

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Baja

2.1.1 Sifat mekanik baja

Untuk mendapatkan sifat mekanik dari material baja maka pengujian yang tepat adalah uji tarik. Selain lebih mudah pelaksanaannya daripada uji tekan, uji tarik juga dapat memberikan data yang akurat terhadap sifat mekanik baja. Pada Gambar 2.2 dan 2.3 menunjukkan hasil dari uji tarik baja pada suhu kamar dengan memberikan laju regangan normal. Tegangan normal (f) pada benda uji diplot pada sumbu vertikal, dan untuk regangan (ϵ) diplot pada sumbu horizontal.

Tegangan merupakan besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul tiap satuan luas (A). Ketika tegangan merata pada seluruh luasan (A) dan tegangan bernilai konstan, maka dapat menggunakan persamaan berikut, Singer (1995) :

$$\sigma = \frac{F_n}{A} \quad (2.1)$$

Dimana :

σ = tegangan (kN/mm²)

F_n = gaya yang bekerja (kN)

A = luas penampang (mm²)

Tegangan normal dianggap positif ketika mengalami tarik (*tensile*) dan dianggap negatif ketika mengalami tekan (*compression*). Tegangan normal (σ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas (Timoshenko dan Goodier, 1986)

Tegangan menurut Marciniak dkk. (2002) dibedakan menjadi dua yaitu, *engineering stress* dan *true stress*. *Engineering stress* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{eng} = \frac{F}{A_0} \quad (2.2)$$

Dimana :

σ_{eng} = *Engineering stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas permukaan awal (mm²)

Sedangkan untuk *true stress* adalah tegangan dari hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi luas permukaan sebenarnya. *True stress* dapat dihitung dengan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Dimana :

σ = *True stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm²)

Ketika suatu material diberi gaya tarik atau tekan, akibatnya material tersebut akan mengalami ketegangan antar partikel di dalam elemen yang besarnya berbanding lurus. Akibat dari perubahan tegangan partikel ini mengakibatkan bergesernya struktur material regangan yang besarnya juga berbanding lurus. Akibatnya terjadi deformasi dari bentuk material tersebut misal pertambahan panjang yang awalnya L_0 menjadi L. Rasio perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal disebut dengan regangan (*strain*) dan disimbolkan dengan (ϵ).

Untuk dapat memperoleh satuan deformasi atau regangan (ϵ) yaitu membagi perpanjangan ($L - L_0$) dengan panjang material mula-mula (L_0). Hal ini sesuai dengan pernyataan Singer (1995) yaitu :

$$\epsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (2.4)$$

Dimana :

ε = regangan

$(L - L_0)$ = perubahan panjang (m)

L_0 = panjang awal (m)

Menurut Marciniak dkk. (2002) regangan dibagi menjadi dua, *engineering strain* dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung tergantung pada dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\varepsilon_{eng} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana :

ε_{eng} = *Engineering strain*

Δl = Perubahan panjang

l_0 = Panjang mula-mula

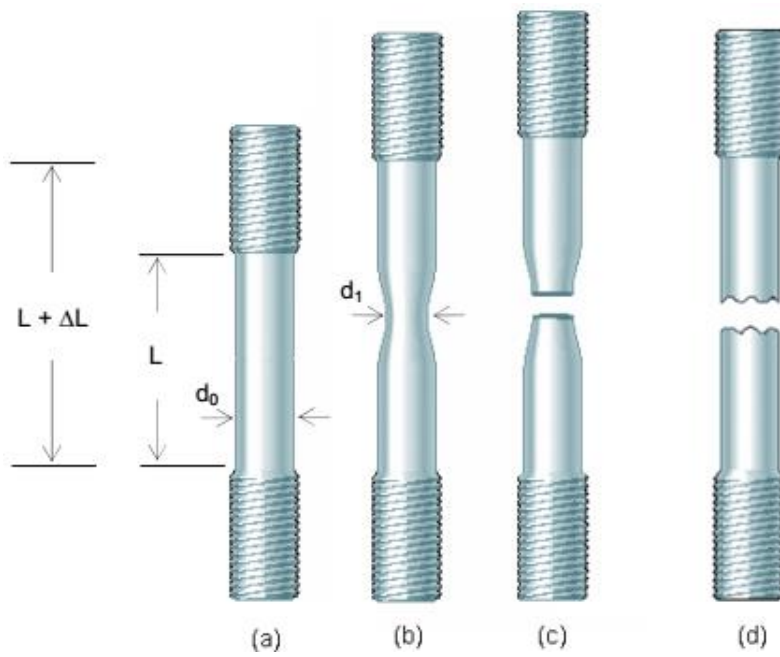
l = Panjang setelah diberi gaya

Sedangkan *True strain* merupakan regangan yang dihitung secara bertahap (*increment strain*), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Sehingga persamaan regangan untuk *true strain* (ε) adalah :

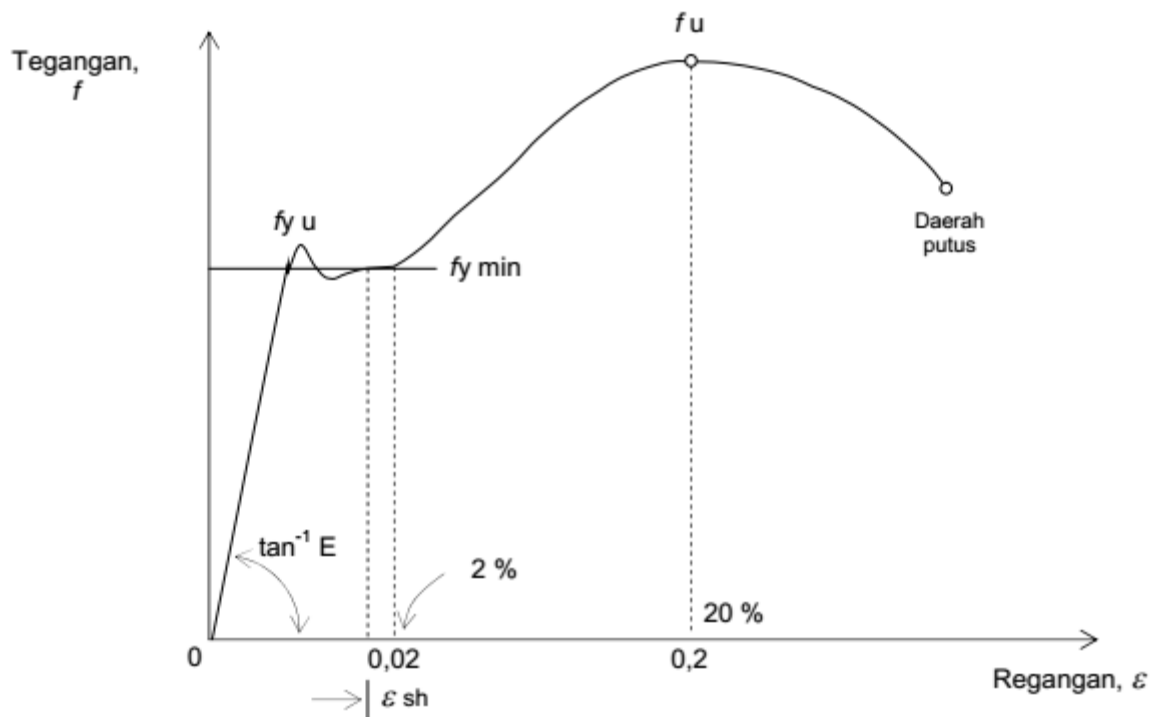
$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.6)$$

Dimana :

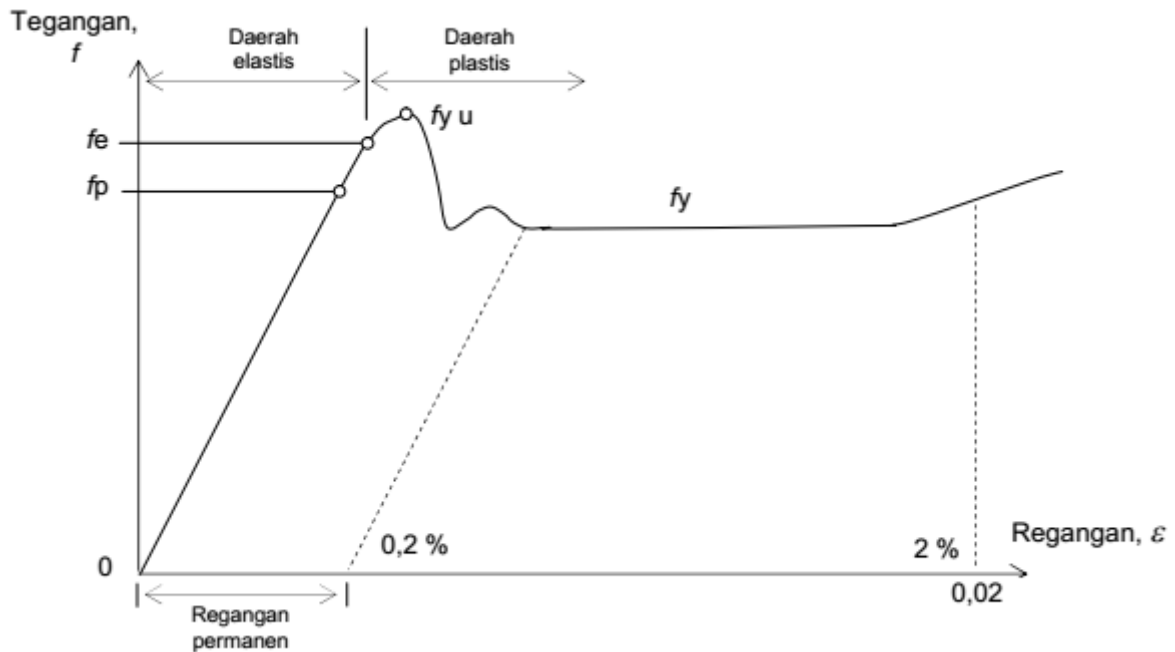
ε = *True strain*



Gambar 2.1 Benda uji dengan uji tarik. (b) dan (c) bersifat daktil, (d) bersifat rapuh/getas
 Sumber : Modul kuliah struktur baja 1, Ir. Thamrin Nasution (2011)



Gambar 2.2 Kurva hubungan tegangan (f) dan Regangan (ϵ)
 Sumber : Agus Setiawan (2013)



Gambar 2.3 Bagian kurva tegangan dan regangan yang diperbesar
 Sumber : Agus Setiawan (2013)

Titik – titik penting dalam kurva tegangan – regangan adalah :

- f_p : batas proporsional
- f_e : batas elastis
- f_{yu}, f_y : tegangan leleh atas dan bawah
- f_u : tegangan putus
- ϵ_{sh} : regangan saat mulai terjadi efek strain hardening (penguatan regangan)
- ϵ_{sh} : regangan saat tercapainya tegangan putus

Titik – titik diatas membagi kurva menjadi beberapa daerah yaitu :

1. Daerah linear diantara titik 0 dan f_p berlaku Hukum Hooke :

$$\Delta L = \frac{P.L}{E.A} \quad (2.7)$$

Dimana, $f = \frac{P}{A} = \text{Tegangan}$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \text{Regangan}$$

$$E = \frac{f}{\epsilon} = \text{Young modulus} = \text{Modulus elastisitas}$$

2. Daerah linear pada titik 0 dan f_p , pada daerah ini berlaku Hukum Hooke, sisi miring dari kurva ini disebut sebagai Modulus Elastisitas atau Modulus Young, $E = \frac{f}{\epsilon}$

3. Daerah elastis pada titik 0 dan f_e , pada daerah ini ketika benda uji diberi beban maka benda uji mengalami perpanjangan. Ketika beban dihilangkan benda uji akan kembali ke bentuk semula. Bisa dikatakan benda uji bersifat elastis.
4. Daerah plastis yang dibatasi regangan di 2% hingga 1,2 – 1,5%, ini adalah daerah dimana ketika tegangan hampir konstan baja mengalami regangan yang besar. Pada daerah ini juga menunjukkan tingkat daktilitas material baja.
5. Daerah diantara ϵ_{sh} dan ϵ_u dinamakan daerah penguatan regangan (strain – hardening). Pada daerah ini tegangan kembali mengalami kenaikan dengan regangan yang besar melebihi 15 – 20 kali regangan elastis maksimum. Pada daerah ini kemiringan grafik lebih kecil dibandingkan dengan kemiringan pada daerah elastis. Daerah ini dinamakan daerah penguatan regangan hingga baja mencapai tegangan putus.

Dalam perencanaan struktur, diambil sifat mekanik baja dari (SNI 03-1729-2002) sebagai berikut :

Modulus Elastisitas, E	= 200.000 Mpa
Modulus Geser, G	= 80.000 Mpa
Rasio poisson	= 0,30
Koefisien muai panjang, α	= $12 \times 10^{-6}/^{\circ}C$

Berdasarkan (SNI 03-1729-2002) tegangan leleh dan tegangan putus dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut :

Tabel 2.1

Sifat Mekanik Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Maksimum (Mpa)	Tegangan Leleh Minimum (Mpa)	Regangan Minimum (%)
	f_u	f_y	
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 : SNI 03-1729-2002

Definisi daktilitas baja dari rasio antara ϵ_{sh} dan ϵ_u (Kuzmanovic dan William, 1977) :

$$\psi = \frac{\epsilon_{sh}}{\epsilon_y} \quad (2.8)$$

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk memiliki regangan yang besar dari titik dimana material leleh sampai mengalami putus. Nilai daktilitas pada material baja berbeda – beda. Baja mutu tinggi cenderung memiliki nilai daktilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan mutu rendah.

2.2 Jembatan

2.2.1 Umum

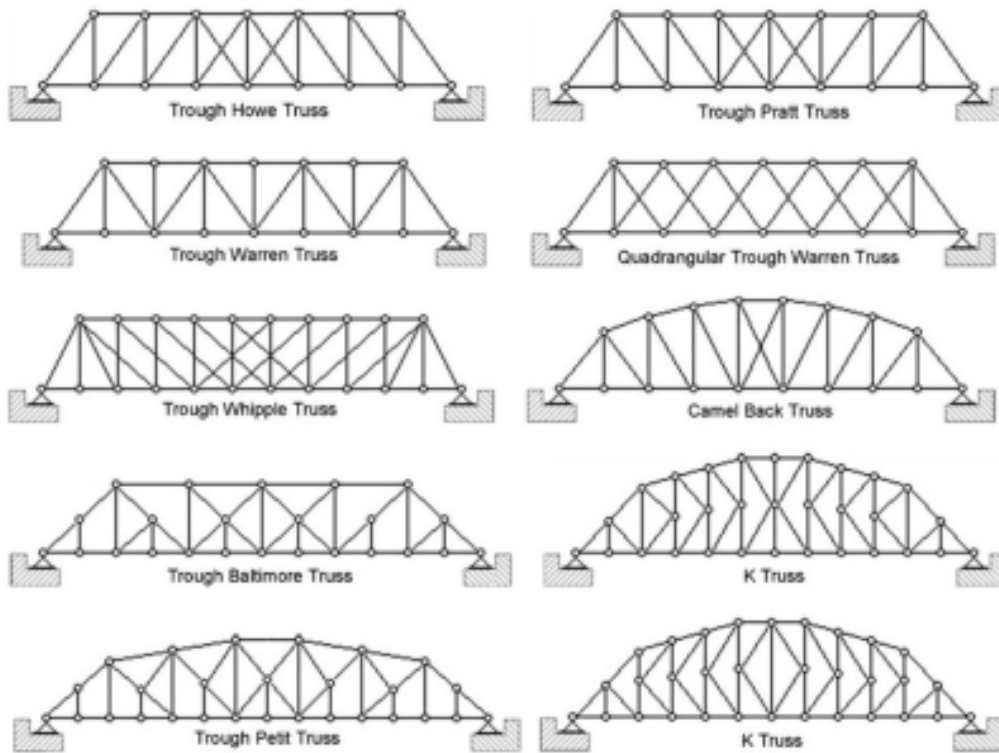
Jembatan merupakan suatu konstruksi yang memungkinkan untuk suatu jalan dapat melewati sungai/saluran air, lembah, atau jalan lain yang memiliki ketinggian lebih rendah. Jembatan juga merupakan salah satu sarana prasarana transportasi yang menghubungkan satu daerah ke daerah lain dikarenakan adanya rintangan, yang berupa sungai, jurang, maupun laut (Ir. H.J. Struyk). Terdapat berbagai macam bentuk jembatan, salah satunya adalah Jembatan Rangka.

2.2.2 Jembatan Rangka

Rangka merupakan struktur yang berasal dari batang – batang baja yang disusun dan dihubungkan sehingga menjadi satu kesatuan stuktur yang kokoh. Jembatan rangka sendiri merupakan jembatan yang terbentuk dari rangka – rangka dan jembatan ini mampu untuk menyalurkan beban ke setiap rangka – rangkanya yang tersusun dari batang tarik dan batang tekan.

Batang tarik merupakan batang yang menerima gaya tarik. Dalam mendesain batang tarik didasarkan pada tegangan ijin batang tarik. Dimana tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan ijin. Batang tekan merupakan batang yang diberi gaya tekan aksial searah dengan panjang batangnya.

Jembatan rangka memiliki beberapa tipe jembatan. Berikut ini merupakan beberapa tipe jembatan rangka yang dapat digunakan :



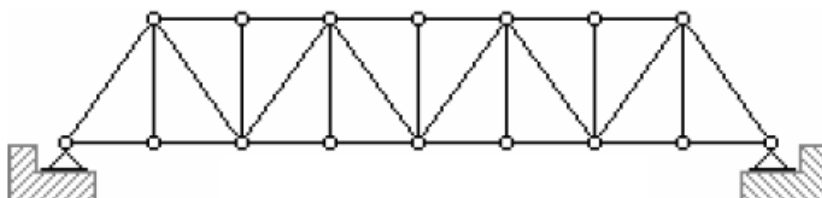
Gambar 2.4 Tipe – tipe jembatan rangka

Sumber : Modul kuliah struktur baja 1, Ir. Thamrin Nasution (2011)

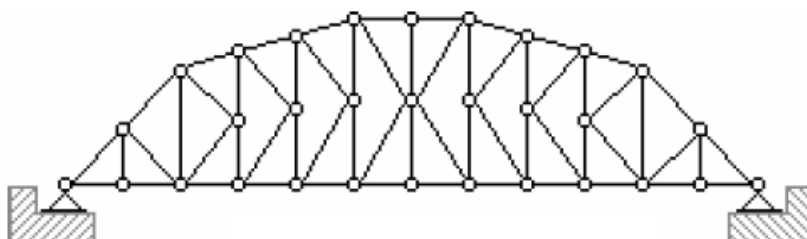
Perbandingan beberapa tipe konfigurasi jembatan ditinjau dari segi berat struktur total dan lendutan jembatan diberikan oleh Prayogi (2014) yang meninjau pengaruh pemberian chamber. Dari penelitian disebutkan bahwa jembatan tipe K-Truss memiliki lendutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jembatan rangka baja lain seperti tipe pratt, howe, dan warren. Sedangkan untuk jembatan rangka tipe pratt, howe, dan warren yang sering kita temui di wilayah Indonesia adalah tipe *warren*.

Jembatan rangka *K-Truss* adalah jembatan dengan tipe rangka yang berbentuk seperti huruf K, bentuk ini dapat mengurangi tekanan pada batang vertikal. Dan juga telah disebutkan di atas bahwa jembatan tipe *K-Truss* memiliki lendutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jembatan rangka baja lain seperti tipe pratt, howe, dan warren. Akan tetapi tipe jembatan ini termasuk tipe jembatan yang memiliki struktur yang rumit. Dikarenakan jembatan tipe ini membutuhkan adanya batang tambahan sehingga berakibat pada berat total jembatan, jembatan ini memiliki berat total yang lebih besar dibandingkan dengan jembatan tipe lain.

Akan tetapi jembatan *K-Truss* jarang kita temui di Indonesia. Lain halnya dengan jembatan tipe *warren*. Jembatan *warren* banyak ditemui di seluruh wilayah Indonesia. Jembatan tipe *warren* dapat memaksimalkan kinerja tiap – tiap batang jembatan dikarenakan penyaluran beban dapat merata keseluruhan rangka jembatan. Untuk pelaksanaannya pun tidak terlalu rumit karena merupakan jembatan dengan struktur yang sederhana. Akan tetapi jembatan tipe ini tidak dapat bekerja dengan baik ketika mendapat beban terpusat. Jembatan tipe *warren* baik digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang.



Gambar 2.5 Jembatan rangka Tipe – Warren

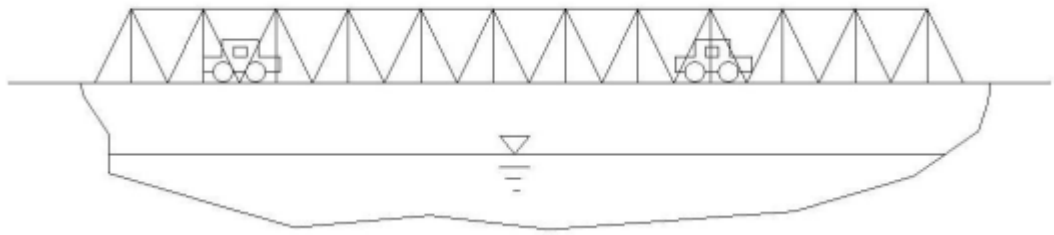


Gambar 2.6 Jembatan rangka Tipe K – Truss

Berdasarkan letak lantainya, jembatan rangka dibagi menjadi beberapa bagian :

1. Jembatan lantai bawah

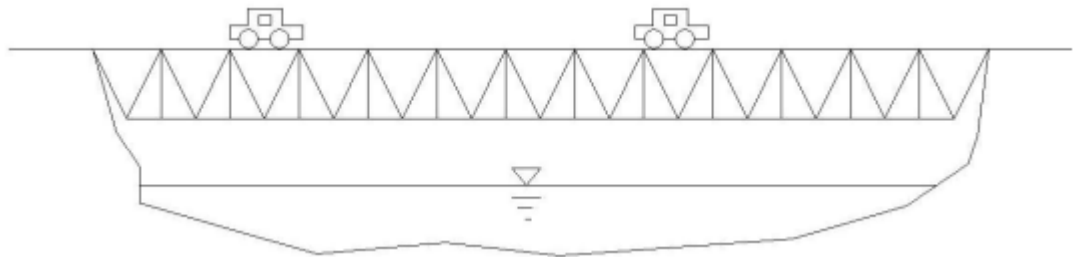
Jembatan lantai bawah adalah dimana struktur rangka utama jembatan berada di atas lantai jembatan. Sehingga, batang bagian atas jembatan mengalami tekan dan batang bawah jembatan mengalami tarik. Pada umumnya jembatan tipe ini memerlukan pengaku diatas dan dibawah yang juga bisa digunakan sebagai ikatan angin. Jembatan ini cocok untuk perairan dengan muka air yang tinggi karena pada bagian bawah jembatan tidak ada struktur rangka yang menghalangi perairan



Gambar 2.7 Jembatan lantai atas

2. Jembatan lantai atas

Jembatan tipe ini struktur rangka utama berada di bawah jembatan. Sehingga jembatan ini cocok untuk digunakan pada jembatan dengan kendaraan berat. Karena tidak ada rangka pada bagian atas lantai jembatan sehingga tidak menghalangi pergerakan kendaraan. Jembatan ini cocok untuk perairan dengan muka air yang rendah, sebab pada bagian bawah jembatan terhalangi struktur rangka jembatan.



Gambar 2.8 Jembatan lantai bawah

2.2.3 Bagian – bagian jembatan rangka

Berikut ini merupakan bagian – bagian jembatan beserta fungsi dan manfaatnya :

2.2.3.1 Konstruksi bangunan atas (superstructure)

Struktur atas jembatan merupakan struktur yang menerima beban jembatan secara langsung seperti berat sendiri dari struktur, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas, gaya rem, dan beban pejalan kaki. Struktur atas terdiri dari :

a. Trotoar

Trotoar merupakan bagian dari jembatan yang digunakan sebagai daerah bagi pejalan kaki yang ada pada bagian kanan dan kiri jembatan. Trotoar memiliki ketinggian yang lebih tinggi dibanding lantai kendaraan. Trotoar terdiri dari :

- Sandaran dan tiang sandaran
- Slab lantai trotar

b. Lantai kendaraan dan perkerasan

Lantai kendaraan merupakan bagian jembatan yang menerima langsung beban berjalan pada jembatan. Dalam perencanaan memperhitungkan beban hidup / beban (T) yang berasal dari tekanan roda kendaraan. Dan juga memperhitungkan beban (D) beban sendiri lantai kendaraan.

c. Balok memanjang

Balok ini memiliki fungsi untuk menyalurkan beban mati (D) dan beban hidup (T), ke balok melintang.

d. Balok melintang

Balok ini menerima beban dari balok memanjang dan meneruskan ke rangka batang

e. Ikatan angin

Ikatan angin berfungsi untuk menerima beban angin dan menyalurkan ke struktur rangka jembatan.

f. Rangka jembatan

Rangka merupakan struktur induk dari jembatan rangka. Rangka dibagi menjadi dua yaitu :

- Rangka diagonal
- Rangka vertikal

g. Pengaku

h. Sambungan

Sambungan berfungsi untuk menggabungkan antar satu batang dengan batang yang lain sehingga terbentuk struktur rangka.

i. Perletakan rol dan sendi

Perletakan berfungsi untuk menyalurkan beban jembatan ke seluruh struktur jembatan.

2.2.3.2 Konstruksi bangunan bawah (substructure)

Struktur bawah jembatan menerima seluruh beban yang berasal dari struktur atas jembatan dan juga beban lain dari tekanan tanah, aliran air, dan gesekan pada tumpuan lalu diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar. Struktur bawah terdiri dari :

- Pangkal jembatan (abutment)
Bagian jembatan yang memikul jembatan tepat pada kedua ujungnya, lalu beban dari struktur atas jembatan tersebut diteruskan ke pondasi.
- Pilar jembatan (pier)
Pilar merupakan bagian jembatan yang berada pada tengah bentang atau berada diantara ujung jembatan. Berfungsi untuk memagi beban jembatan dan mempendek bentang jembatan.
- Pondasi jembatan
Pondasi berfungsi untuk meneruskan keseluruhan beban baik yang berasal dari struktur atas jembatan dan bawah jembatan lalu pondasi meneruskan beban – beban tersebut ke tanah dasar. Pada umumnya pondasi pada jembatan rangka menggunakan tiang pancang atau bor pile.

2.2.4 Pembebanan jembatan

Berikut ini merupakan analisis pembebanan dalam perhitungan struktur jembatan menurut Peraturan Pembebanan Jembatan SNI T-02-2005. Pembebanan dikelompokkan dalam beberapa jenis beban yaitu :

- a. Beban Sendiri
- b. Beban Hidup
- c. Beban Lalu Lintas
- d. Beban Angin
- e. Beban Gempa

2.2.4.1 Beban sendiri

Beban sendiri adalah semua beban yang berasal dari tiap – tiap bagian jembatan baik bersifat struktural maupun yang non – struktural. Didalam perencanaan jembatan, seluruh beban – beban dihitung menjadi satu – kesatuan beban terfaktor.

Tabel 2.2

Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
			Ku MS	
Ks MS			BIASA	TERKURANGI
TETAP	Baja, alumunium	1,0	1,1	0,9
	Beton pratekan	1,0	1,2	0,85
	Beton di cor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Berat sendiri pada jembatan juga termasuk berat isi dari material pembuatan jembatan dan bagian jembatan yang termasuk elemen struktural dijumlahkan dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.3

Berat Isi Untuk Beban Mati (kN/m³)

No.	Bahan	Berat / Satuan Isi (kN/m³)	Kecepatan (Kg/m³)	Massa
1	Campuran alumunium	26,7	2720	
2	Lapisan permukaan aspal	22,0	2240	
3	Besi tuang	71,0	7200	
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1760	
5	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2320	
6	Aspal beton	22,0	2240	
7	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000	
8	Beton	22,0 – 25,0	2240 – 2560	
9	Beton prategang	25,0 – 26,0	2560 – 2840	
10	Beton bertulang	23,5 – 25,5	2400 – 2600	
11	Timbal	111	11400	
12	Lempung lepas	12,5	1280	
13	Batu pasangan	23,5	2400	
14	Neoprin	11,3	1150	
15	Pasir kering	15,7 -17,2	1600 – 1760	
16	Pasir Basah	18,0 – 18,8	1840 – 1920	
17	Lumpur lunak	17,2	1760	
18	Baja	77,0	7850	
19	Kayu (ringan)	7,8	800	
20	Kayu (keras)	11,0	1120	
21	Air murni	9,8	1000	
22	Air garam	10,0	1025	
23	Besi tempa	75,5	7680	

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

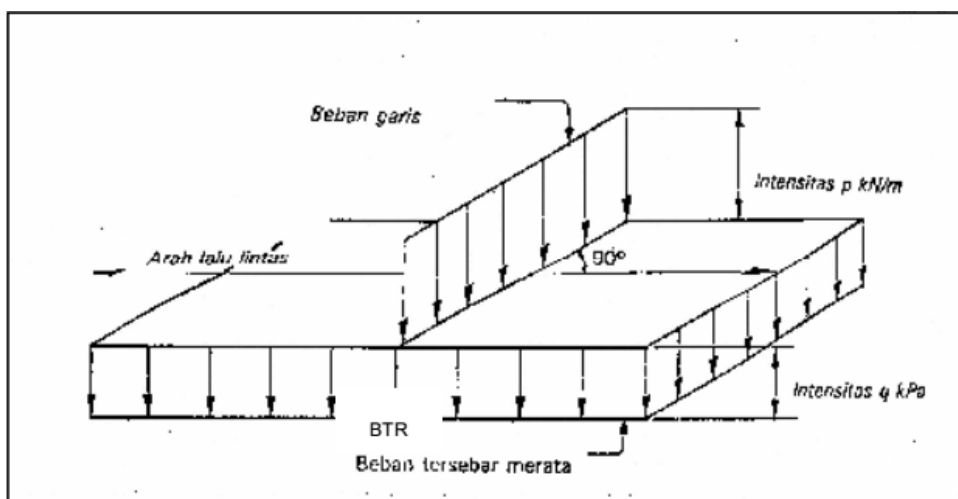
2.2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban bergerak yang melewati jembatan, termasuk pejalan kaki yang melintas pada jembatan tersebut.

2.2.4.3 Beban Lalu Lintas

Dalam perencanaan jembatan berdasarkan beban lalu lintas terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” adalah beban lajur lalu lintas yang berada pada elemen struktur pendukung seperti gelagar induk, gelagar melintang, dan gelagar memanjang. Beban lalu lintas yang diperhitungkan terdiri dari Beban Lajur Merata dan Beban Lajur yang saling berkerja sama dengan arah yang sejajar dengan bentang jembatan seperti pada gambar.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas jembatan rencana. Secara umum, beban “D” akan menjadi penentu dalam penentuan perhitungan beban jembatan yang memiliki bentang sedang sampai panjang. Sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.



Gambar 2.9 Beban lajur “D”

Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005

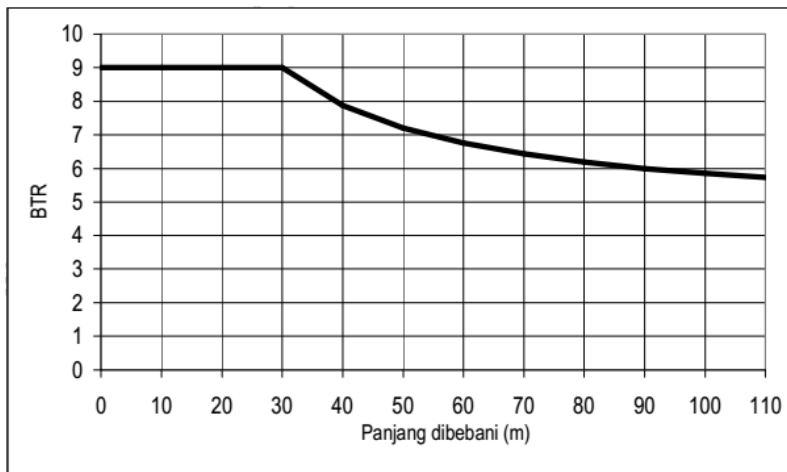
Susunan beban “D” terdiri dari beban merata dan beban garis. Dimana beban merata memiliki intensitas $q = \text{kPa}$, dimana besar q tergantung pada panjang bentang bagian jembatan yang dibebani :

Untuk $L \leq 30 \text{ m}$ $q = 9 \text{ kPa}$

Untuk $L > 30 \text{ m}$ $q = 9 [0,5 + 15/L] \text{ kPa}$

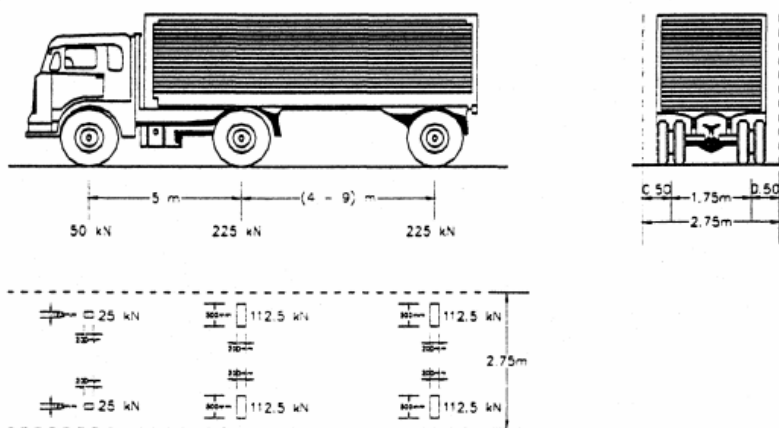
Sedangkan, untuk beban garis memiliki intensitas $P = \text{Kn/m}$ adalah $P = 49,0 \text{ Kn/m}$.

Dan untuk beban merata juga dapat ditentukan melalui grafik berikut :



Gambar 2.10 Beban “D” BTR vs panjang yang dibebeani
Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005

Beban “T” suatu beban yang disusun berdasarkan beban suatu kendaraan berat dengan 3 roda yang ditempatkan pada beberapa posisi jalur rencana seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 2.11 Beban truk “T” (500kN)
Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005

2.2.4.4 Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang diperhitungkan pada gelagar induk. Beban angin adalah tekanan dari tiupan angin yang bekerja tegak lurus bidang struktur dan bidang lalu lintas di sepanjang bentang jembatan. Luas ekuivalen diambil sebagai luas pada bidang pengaruh pada struktur jembatan dalam elevasi proyeksi tegak lurus. Luas ekuivalen pada jembatan rangka diambil sebesar 30 % dari luas yang dibatasi unsur rangka terluar.

2.2.4.5 Beban Gempa

Pada struktur sederhana, pengaruh gempa dapat dianalisis menggunakan statik ekuivalen. Untuk struktur yang rumit misal jembatan maka pengaruh beban gempa terhadap struktur dapat dianalisis menggunakan analisis dinamis. Pengaruh gempa ditinjau hanya pada kondisi batas ultimit saja. Untuk beban rencana minimum dapat diperoleh dari rumus berikut :

$$T_{EQ} = \frac{K_h}{W_T} \quad (2.9)$$

Dimana,

$$K_h = C \cdot S \quad (2.10)$$

Keterangan :

T_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (KN)

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien geser dasar untuk daerah sesuai waktu dan kondisi setempat

I = Faktor kepentingan

S = Faktor tipe bangunan

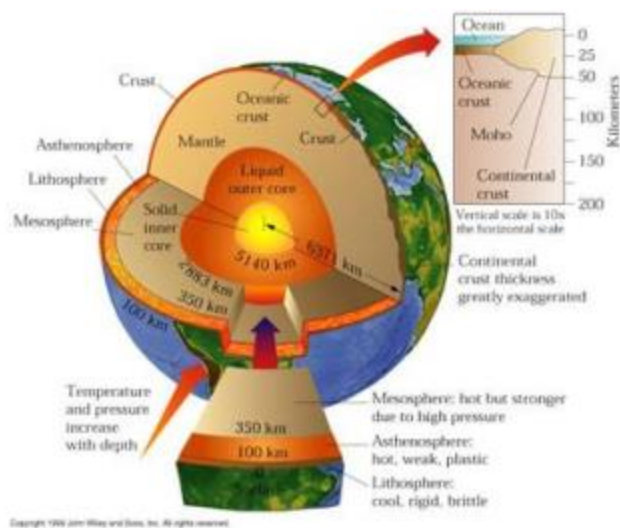
W_T = Berat total nominal bangunan. Beban mati + beban mati tambahan (KN)

2.3 Teori gempa bumi

2.3.1 Umum

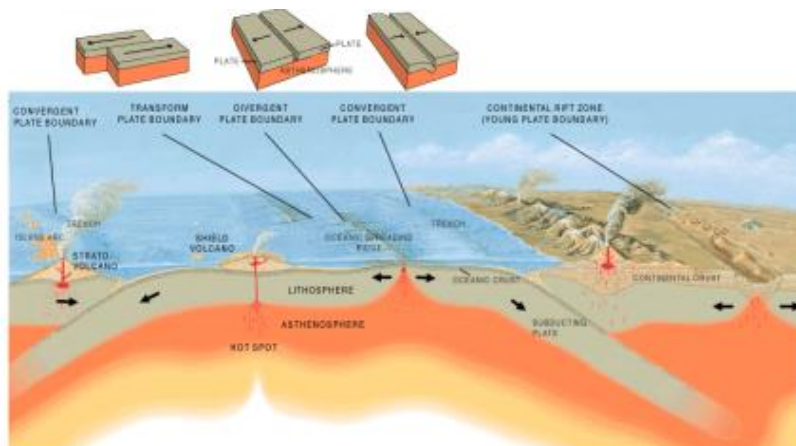
Gempa bumi merupakan peristiwa bumi bergetar akibat adanya pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba – tiba dan ditandai dengan adanya patahan pada lapisan batuan yang berada pada kerak bumi. Secara keseluruhan energi yang menjadi penyebab terjadinya gempa bumi berasal dari pergerakan lempeng – lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan menyebar kesegala arah berbentuk gelombang gempa bumi sampai ke permukaan bumi. Kerak bumi terbagi-bagi menjadi beberapa bagian yang disebut lempeng. Lempeng – lempeng ini mampu untuk bergerak dengan arah dan kecepatan yang tidak seragam.

Pergerakan lempeng terjadi karena adanya arus konveksi. Lapisan atas bumi terdiri dari lithosfer dan asthenosfer. Lithosfer memiliki densitas yang relatif lebih besar, mudah untuk patah, dan bersifat kaku. Asthenosfer memiliki densitas yang relatif lebih kecil dibanding dengan lithosfer, suhunya lebih tinggi dan kental. Bumi berputar secara terus-menerus sehingga akibatnya timbul arus pada asthenosfer yang memiliki suhu tinggi. Arus ini merupakan arus konveksi yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan yang rendah. Gerakan dari asthenosfer ini mengakibatkan lithosfer yang berbentuk lempeng – lempeng ikut bergerak.

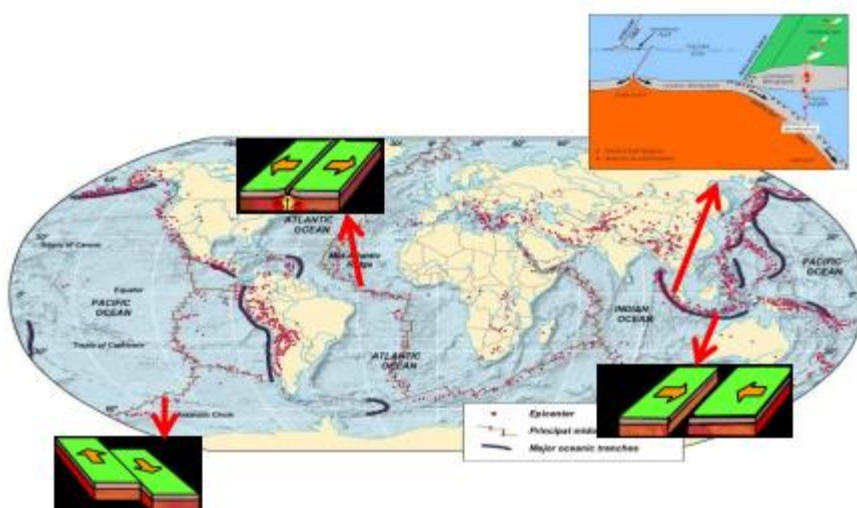


Gambar 2.12 Struktur lapisan bumi
Sumber : www.bmkg.go.id , 2015

Terdapat tiga jenis pergerakan lempeng terhadap lempeng lainnya, yaitu apabila kedua lempeng saling menjauhi (spreading), saling mendekati (collision) dan saling bergeseran (transform).



Gambar 2.13 Ilustrasi yang menggambarkan beberapa jenis batas lempeng
Sumber : USGS (2001)



Gambar 2.14 Posisi perbatasan lempeng pada peta dunia
 Sumber : BMKG (2001)

Apabila dua lempeng saling bertabrakan maka batas di antara dua lempeng tersebut akan terjadi tegangan (stress). Tegangan ini akan berlangsung secara terus – menerus hingga melampaui kekuatan dari lapisan kerak bumi itu sendiri. Pada daerah terlemah kerak bumi akan mudah untuk mengalami patahan. Kulit bumi yang telah patah akan berusaha untuk kembali ke posisi semula dengan melepaskan energinya. Peristiwa pelepasan energi yang disebut dengan gempa bumi.

2.3.2 Penyebab gempa bumi

Gempa bumi adalah getaran yang ada pada lapisan kerak bumi. Berdasarkan garis besar gempa bumi dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu :

1. Gempa bumi vulkanik

Gempa bumi vulkanik terjadi karena adanya pergerakan magma sebelum meletusnya gunung api. Ketika keaktifan gunung api semakin meningkat sehingga mengakibatkan timbulnya ledakan bahkan terjadinya gempa bumi.

2. Gempa bumi tektonik

Gempa bumi tektonik ini merupakan jenis gempa bumi yang sering terjadi. Gempa ini disebabkan oleh adanya bergesernya lempeng – lempeng tektonik dengan tiba – tiba sehingga mengakibatkan menyebar dan merambatnya gelombang seismik yang dapat menimbulkan kerusakan yang dahsyat bahkan dapat mengakibatkan tsunami. Gempa bumi tektonik biasanya getarannya jauh lebih kuat jika dibandingkan dengan

jenis gempa lain. Oleh karena itu gempa bumi tektonik sering mengakibatkan kerusakan di permukaan bumi dan membahayakan banyak orang. Besarnya kerusakan bergantung pada besarnya getaran yang mencapai permukaan bumi.

3. Gempa bumi runtuhan

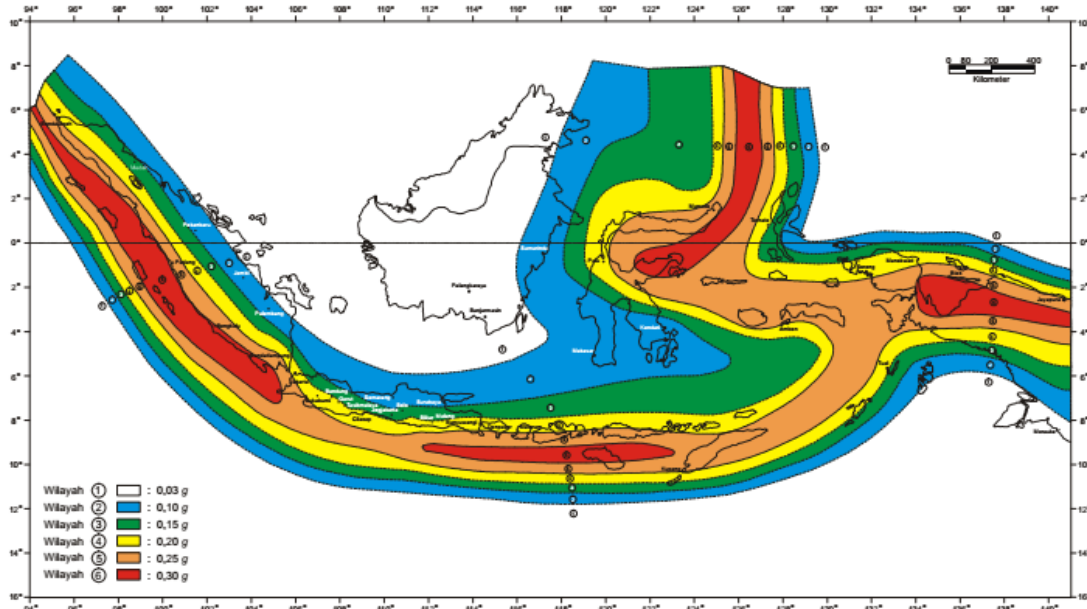
Gempa bumi ini disebabkan akibat adanya reruntuhan baik diatas permukaan maupun dibawah permukaan bumi. Gempa ini biasanya terjadi di daerah kapur dan pertambangan.

4. Gempa bumi buatan

Gempa bumi buatan merupakan gempa yang terjadi akibat aktivitas manusia seperti peledakan bom, dinamit, ataupun nuklir.

2.3.3 Wilayah Gempa

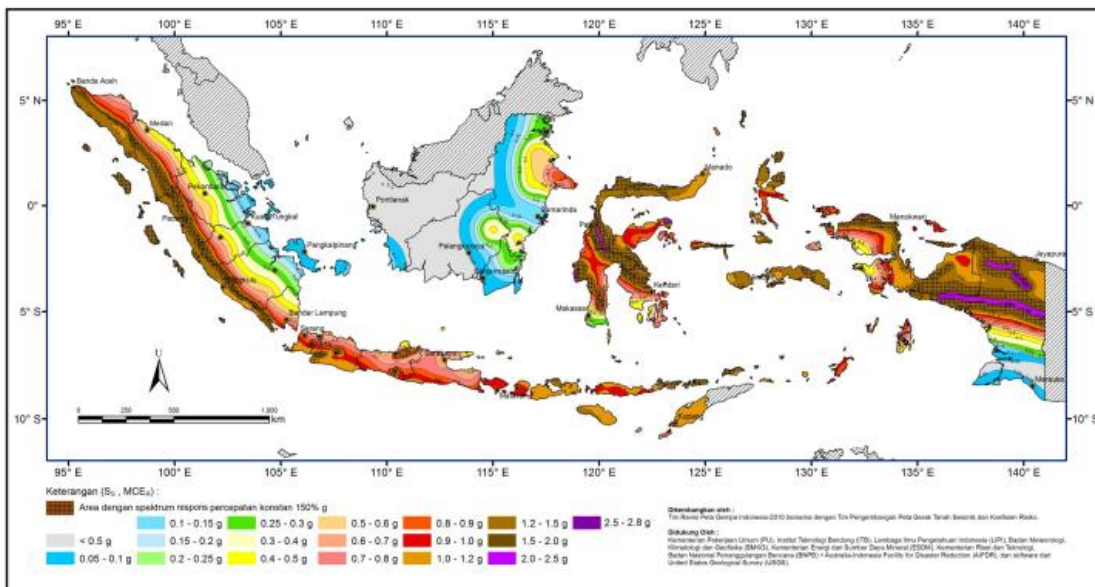
Indonesia terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti pada gambar 2.15. Wilayah gempa 1 merupakan wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 merupakan wilayah dengan kegempaan paling tinggi. (SNI 03-1726-2002 pasal 4.7).



Gambar 2.15 Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun

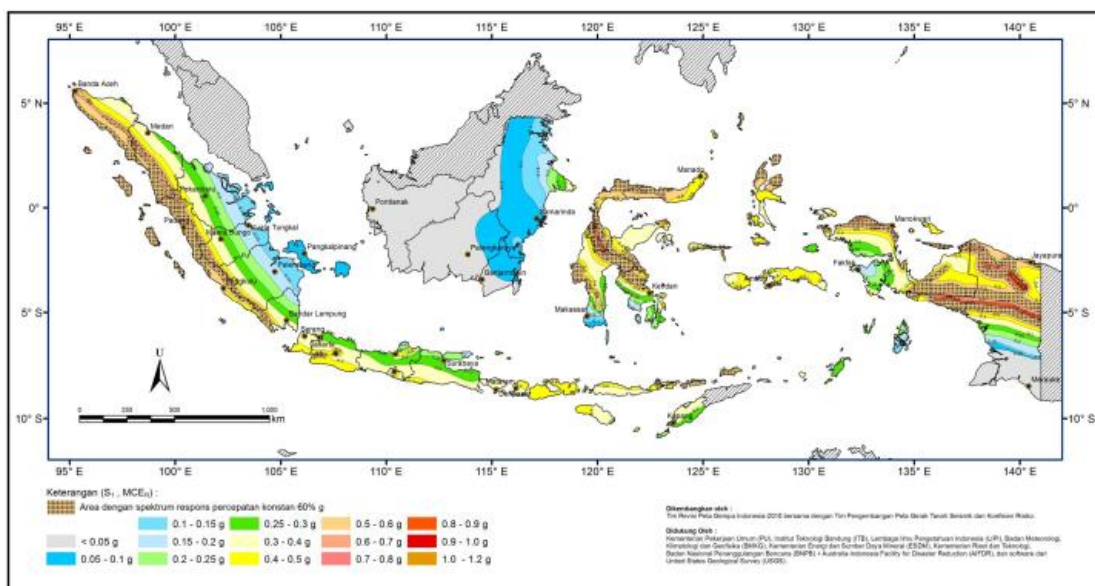
Sumber : SNI 03-1726-2002

Wilayah gempa juga dapat dilihat berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Terlihat pada gambar 0.0 dan 0.0. (SNI 03-1726-2012 pasal 14).



Gambar 2.16 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R) kelas situs SB

Sumber : SNI 03-1726-2012



Gambar 2.17 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R) kelas situs SB

Sumber : SNI 03-1726-2012

2.3.4 Ukuran karakteristik gempa

Menurut Clough (1982), Hal yang paling diperhatikan oleh ahli teknik gempa adalah seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan gempa terhadap struktur, pengaruh dalam bentuk tegangan, deformasi, atau jumlah kerusakan yang terjadi. Tingkat kerusakan tentu saja bergantung pada besarnya gempa itu sendiri. Terdapat dua ukuran gempa yang dapat digunakan untuk menunjukkan besarnya gempa, yaitu :

2.3.4.1 Magnitude

Untuk menentukan besarnya gempa yang terjadi maka dapat menggunakan cara *magnitude* atau dapat disebut magnitudo gempa. Magnitudo gempa adalah bentuk kuantifikasi terhadap terjadinya gempa agar masyarakat dapat mengetahui besar kecilnya gempa. Pada umumnya dipakai empat macam magnitudo gempa.

Tabel 2.4

Jenis – Jenis Magnitudo Gempa

No.	Nama	Definisi	Aplikasi
1.	Local Magnitude M_L	Magnitudo gempa lokal, $T_s \pm 1$ detik <i>wave length</i> 300 m – 6000 m. Untuk jarak episenter $R < 1000$ km.	Untuk gempa dengan $M_L = 3 - 7$.
2.	Surface Magnitude M_S	Magnitudo gempa berdasar <i>surface wave</i> untuk $R > 1000$ km. <i>Wave length</i> 60 km, T-wave ± 20 detik.	Untuk gempa dengan $M_S = 5 - 7,5$
3.	Body Magnitude M_b	Untuk gempa dalam, sehingga berdasar pada <i>P-wave</i> (small strain), <i>T-wave</i> 1-3 detik.	Untuk gempa dengan $M_b = 5 - 7$
4.	Moment Magnitude M_w	Dihitung berdasarkan <i>elastic strain energy released</i> .	Untuk $M_w > 7,5$

Sumber : Buku seismologi teknik & rekayasa kegempaan, Widodo Pawirodikromo (2012)

Berikut merupakan pembahasan dari tiap macam – macam magnitudo gempa :

- Local Magnitude (M_L)

Magnitudo gempa berhubungan dengan pelepasan energi pada saat terjadinya gempa bumi. Kemudian Richter (1935) memberikan notas M sebagai simbol magnitudo gempa yang kemudian dikenal sebagai M skala Richter (*M Richter scales*). Karena gempa yang diukur sifatnya lokal maka magnitudo gempa diberi notasi M_L .

- Surface Magnitude (M_S)

Kramer (1996) mengatakan bahwa *Local Magnitude* tidak dapat membedakan pengaruh jenis gelombang. Pada lokasi yang jauh dari episenter, maka *body waves* menjadi melemah sehingga getaran tanah lebih didominasi oleh *surface waves*.

- Body Magnitude (M_B)

Body Magnitude dihitung berdasarkan gelombang *P-wave*. Magnitude gempa M_B digunakan apabila gempa yang terjadi relatif dalam. Ketika kondisi gelombang permukaan *surface waves* melemah, sebaliknya gelombang *P-wave* menjadi dominan.

- Moment Magnitude (M_W)

Gempa yang diukur dari beberapa lokasi akan menghasilkan hasil magnitudo gempa yang berbeda. Kramer (1996) mengatakan bahwa pengukuran gempa dengan parameter gerakan tanah menjadi kurang maksimal pada gempa-gempa besar jika dibandingkan dengan gempa yang lebih kecil. Hal ini pada umumnya disebut dengan *earthquake magnitude saturation*. *Saturation* adalah kondisi dimana perhitungan magnitudo menjadi kurang teliti. Sehingga perlu dicari parameter lain untuk menentukan magnitudo gempa. Jadi parameter yang dapat digunakan adalah akibat langsung yang disebabkan oleh gempa yaitu geometri dan konfigurasi patahan. Dengan demikian terutama untuk gempa yang skalanya lebih besar maka perhitungannya tidak lagi memakai *wave amplitude* akan tetapi menggunakan besaran *energy released*.

2.3.4.2 Intensitas gempa

Selain menggunakan cara magnitudo gempa, terdapat cara lain untuk menggambarkan seberapa besar gempa yang terjadi yaitu dengan melihat seberapa besar kerusakan akibat gempa. Kemudian cara ini menghasilkan apa yang dimaksud dengan intensitas gempa. Konsep intensitas gempa ini didasarkan pada kejadian langsung di lokasi gempa. Secara umum intensitas gempa merupakan klarifikasi kekuatan guncangan yang didasarkan pada efek terekam dan yang terjadi di lapangan. Klarifikasi tersebut dinyatakan dalam bentuk angka Romawi (I, II, III, IV, V dan seterusnya).

Tabel 2.5
Skala MMI (Modified Mercalli Intensity Scale)

Skala	Keterangan
I	Tidak terasa orang, hanya tercatat oleh pencatat yang peka.
II	Getaran terasa oleh orang yang sedang istirahat, terutama yang berada di lantai dan di atasnya.
III	Benda-benda yang tergantung bergoyang, bergetar ringan.
IV	Getaran seperti truk lewat. Jendela, pintu dan barang pecah belah bergemerincing.
V	Getaran terasa oleh orang di luar gedung, orang tidur terbangun, benda-benda tidak stabil di atas meja terguling atau jatuh, pintu bergerak menutup dan membuka.
VI	Getaran terasa oleh semua orang, banyak orang takut dan keluar rumah, berjalan kaki sulit, kaca jendela pecah, meja dan kursi bergerak.
VII	Sulit berdiri, getaran terasa oleh pengendara motor dan mobil, genteng di atap terlepas.
VIII	Pengemudi mobil terganggu, tembok bangunan retak.
IX	Semua orang panik, tembok bangunan mengalami kerusakan berat, pipa-pipa dalam tanah putus.
X	Sebagian konstruksi portal dan temboknya rusak beserta pondasinya, tanggul dan bendungan rusak berat, rel kereta api bengkok sedikit, banyak terjadi tanah longsor.
XI	Rel kereta api rusak berat, pipa-pipa dalam tanah rusak.
XII	Terjadi kerusakan total, bangunan-bangunan mengalami kerusakan, barang-barang terlempar ke udara.

Sumber: Chen (2000).

Tabel 2.6

Hubungan antara Magnitude dengan Intensitas Gempa

Magnitude (Richter)	Intensitas (MMI)	Pengaruh-pengaruh Tipikal
≤ 2	I-II	Pada umumnya tidak terasa.
3	III	Terasa di dalam rumah, tidak ada kerusakan.
4	IV-V	Terasa oleh banyak orang, barang-barang bergerak, tidak ada kerusakan struktural.
5	VI-VII	Terjadi beberapa kerusakan struktural, seperti retak-retak pada dinding.
6	VII-VIII	Kerusakan menengah, seperti hancurnya dinding.
7	IX-X	Kerusakan besar, seperti runtuhnya bangunan.
≥ 8	XI-XII	Rusak total atau hamper hancur total.

Sumber: Chen (2000).

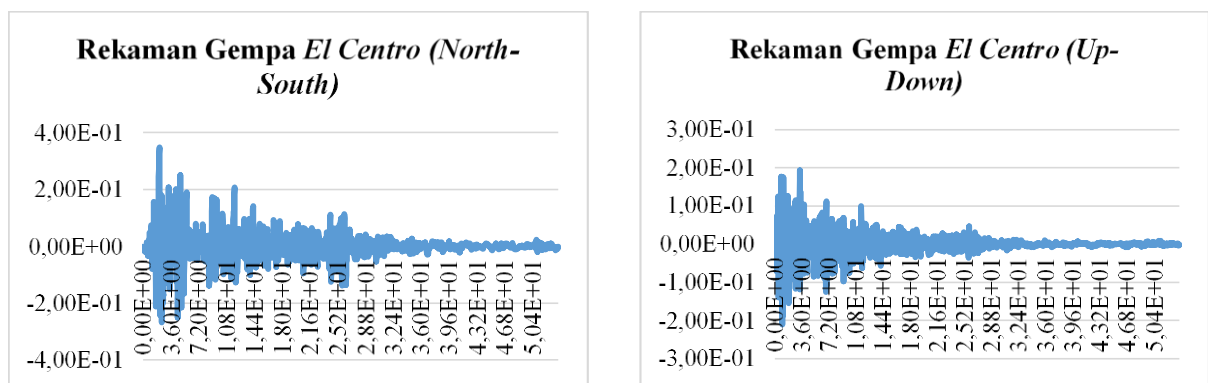
Konsep intensitas gempa yang ditemukan oleh Mallet kemudian digunakan oleh para ahli seismologi sebagai salah satu karakteristik gempa. Kemudian intensitas gempa dijadikan sebagai derajat kerusakan bangunan, kerusakan muka tanah, dan reaksi orang-orang pada saat terjadinya gempa. Dengan berjalannya waktu maka konsep intensitas berkembang sesuai dengan pengetahuan manusia tentang fenomena gempa bumi. Pengukuran intensitas gempa dengan skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) didasarkan pada empat parameter pokok yaitu :

1. Perasaan orang – orang saat terjadinya gempa
2. Respon dari suatu objek akibat guncangan dari gempa
3. Kerusakan bangunan di lapangan akibat gempa
4. Kerusakan lingkungan akibat terjadinya gempa

2.4 Analisis Dinamis

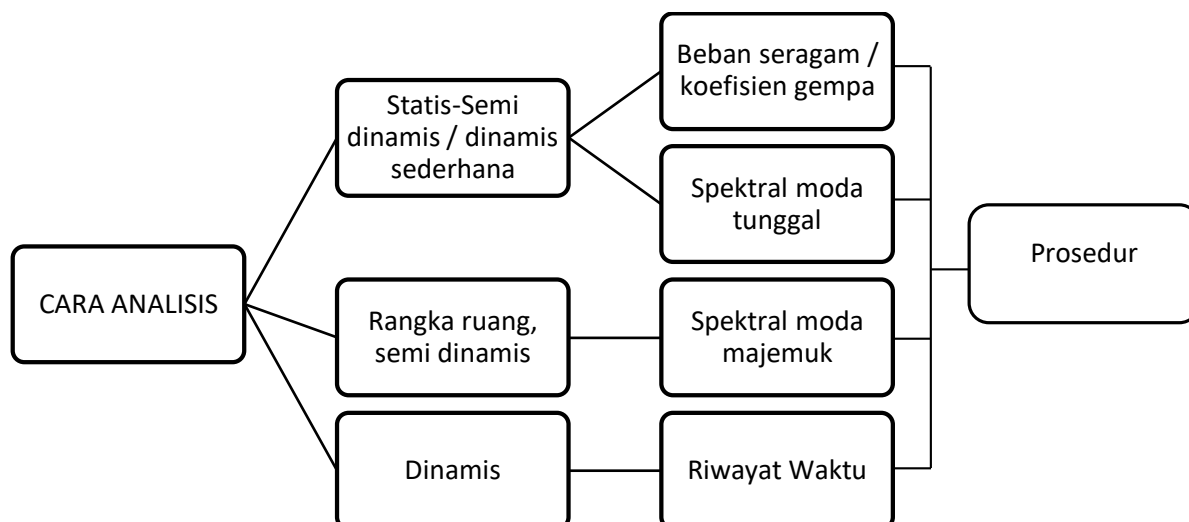
2.4.1 Umum

Dalam analisis bangunan akibat gempa dapat menggunakan statik maupun dinamis. Analisis statik yang umumnya digunakan yaitu analisis gaya lateral ekuivalen. Analisis statik ekuivalen adalah dimana beban gempa dimodelkan sebagai beban terpusat pada tiap-tiap lantai bangunan / struktur gedung, dimana beban gempa berkerja secara statis. Sehingga pada umumnya analisis statik ekuivalen digunakan untuk struktur yang sederhana seperti bangunan gedung. Sedangkan untuk analisis dinamis terbagi menjadi dua bagian yaitu analisis respons spektrum dan analisis riwayat waktu dengan respons seismik (*time-history*). Analisis dinamis didasarkan pada teori mekanika vibrasi dengan memperhitungkan faktor simpangan, kecepatan dan percepatan suatu bangunan sebagai fungsi waktu. Berdasarkan SNI-1725-2012, terdapat banyak batasan yang digunakan dalam analisis statis ekuivalen. Batasan – batasan ini digunakan karena hasil analisis ekuivalen kurang mendekati kondisi sebenarnya. Menurut Widodo (2001) analisis riwayat waktu (*time-history*) adalah metode yang paling mendekati dan dapat meramalkan respons parameter struktur akibat beban gempa. Sehingga perlu adanya analisis dinamis untuk dapat mendapatkan respons bangunan yang lebih mendekati respons struktur pada kondisi yang sebenarnya ketika terjadi gempa.



Gambar 2.18 Rekaman gempa El Centro di California
Sumber : El Centro (1979)

Analisis dinamis juga diperlukan sebagai verifikasi, apabila perilaku struktur gempa tidak diwakili sepenuhnya oleh analisis statis dan semi dinamis.



Gambar 2.19 Prosedur analisis tahan gempa
Sumber : Pd-T-04-2004-B

Dalam analisis dinamis untuk jembatan perlu mempertimbangkan beberapa hal yaitu :

- Bentang utama lebih dari 200 m
- Jembatan fleksibel dengan periode panjang yang lebih dari 1,5 detik
- Tinggi pilar jembatan lebih dari 30 m
- Jembatan pelengkung dengan tipe rantai di atas, struktur kabel (cable-stayed), jembatan gantung, dan jembatan yang menggunakan isolasi dasar.

2.4.2 Analisa Nilai Eigen

Sebelum melakukan analisis dinamis perlu dilakukan analisa nilai eigen value. Analisa nilai eigen menghasilkan bentuk ragam getaran bebas tanpa redaman dan frekuensi dari sistem. Dari ragam getaran tersebut bisa dilihat perilaku suatu struktur ketika mengalami gaya gempa. Kemudian setiap mode yang dominan dianalisis untuk mengetahui karakteristik dinamis yang utama pada struktur tersebut.

Persamaan gerak untuk keseimbangan dinamis:

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K] u(t) = P(t) \quad (2.11)$$

Dimana $[M]$, $[C]$, $[K]$ berturut –turut adalah matriks yang lebih kompleks.

Nilai-nilai *Eigen* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$[K - \omega^2 M] \Phi = 0 \quad (2.12)$$

Analisa nilai eigen bertujuan untuk mengetahui nilai *damping ratio* untuk input analisis dinamis struktur. Untuk perhitungan koefisien α dan β yang akan dipakai pada analisis dinamis adalah sebagai berikut:

Adapun beberapa parameter yang mempengaruhi respon dinamik struktur, antara lain:

a. Periode getar

Periode getar adalah waktu yang diperlukan struktur untuk melakukan satu siklus getaran harmonik sederhana dalam satu mode getarnya. Hubungan antara periode getar dan frekuensi alami ω_n dan frekuensi alami cyclic f_n adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.13)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.14)$$

b. Mode getar

c. Redaman

Menurut Chopra (1995), redaman merupakan proses dimana getaran bebas berkurang amplitudonya. Pada redaman, energi dari system yang bergetar terdisipasi melalui berbagai macam mekanisme. Newmark dan Hall (1982) menentukan rekomendasi nilai rasio redaman untuk beberapa tipe dan kondisi struktur.

Tabel 2.7

Tabel Rekomendasi Nilai Rasio Redaman untuk Beberapa Tipe dan Kondisi Struktur

1.	Piping	0,5 %
2.	Welded steel	1,0 %
3.	Structural steel building frames	2,0 %
4.	Prestressed concrete	2,0 %
5.	Reinforced concrete	5,0 %

Sumber : J.D. Stevenson (1980)

2.4.3 Prinsip Analisis *Time History*

Analisis riwayat waktu merupakan metode analisis gempa yang lebih mendekati dengan perancangan struktur pada kondisi yang sebenarnya, dimana metode ini dengan mengambil nilai percepatan tanah maksimum dari beberapa catatan respons gempa pada setiap interval waktu.

Dalam analisis riwayat waktu perlu adanya data gempa besar tipikal yang berada di sekitar daerah lokasi jembatan. Gerakan gempa dibentuk berupa gelombang akselerasi dengan amplitudo yang dimodifikasi berdasarkan wilayah frekuensi gempa (*frequency zone*) sehingga dapat sesuai dengan akselerasi standar respon spektra. Gempa tipikal harus dipilih berdasarkan pada kondisi tanah dan topografi yang serupa dengan lokasi jembatan, sehingga dapat dilakukan modifikasi amplitudo.

Gerakan gempa masukan di permukaan tanah dimodifikasi dengan rumus berikut :

$$S = c_z \cdot c_D \cdot S_o \quad (2.15)$$

Keterangan :

- S = Akselerasi gerakan gempa masukan
- c_z = Faktor modifikasi wilayah gempa
- c_D = Faktor modifikasi nilai redaman
- S_o = Akselerasi standar respon spektra

2.5 Software ABAQUS

Software ABAQUS Student Edition merupakan penyedia program yang dapat memodelkan benda yang akan dianalisis dalam bentuk CAE. Program tersebut berfungsi sebagai desain model yang kekuatan dari materialnya dapat dimasukkan dari data-data material yang ada. Seperti berbagai program komputer yang ada di pasaran, *software ABAQUS Student Edition* memiliki CAD / CAM/ CAE yang berfungsi sebagai program untuk analisis elastis dan plastis. Keunggulan *ABAQUS Student Edition* dibandingkan dengan program lainnya yang sejenis adalah menu yang ada pada *ABAQUS Student Edition* lengkap pada *part modulnya*. Selain itu, kita juga bisa melakukan pengujian terhadap material dengan memasukkan data material secara manual di dalam *input file*. Pengembangan bahasa program dalam *ABAQUS Student Edition* membuat para desainer lebih mudah dalam menentukan metode yang digunakan untuk melakukan proses simulasi dan analisis (*ABAQUS Student Edition User manual*, 2003).

Kemungkinan terjadi kegagalan dan kesalahan selama proses *running* dari *input file* yang sudah dimasukkan biasanya disebabkan karena kesalahan dalam meng-*input* data pada *module ABAQUS Student Edition*. Analisis *ABAQUS Student Edition* secara lengkap terdiri dari tiga tahap, yaitu:

1. Proses Awal (*Preprocessing*).

Bagian ini merupakan langkah awal untuk menentukan model yang akan dilakukan analisis. Pemodelan part dilakukan dalam software *ABAQUS Student Edition* dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, dapat menggunakan koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum dilakukan simulasi, terlebih dahulu harus memeriksa semua *keyword* dan parameter yang digunakan agar tidak terjadi kesalahan. Selain itu, urutan dalam memasukkan data harus diperhatikan dengan benar serta tidak lupa memastikan satuan yang digunakan dalam input data.

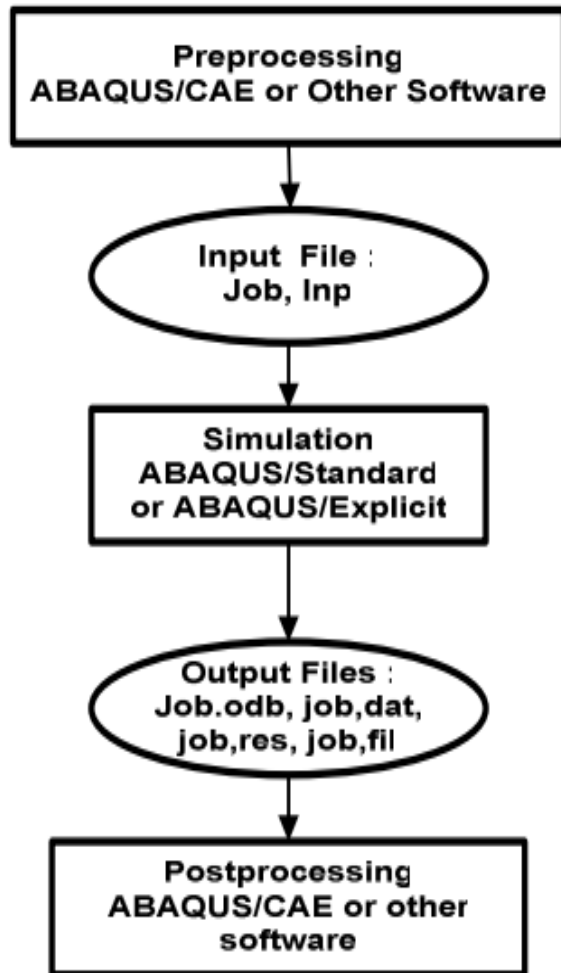
2. Simulasi (*Simulation*).

Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses merupakan tahap dimana program *ABAQUS Student Edition* memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model.

3. Proses Akhir (*Postprocessing*)

Pada proses ini dapat diambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai berupa perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

Apabila dibentuk menjadi sebuah diagram alir, maka analisis dalam *ABAQUS Student Edition* sebagai berikut:



Gambar 2.20 Diagram Aliran Proses Running
Sumber: ABAQUS *Student Edition* Analysis User's Manual 6.9.

Dengan mengikuti alur diagram di atas suatu permasalahan dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Sebagai suatu program untuk desain dan analisis numerik, *ABAQUS Student Edition* dapat bekerja pada daerah elastis dan plastis dengan hasil tampilan sebuah grafik yang berupa diagram *linier-non linier* lengkap.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)