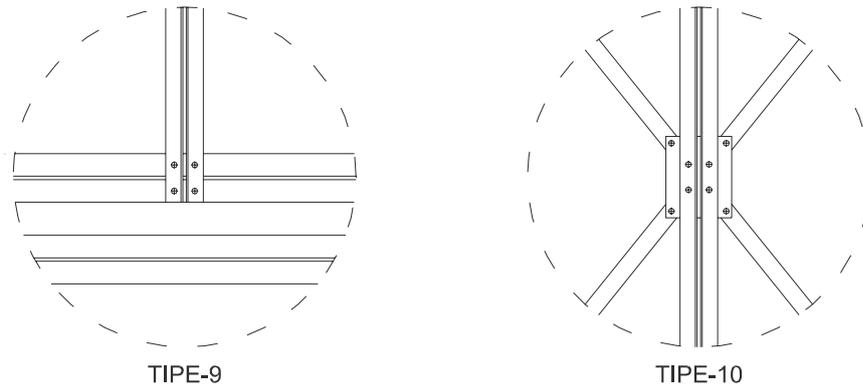
Gambar 3.27. Penamaan Sambungan Pada Jembatan Krasak Bagian Atas Sambungan Tipe-8a dan Tipe-8b



Gambar 3.28. Sambungan Tipe-8a dan Tipe-8b Pada Jembatan Krasak

Berdasarkan Gambar 3.28 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sambungan Tipe-8a dan Tipe-8b merupakan sambungan jenis *pin joint*, yang hanya menyalurkan gaya aksial antar profil.

Sambungan Tipe-9 dan Tipe-10

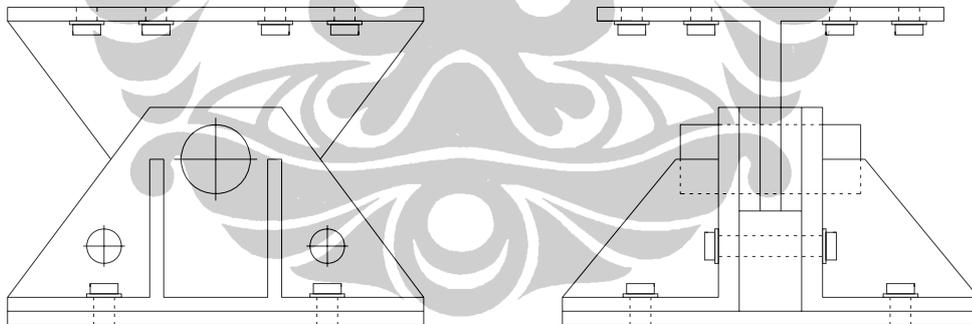


Gambar 3.29. Sambungan Tipe-9 dan Tipe-10 Pada Jembatan Krasak

Berdasarkan Gambar 3.29 di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sambungan Tipe-9 dan Tipe-10 merupakan sambungan jenis *pin joint*, yang hanya menyalurkan gaya aksial antar profil.

3.3.3. Detail Perletakan Pada Jembatan Krasak ^[21]

Berdasarkan literatur serta pengamatan langsung pada Jembatan Krasak, perletakan yang digunakan pada jembatan ini adalah sendi di satu sisi dan rol di sisi lainnya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.30 berikut ini:

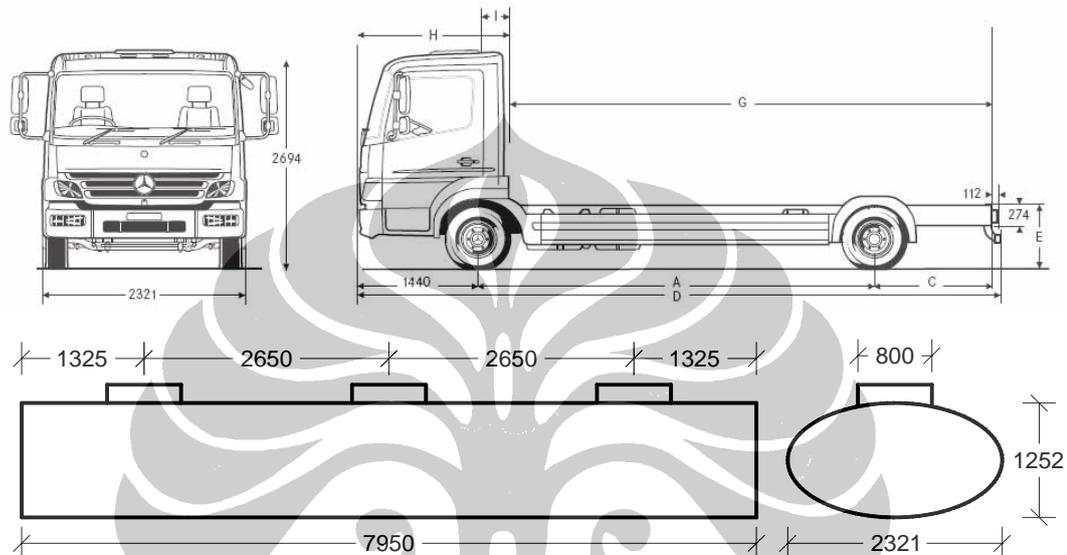


Gambar 3.30. Detail Perletakan Pada Jembatan Krasak

Berdasarkan gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa perletakan pada Jembatan Krasak bersifat sendi di satu sisi dan rol di sisi lain, sehingga pengekangan derajat kebebasan dilakukan terhadap nilai U_x , U_y , dan U_z untuk sendi serta U_y dan U_z untuk rol.

3.4. DATA DIMENSI TRUK TANGKI ^[22]

Dimensi dari truk tangki bahan bakar diperlukan untuk menentukan elemen-elemen mana saja yang mengalami efek kenaikan suhu (kebakaran). Data dimensi yang diperlukan adalah mengenai letak tangki bahan bakar yang diangkut oleh truk tersebut.



Gambar 3.31. Truk Tangki Bahan Bakar 16000 Liter ^[22]

Data selengkapnya mengenai dimensi truk bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Dimensi Truk Tangki Bahan Bakar ^[22]

Abjad	Dimensi (mm)
A	5360
C	3085
D	10065
E	1014
G	8235
H	1650
I	210

Berdasarkan data tersebut, maka dapat diambil kesimpulan bahwa elemen-elemen yang mengalami efek kenaikan suhu terdapat pada elemen-elemen yang berada pada ketinggian sama dengan atau lebih dari 2,7 meter dari pelat (*slab*) jalan

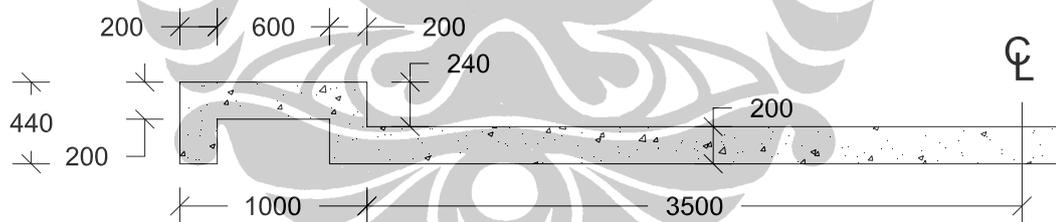
beton. Selain itu, menurut data panjang kendaraan, maka diketahui elemen-elemen yang terbakar terletak di antara 2 segmen struktur jembatan dengan panjang masing-masing elemen yaitu 8 m. Letak dari segmen ini akan dibahas pada Subbab 3.5.3.

3.5. DATA PEMBEBANAN PADA JEMBATAN KRASAK

3.5.1. Beban Gravitasi

Perhitungan berat sendiri dari profil baja pada Jembatan Krasak dapat dilakukan dengan sendirinya oleh program ANSYS v8.0. Berat masing-masing profil akan sesuai dengan massa jenis dari baja yang dikali dengan luas penampang dan bentang panjang masing-masing profil. Untuk berat dari truk tangki yaitu 20 Ton^[22], yang akan didistribusikan merata pada nodal di sekeliling lokasi berhentinya truk tersebut.

Sedangkan untuk perhitungan berat total beton yang digunakan pada Jembatan Krasak, sebelumnya diperlukan perhitungan volume dari total beton yang digunakan. Apabila melihat pada potongan melintang dari beton di bawah ini:



Gambar 3.32. Potongan Melintang Struktur Pelat Jalan Beton

maka didapat luas penampang beton yang digunakan adalah $2,032 \text{ m}^2$. Dengan bentang Jembatan Krasak yang mencapai 104 m, maka total volume dari beton yang digunakan pada Jembatan Krasak adalah $211,328 \text{ m}^3$. Selanjutnya apabila diketahui berat jenis beton adalah 2400 kg/m^3 ^[17], maka total berat beton mencapai 507187,2 kg. Beban ini selanjutnya akan didistribusikan secara merata sebagai beban nodal untuk memudahkan input dan analisa.

3.5.2. Beban Ledakan

Berdasarkan data-data historis yang diperoleh baik dari media massa, hasil penelitian sebelumnya, serta wawancara dengan saksi mata, didapat kesimpulan bahwa tidak terjadi ledakan dalam peristiwa keruntuhan Jembatan Krasak tersebut. Jelas disebutkan bahwa hanya terjadi kebakaran dalam waktu lama yang menyebabkan terjadinya deformasi struktur rangka baja Jembatan Krasak secara perlahan-lahan. Sehingga beban impuls ledakan tidak diikutsertakan dalam simulasi ini.

3.5.3. Beban Termal

Dalam penentuan beban termal yang terjadi pada peristiwa kebakaran Jembatan Krasak, maka dibutuhkan data pengamatan peristiwa kebakaran tersebut. Data tersebut terdiri dari 2 hal, yaitu data yang berasal dari media masa dan data hasil wawancara dengan saksi mata. Dari kedua sumber tersebut, beberapa kesimpulan yang dapat diambil mengenai peristiwa kebakaran pada Jembatan Krasak adalah:

- Kebakaran bermula dari truk tangki (tidak gandeng) premix berkapasitas 16000 liter yang terbakar di tengah bentang.
- Kebakaran terjadi selama 8 jam, dengan sekitar 2 jam awal mencapai suhu puncaknya.
- Sisa premix sejumlah 4000 liter menandakan jumlah premix yang digunakan sebagai bahan bakar adalah 12000 liter.
- Efek peningkatan suhu hanya terjadi pada batang tepi atas jembatan, batang bawah masih dalam kondisi normal dan lurus.

Dari sejumlah kesimpulan tersebut, maka beban termal yang terjadi pada peristiwa kebakaran Jembatan Krasak dapat dihitung dengan rumusan seperti berikut ^[23]:

Beban termal rata-rata dalam suatu ruangan:

$$L_{fire} = \left(\frac{1}{A_f} \sum m_i \cdot H_{ui}(F_i) \right) \times F_d \times K_d \quad (3.1)$$

dimana:

L_{fire} = Beban Termal (MJ/m^2).

A_f = Luas Ruang yang Terbakar (m^2).

- m_i = Massa Bahan Bakar (*kg*).
 F_i = Faktor Pembakaran {*combustion*}.
 F_d = Faktor distribusi beban api.
 K_d = Konstanta distribusi beban api.
 H_{ui} = Nilai Kalori Material (*MJ/kg*).

Berdasarkan Gambar 3.31, dapat dihitung besaran A_f dengan mencari luas permukaan dari bahan bakar sebanyak 12000 liter. Dengan perhitungan luas permukaan sederhana, maka didapat $A_f = 46,711 \text{ m}^2$.

Massa bahan bakar didapat dengan mengalikan jumlah bahan bakar yang terbakar dengan massa jenisnya (*gasoline* = $737,22 \text{ kg/m}^3$ [24]). Berdasarkan pengamatan saksi mata, kebakaran terjadi selama 8 jam, sehingga jumlah bahan bakar yang terbakar per jamnya adalah seperdelapan dari jumlah total bahan bakar yang terbakar. Sehingga didapat:

$$m_i = \frac{1}{8} \times 737,22 \text{ kg/m}^3 \times 12000 \text{ L} \times 0,001 \text{ m}^3/\text{L} = 1105,83 \text{ kg}$$

Parkinson [23] dalam tabelnya halaman 36 menyatakan berturut-turut nilai $F_i = 1,6$; $F_d = 1$; dan $K_d = 1,45$, untuk kondisi asumsi seluruh ruangan terbakar, distribusi merata, serta tercapai kondisi api 80% puncak (80th Peak).

Selanjutnya berdasarkan Tabel 2.1, didapat nilai kalori premix (dianggap sebagai *gasoline*) yaitu 44 MJ/kg .

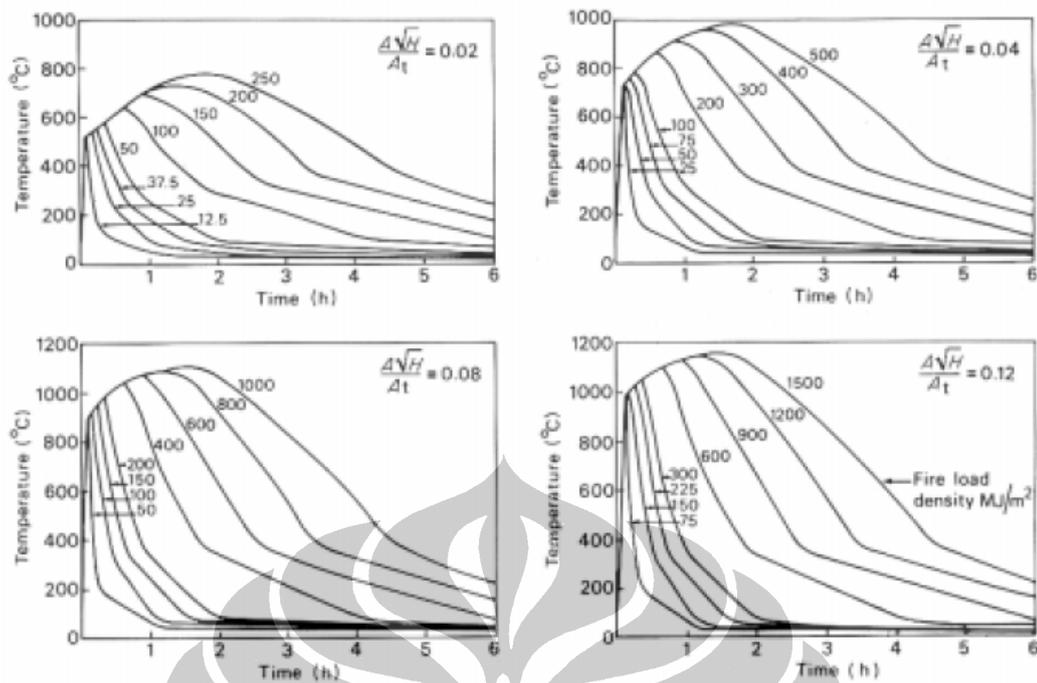
Berdasarkan nilai-nilai tersebut di atas, dapat dihitung besar beban api:

$$L_{fire} = \frac{1}{46,711 \text{ m}^2} \times 1105,83 \text{ kg} \times 44 \text{ MJ/kg} \times 1,6 \times 1 \times 1,45 = 2416,63 \text{ MJ/m}^2$$

Selanjutnya dari beban termal tersebut, digabung dengan faktor ventilasi

($\frac{A_v \sqrt{H_v}}{A_t}$), akan didapat kurva hubungan waktu dan temperatur teoritis dengan

mengacu kepada Gambar 3.33 berikut ini:



Gambar 3.33. Grafik Analitis Hubungan Waktu-Temperatur, *Swedish Method* ^[23]

Nilai dari faktor ventilasi (F_v) dapat dihitung dengan persamaan:

$$F_v = \frac{A_v \sqrt{H_v}}{A_t} \tag{3.2}$$

dimana:

- F_v = Faktor Ventilasi ($m^{\frac{1}{2}}$)
- A_v = Luas Ventilasi (m^2).
- H_v = Ketinggian Ventilasi (m).
- A_t = Luas Permukaan Ruang selain Ventilasi (m^2).

Berdasarkan gambar tangki pada Gambar 3.31, didapat data tutup tangki berdiameter 0,8 m sebanyak 3 buah. Kondisi tangki penuh (16000 L) menyisakan jarak isi tangki dengan tutup tangki sebesar 0,22 m. Hal ini menyebabkan seakan-akan tangki tersebut memiliki tangki dengan tutup berbentuk lingkaran dengan diameter ±1,2 m (pembesaran). Sehingga luas ventilasi (A_v) adalah:

$$A_v = 3 \times \pi \times r^2 = 3 \times \pi \times 0,6^2 = 3,393 m^2$$

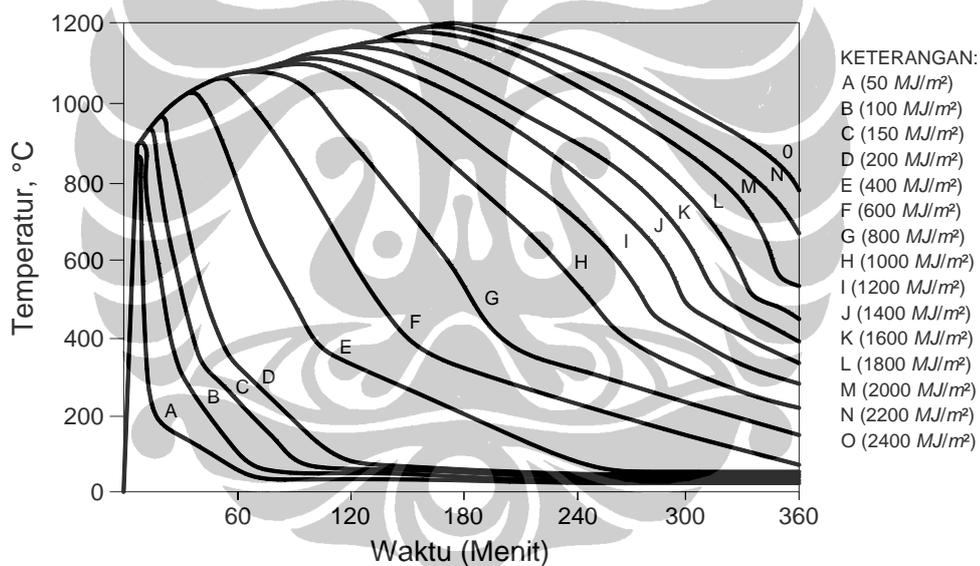
Ketinggian ventilasi (H_v) dari permukaan bawah tangki yaitu 1,252 m.

Sedangkan luas permukaan ruang selain ventilasi (A_t) yaitu 44,213 m^2 .

Dengan mengetahui tiga nilai di atas, didapat nilai faktor ventilasi (F_v):

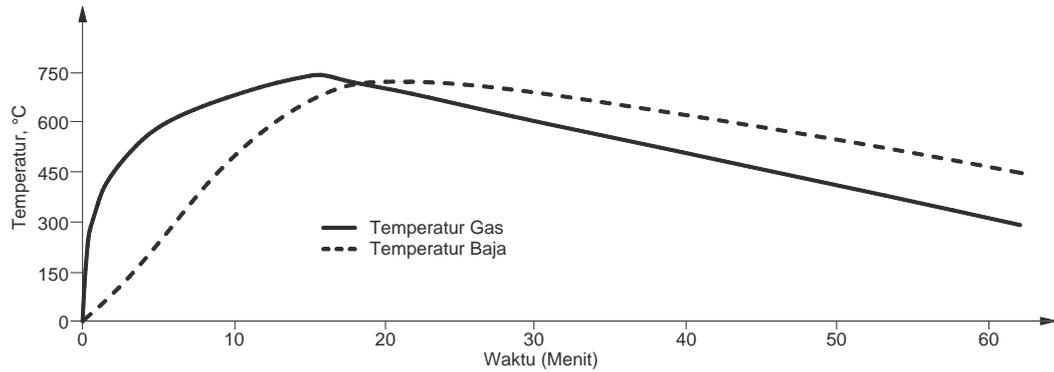
$$F_v = \frac{3,393\sqrt{1,252}}{44,213} = 0,0858$$

Dari keempat grafik pada Gambar 3.33, diambil grafik yang memiliki faktor ventilasi paling mendekati 0,0858, yaitu grafik kiri bawah. Namun karena data yang terdapat pada grafik tersebut hanya mencapai nilai 1000 MJ/m^2 , maka diperlukan proses ekstrapolasi. Hasil ekstrapolasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.34. Berdasarkan grafik pada Gambar 3.34, maka dapat diketahui nilai perubahan temperatur terhadap waktu dari beban api yang sudah dihitung ($2416,63 \text{ MJ/m}^2$). Nilai perubahan tersebut akan mengikuti grafik dengan nilai yang mendekati angka $2416,63 \text{ MJ/m}^2$, yaitu 2400 MJ/m^2 .



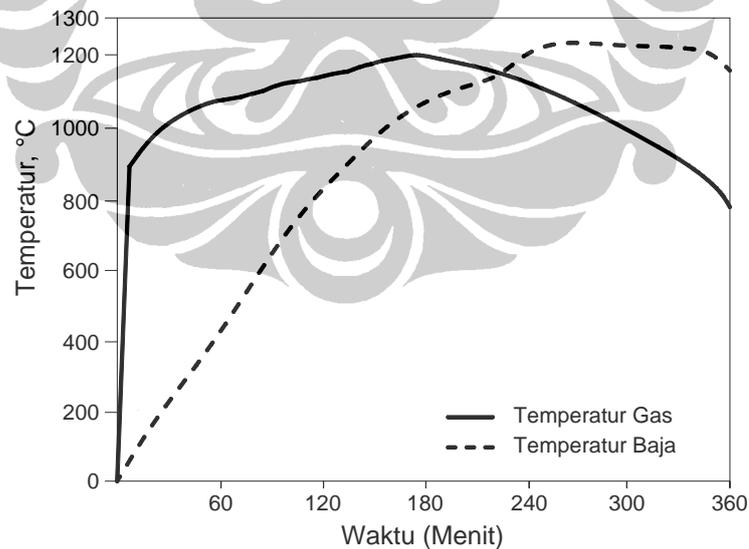
Gambar 3.34. Grafik Hubungan Waktu-Temperatur Hasil Ekstrapolasi

Setelah mendapatkan grafik hubungan waktu-temperatur dari api yang terdapat pada kompartemen tangki bahan bakar, maka perlu dihitung hubungan waktu-temperatur yang terjadi pada profil baja struktur jembatan yang berada di sekitar sumber api. Perhitungan tersebut dilakukan dengan mengikuti pola dari grafik berikut ini ^[25].



Gambar 3.35. Grafik Standar Perbandingan Temperatur Gas Dengan Temperatur Baja ^[25]

Selanjutnya dengan mengikuti pola yang ada pada Gambar 3.35, maka dapat dilakukan modifikasi terhadap grafik hubungan waktu-temperatur yang ada pada Gambar 3.34. Modifikasi dilakukan terhadap garis kurva beban api 2400 MJ/m^2 . Perhitungan yang dilakukan pada proses modifikasi adalah dengan mengambil nilai persentase perbandingan temperatur gas dengan temperatur baja. Nilai persentase tersebut nantinya akan dijadikan angka pengali dalam menghitung temperatur baja berdasarkan temperatur gas sesuai Gambar 3.34. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.36 di bawah ini:



Gambar 3.36. Grafik Perbandingan Temperatur Gas Dengan Temperatur Baja,

$$L_{fd} = 2400 \text{ MJ/m}^2$$

3.6. DATA MASUKAN

Untuk menghasilkan proses keruntuhan yang serupa dengan peristiwa kebakaran yang sudah terjadi, maka diperlukan suatu analisa secara 3 dimensi. Akan tetapi, apabila tidak dimungkinkan untuk dilakukan analisa tersebut, dikarenakan keterbatasan program ataupun kesulitan lainnya, maka analisa secara 2 dimensi pun dapat dilakukan.

3.6.1. Model Struktur

Permodelan struktur yang dilakukan dalam simulasi ini dibagi menjadi empat tipe, yaitu:

- Model 2 Dimensi, dengan sisi rangka baja yang digunakan dalam simulasi adalah sisi bagian timur (jalur Magelang-Yogyakarta). Sisi tersebut digunakan karena mengalami pembebanan gravitasi dan termal terbesar, yaitu karena truk tangki berhenti dan terbakar pada bagian tersebut.
- Model 3 Dimensi-1, dengan memodelkan struktur pelat (*slab*) jalan beton hanya sebagai beban, tidak berkontribusi pada kekakuan dari struktur Jembatan Krasak tersebut. Struktur pengaku lateral atas dimodelkan sebagai balok.
- Model 3 Dimensi-2, dengan memodelkan struktur pelat (*slab*) jalan beton sebagai elemen struktur komposit dari Jembatan Krasak. Struktur pengaku lateral atas juga dimodelkan sebagai balok.
- Model 3 Dimensi-3, dengan memodelkan struktur pelat (*slab*) jalan beton juga sebagai elemen struktur komposit dari Jembatan Krasak. Struktur pengaku lateral atas dimodelkan sebagai rangka baja.

Pada keempat model tersebut, hubungan rangka batang adalah *pin joint*. Sedangkan pada Model 3D, *stringer* berada di antara dua balok melintang, dimana hubungan antara kedua balok tersebut berupa *pin joint*. Setiap model akan disimulasikan dan hasilnya akan dianalisa untuk saling dibandingkan. Kesimpulan akan diambil dari perbandingan tersebut.

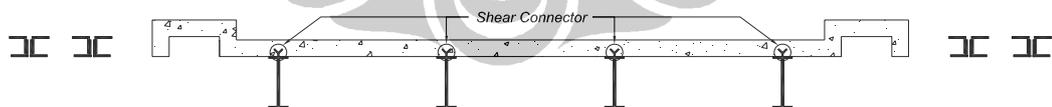
3.6.2. Dimensi Struktur

Dimensi struktur yang dijadikan sebagai data masukan dalam program ANSYS v8.0, baik profil baja, sambungan dan perletakannya, adalah sesuai

dengan dimensi yang terdapat pada Subbab 3.3. Dalam tulisan ini, struktur yang dimodelkan hanya struktur baja pada Jembatan Krasak. Hal ini dilakukan terutama pada analisa 2 dimensi, namun dapat pula dilakukan pada analisa secara 3 dimensi. Data geometri yang dijadikan sebagai data masukan, yaitu:

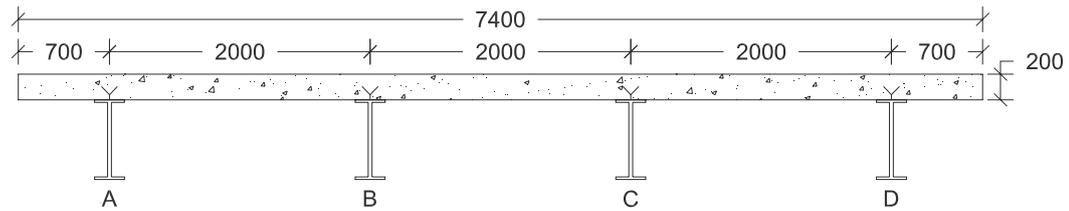
- Luas penampang
- Tahanan Inersia I_{ZZ} dan I_{YY}
- Lebar Profil
- Tinggi Profil

Terdapat dua pilihan dalam memodelkan struktur pelat (*slab*) jalan beton pada Jembatan Krasak, yaitu dengan hanya memodelkannya sebagai beban atau memodelkannya sebagai elemen struktural dari jembatan tersebut. Permodelan struktur pelat jalan beton sebagai beban tidak akan menambah kekakuan dari jembatan. Sedangkan permodelan sebagai elemen struktur akan memberikan tambahan kekakuan. Dalam memodelkan struktur pelat jalan beton sebagai elemen struktur, terdapat dua pilihan, yaitu dengan langsung memodelkannya sebagai elemen *plate* atau *shell*, atau sebagai struktur komposit yang akan menambah kekakuan dari elemen struktur baja yang memiliki hubungan geser (terdapat *shear stud/connector*) dengan pelat jalan beton tersebut. Simulasi ini dilakukan dengan memodelkan struktur pelat jalan beton sebagai komposit, dikarenakan kesulitan penulis dalam menjalankan analisa yang menjadikan struktur pelat beton tersebut sebagai elemen *plate* atau *shell*. Elemen struktur yang bersifat komposit ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.37. Letak Elemen yang Memiliki *Shear Stud/connector* ^[21]

Berdasarkan Gambar 3.37, diketahui bahwa elemen yang mengalami efek komposit adalah pada bagian *stringer*. Perhitungan komposit dari elemen tersebut dilakukan dengan beberapa langkah berikut:



catatan: jalur pedestrian (trotoar) tidak dianggap struktur komposit

Gambar 3.38. Potongan Melintang Bagian Dek Struktur Jembatan ^[21]

Langkah pertama adalah menghitung lebar efektif yang akan menjadi struktur *web* tambahan bagi profil *stringers* tersebut. Perhitungan ini dilakukan dengan mencari nilai terkecil dari formula berikut ini ^[26]:

- Seperempat Bentang
- Jarak Antar Balok (As ke as)
- Dua kali jarak As balok ke tepi pelat (Untuk balok tepi)

Dengan syarat di atas, maka lebar efektif untuk profil *stringer* B dan C (Balok tengah) adalah:

$$L_{eff_{B,C}} = \frac{1}{4} \times 8m = 2m$$

Sedangkan untuk profil *stringer* A dan D (balok tepi) yaitu:

$$L_{eff_{A,D}} = 2 \times 0,7m = 1,4m$$

Dengan kuat tekan beton K-350, $f'_c = 29,05MPa$ ^[21], didapat modulus elastisitas beton (E_c):

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{29,05} = 25332,08MPa$$

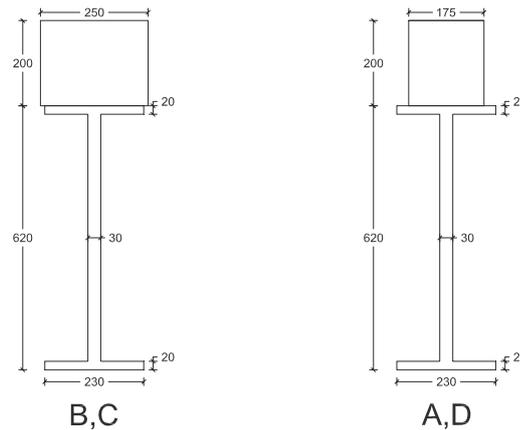
Dapat dicari nilai rasio modular (n):

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000MPa}{25.332,08MPa} = 7,89 \approx 8$$

Selanjutnya nilai rasio modular tersebut akan memodifikasi lebar efektif beton menjadi lebar efektif baja. Sehingga lebar efektif akan menjadi:

$$L'_{eff_{B,C}} = \frac{2m}{8} = 0,25m ; L'_{eff_{A,D}} = \frac{1,4m}{8} = 0,175m$$

Visualisasi dari dimensi tersebut, yaitu:



Gambar 3.39. Tampilan Struktur Komposit *Stringer* dan Pelat

Maka dapat dihitung data geometri baru dari *stringer* tersebut, yaitu:

$$\begin{aligned}
 A_{B,C} &= 0,0766 \text{ m}^2 & A_{A,D} &= 0,0616 \text{ m}^2 \\
 I_{YY_{B,C}} &= 4,40146 \times 10^{-3} \text{ m}^4 & I_{YY_{A,D}} &= 3,97336 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 I_{ZZ_{B,C}} &= 3,02278 \times 10^{-4} \text{ m}^4 & I_{ZZ_{A,D}} &= 1,31185 \times 10^{-4} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

Data geometri tersebut akan dijadikan *input* dalam simulasi.

3.6.3. Sifat Material

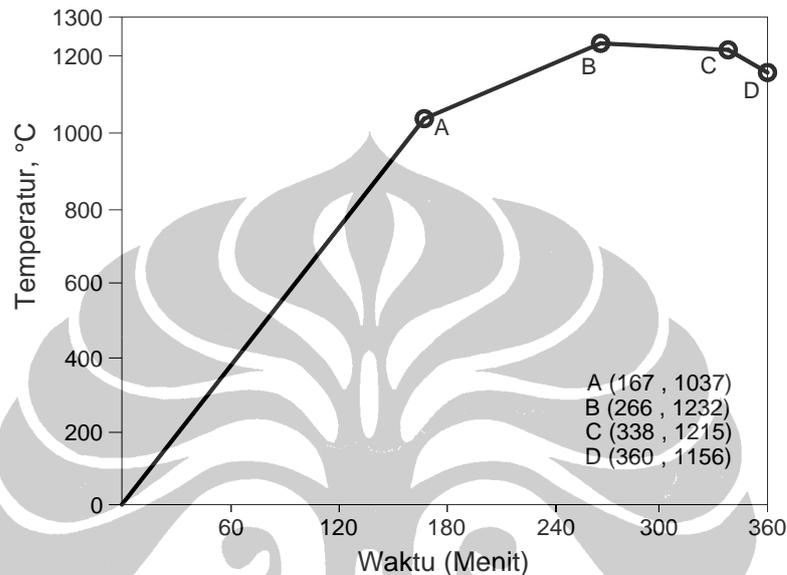
Sama halnya dengan dimensi struktur, data masukan berupa sifat material pun dapat ditemukan pada bab sebelumnya pada tulisan ini, tepatnya pada Subbab 2.6.2. Data sifat material yang dijadikan sebagai masukan, yaitu:

- Modulus Elastisitas (E_s)
- Tegangan Leleh (f_y) dan Tegangan Ultimate (f_u)
- Massa Jenis (kg/m^3)
- Kurva hubungan tegangan-regangan (*stress-strain*)
- Koefisien perpanjangan linear terhadap suhu (α)
- Konduktifitas Termal (k)
- Kapasitas Panas (C_p)

3.6.4. Pembebanan

Sesuai dengan hasil pembahasan pada Subbab 3.5, pembebanan yang terjadi pada peristiwa keruntuhan Jembatan Krasak hanya terdiri dari beban gravitasi, baik dari struktur jembatan itu sendiri ditambah dengan beban truk tangki, serta beban termal sesuai dengan Gambar 3.36. Dalam keadaan simulasi, sulit untuk

melakukan pembebanan termal sesuai dengan Gambar 3.36, hal ini disebabkan kebutuhan langkah waktu (*loadstep*) yang cukup banyak demi menghasilkan pembebanan sesuai dengan grafik secara halus. Oleh karena itu, untuk menyederhanakan pembebanan, maka akan diambil lima titik ekstrem dari grafik tersebut, sehingga penyederhanaan dari grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.40.



Gambar 3.40. Penyederhanaan Grafik Hubungan Waktu-Temperatur Dalam Simulasi

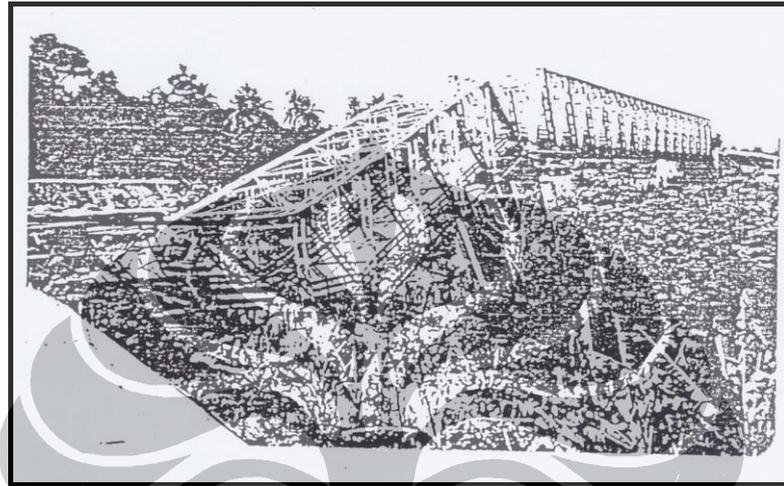
Besaran waktu dan temperatur yang terdapat pada keempat titik ekstrem tersebut, yaitu:

1. *Loadstep* 1. Menit ke-167, suhu 1037 °C.
2. *Loadstep* 2. Menit ke-266, suhu 1232 °C.
3. *Loadstep* 3. Menit ke-338, suhu 1215 °C.
4. *Loadstep* 4. Menit ke-360, suhu 1156 °C.

Selain itu, batasan dan asumsi yang diberikan pada beban termal ini adalah:

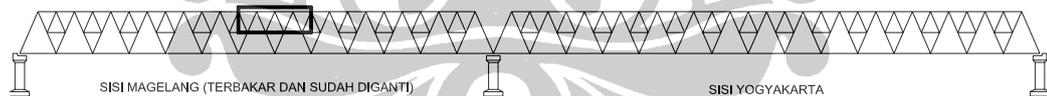
- a. Dalam keterangan saksi mata disebutkan bahwa peristiwa kebakaran yang terjadi memakan waktu sekitar 8 jam. Namun grafik beban termal hanya mencapai waktu 6 jam. Hal ini disebabkan keterbatasan referensi, sehingga diasumsikan suhu yang terjadi antara jam ke-6 hingga jam ke-8 memiliki gradien penurunan yang sama dengan titik C dan D.

- b. Beban termal dilakukan dalam satuan menit, untuk memudahkan pembacaan hasil analisa struktur. Satuan menit dianggap nilai tengah dari satuan jam dan satuan detik.
- c. Lokasi pembebanan termal ini dilakukan berdasarkan referensi dari foto setelah kejadian runtuhnya Jembatan Krasak seperti pada Gambar 3.41 berikut:



Gambar 3.41. Foto Jembatan Krasak Setelah Runtuh ^[20]

Berdasarkan Gambar 3.41, dapat diambil kesimpulan bahwa peristiwa kebakaran terjadi pada segmen ke-6 dan ke-7 dihitung dari pilar tengah jembatan. Atau untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.42 berikut ini:



Gambar 3.42. Lokasi Pembebanan Termal Pada Jembatan Krasak

3.7. PARAMETER YANG AKAN DIEVALUASI

Parameter yang akan dievaluasi dari hasil analisa struktur dalam setiap langkah pembebanan (*loadstep*) adalah:

- a) Deformasi Struktur.
- b) Hubungan tegangan-regangan struktur.

Sehingga dari dua parameter inilah pola keruntuhan akibat kebakaran dapat ditampilkan serta dianalisa lebih lanjut.