

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Penelitian mengenai struktur telah banyak dilakukan dalam bidang ilmu teknik sipil. Salah satunya adalah struktur jembatan yang menjadi objek penelitian sebagian besar digunakan untuk penunjang dan pendukung kelancaran transportasi. Tema penelitian tersebut dilakukan dengan analisis struktur terhadap pengaruh aktivitas kegempaan serta mengevaluasinya.

##### **2.2.1. Penelitian Terdahulu**

Setyowulan, dkk. (2016) melakukan penelitian pada jembatan di Jepang. Penelitian ini menginvestigasi pengaruh aktivitas kegempaan terhadap penggunaan girder beton untuk meminimalisir tumbukan yang terjadi antara girder dengan girder maupun girder dengan struktur abutment. Pemodelan dan analisis pada penelitian ini menggunakan *software* ABAQUS dengan membandingkan empat bentuk *wing wall* abutment yang berbeda pada jembatan. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan perbedaan bentuk *wing wall* dapat mengurangi *displacement* pada struktur abutment.

Wilches, dkk. (2019) meneliti tentang perbandingan peraturan-peraturan gempa yang berkaitan dengan perancangan jembatan. Penelitian ini berdasarkan runtuhnya (*collapse*) sebagian jembatan di Chile akibat gempa Maule pada tahun 2010. Penelitian ini membandingkan analisa peraturan kriteria desain jembatan sebelum dan sesudah terjadi gempa Maule pada tahun 2010. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan meningkatnya ketahanan struktur jembatan dengan penggunaan peraturan yang baru. Hal ini dikarenakan penambahan elemen struktur pada jembatan sangat berpengaruh terhadap ketahanan akibat adanya gempa.

Simos, dkk. (2018) memaparkan penelitian berdasarkan jarak lokasi respon gempa dan dampaknya terhadap struktur jembatan Konitsa di Yunani. Jenis jembatan tersebut merupakan pasangan batu yang didesain melingkar. Lokasi jembatan berada pada lempeng patahan aktif Konitsa. Penelitian ini dengan pemodelan menggunakan *software*. Analisis menggunakan catatan gempa dengan susunan

batuan yang sama tahun 1996 yang terjadi pada jarak 1,5 km dari lokasi jembatan. Hasil dari penelitian ini memaparkan gempa dengan lokasi jauh lebih berpotensi merusak dari pada gempa lokasi dekat dengan patahan tersebut.

Stefanidou, dkk. (2017) melakukan analisis tentang interaksi pergerakan tanah pada struktur jembatan akibat gempa. Interaksi antara tanah dasar pondasi dan tanah timbunan yang ditinjau dalam penelitian tersebut dilakukan dengan pemodelan struktur jembatan dengan menggunakan *software OPENSEES Matlab*. Hasil pemodelan interaksi tanah dengan struktur saat terjadi gempa mempunyai nilai 25-30% untuk merusak abutment jembatan.

Wang, dkk. (2018) melakukan penelitian mengenai penilaian pondasi jembatan Samoa terhadap aktivitas kegempaan. Analisa pada penelitian ini dengan *Finite Element (FE)* dibantu *software SNOPT* menggunakan data nilai percepatan batuan puncak 0.16 g (PGA) saat gempa Ferndale tahun 2010 dan lima kejadian gempa dengan nilai percepatan kurang dari 0.16 g antara tahun 2007-2014. Hasil dari penelitian ini menunjukkan variasi nilai *displacement* pada pondasi tiang jembatan dan perilakunya saat terjadi gempa.

Martin, dkk. (2019) melakukan penelitian terhadap kerentanan jembatan gantung atau suspensi pada saat terjadi gempa dan badai. Perhitungan beban yang diterapkan pada penelitian tersebut berdasarkan bencana yang terjadi saat badai Katrina (2005) dan Sandy (2012) atau gempa Samudra Hindia (2004) dan Tohoku (2011) yang mengakibatkan tsunami. Hasil analisis dari penelitian tersebut menunjukkan informasi gabungan kurva kerentanan terhadap bencana tersebut.

Kaviani, dkk. (2012) melakukan penelitian terhadap perilaku jembatan dengan abutment yang tidak tegak lurus (miring). Objek penelitian ini membandingkan tiga jembatan dengan bentang pendek dan variasi ukuran abutment yang berlokasi di California. Penggunaan tiga percepatan tanah dasar yang berbeda menunjukkan besarnya kemiringan abutment terhadap struktur atasnya mempunyai kemungkinan untuk runtuh (*collapse*).

Liu dan Gao (2018) melakukan penelitian mengenai perilaku *supporting system* dari desain batang penahan akibat gempa. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan di laboratorium dan memodifikasi ketinggian *pier* pada jembatan. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan penambahan ukuran ketinggian *pier* jembatan

sangat mempengaruhi keefektifitas batang penahan terhadap gempa dan menurun jika ketinggian *pier* melebihi 15 m.

Kun, dkk. (2017) melakukan penelitian mengenai tumbukan akibat pengaruh getaran gempa terhadap jembatan. Penelitian tersebut menggunakan pemodelan jembatan yang dibuat dengan skala tertentu di laboratorium. Tinjauan yang dilakukan antara lain pemodelan pergerakan tanah di sekitar abutment jembatan saat terjadi gempa, tumbukan yang terjadi antara girder dengan abutment dan membandingkan tiga model dengan kemiringan sudut tertentu antara *girder* dengan abutment pada waktu yang sama. Hasil penelitian menunjukkan, besarnya sudut pada *girder* dengan abutment mempunyai *displacement* yang tinggi.

Kozak, dkk. (2018) melakukan penelitian tentang pemodelan aktivitas kegempaan pada struktur atas dan abutment jembatan Illinois di Yunani. Penelitian tersebut menggunakan dua buah objek jembatan yang dimodelkan, yaitu jembatan girder dengan menggunakan beton *precast prestressed* dan baja sebagai elemen strukturnya. Pemodelan menggunakan metode *Integral Abutment bridge (IAB)*. Analisis pembebanan dilakukan menggunakan beban *pushover* dan dinamik dengan acuan gempa dengan kala ulang 1000 tahun. Hasil dari penelitian tentang IAB tersebut merekomendasikan penambahan ukuran *pier* pada abutment serta penambahan sambungan baut untuk menghindari kerusakan pada *pier* dan pada jembatan beton penambahan ukuran *pier* untuk menahan inersia girder.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Gempa Bumi**

Pernyataan Chen dalam Ismayana (2019), gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang terjadi akibat peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa dari dalam bumi. Energi yang dihasilkan berupa rambatan gelombang getaran dari pusat gempa bumi melalui tanah. Pemicu pergerakan tanah secara alami disebabkan oleh faktor alam yang beragam seperti aktivitas gunung berapi (vulkanisme), tanah longsor (*landslide*), *rock burst*, ledakan buatan dan pergerakan lempeng daratan (tektonik). Berdasarkan macam penyebabnya, dampak dari aktivitas tektonik merupakan penyebab utama kerusakan struktur dan perhatian utama dalam mengkaji kerentanan serta bahaya gempa.

Aktivitas tektonik terjadi akibat bergeraknya lempeng dari pelepasan rambatan gelombang energi pada kerak bumi sehingga menimbulkan deformasi pada daerah tersebut. Rambatan gelombang energi yang dihasilkan terjadi secara tiba-tiba menyebar melalui lapisan kulit bumi (Budiono dan Supriatna, 2011).

Yashinky, dkk. dalam Duan (2014) menyatakan, kerusakan akibat gempa bumi pada jembatan dibagi menjadi dua, yaitu kerusakan primer dan sekunder dengan penjelasan sebagai berikut ini.

a. Kerusakan primer

Kerusakan ini terjadi akibat pergerakan atau deformasi tanah akibat gempa bumi yang mengenai struktur utama jembatan seperti pondasi, struktur atas (badan jembatan) dan pilar/*pier* secara langsung.

b. Kerusakan sekunder

Kerusakan ini terjadi akibat pengaruh runtuhnya bangunan yang ada di sekitar jembatan. Keruntuhan yang terjadi akibat kurang memperhitungkan beban gempa dari bangunan tersebut.

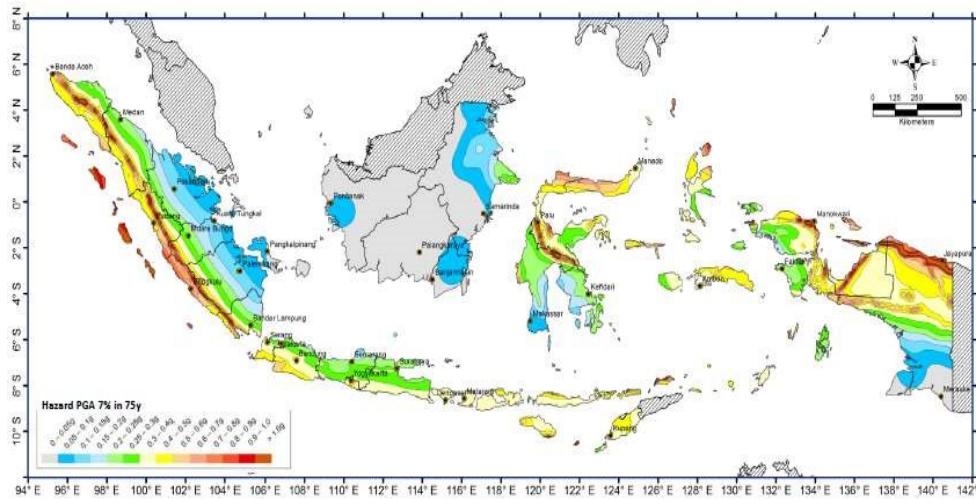
Interaksi antara bencana gempa bumi dengan struktur atas dan bawah jembatan sangat diperhatikan mengingat dampak dari kerusakan tersebut merugikan bagi manusia, baik secara materi maupun korban jiwa. Menurut SNI-2833 (2016), perencanaan struktur jembatan harus meminimalisir kemungkinan untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan saat terjadi gempa.

### **2.2.2. Peta Gempa 2017**

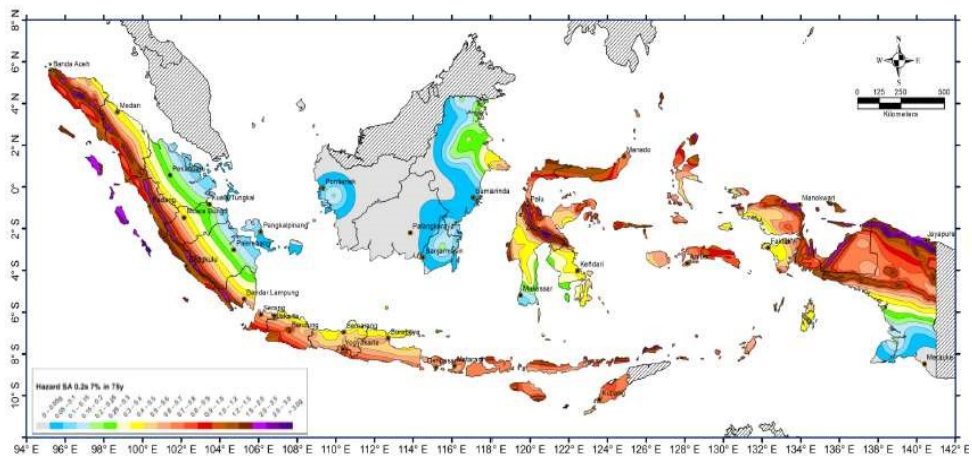
Penggunaan peta gempa dapat menunjukkan percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration*) sebagai nilai acuan dari letak struktur yang akan dibangun. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2016), penentuan pembagian lokasi pada peta gempa mempunyai perbedaan nilai percepatan puncak batuan dasar. Acuan peta gempa 2017 yang digunakan dalam merancang struktur dengan probabilitas terlampaui sebesar 7% dalam 75 tahun. Gambar 2.1, Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 menunjukkan peta gempa percepatan puncak batuan dasar dengan probabilitas 7% dalam 75 tahun.

Nilai PGA berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2016) memerlukan faktor amplifikasi pada periode pendek dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi

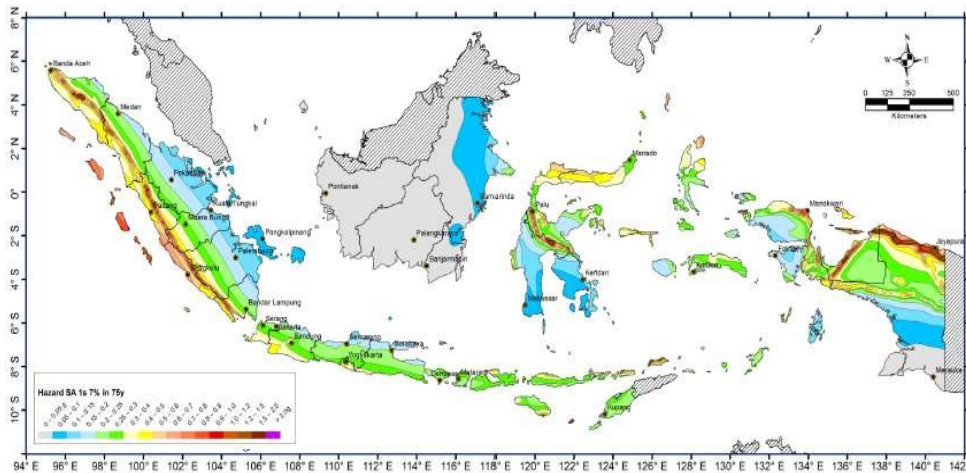
diperlukan untuk PGA 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ ) dan periode 1 detik ( $F_V$ ). Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 menunjukkan nilai faktor amplifikasi sesuai jenis tanah.



Gambar 2.1 Peta percepatan puncak batuan dasar untuk probabilitas 7% dalam 75 tahun (Pustlitbang PUPR, 2017)



Gambar 2.2 Peta percepatan spektrum respons 0.2 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Pustlitbang PUPR, 2017)



Gambar 2.3 Peta percepatan respons spektrum 0.1 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terampai 7% dalam 75 tahun (Puslitbang PUPR, 2017)

Tabel 2.1 Faktor amplifikasi PGA dan periode 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ ) (SNI 2833:2016)

| Kelas Situs       | $PGA \leq 0,1$  | $PGA = 0,2$ | $PGA = 0,3$  | $PGA = 0,4$ | $PGA > 0,5$     |
|-------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
|                   | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| Batuan Keras (SA) | 0,8             | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8             |
| Batuan (SB)       | 1,0             | 1,0         | 1,0          | 1,0         | 1,0             |
| Tanah Keras (SC)  | 1,2             | 1,2         | 1,1          | 1,0         | 1,0             |
| Tanah Sedang (SD) | 1,6             | 1,4         | 1,2          | 1,1         | 1,0             |
| Tanah Lunak (SE)  | 2,5             | 1,7         | 1,2          | 0,9         | 0,9             |
| Tanah Khusus (SF) | SS              | SS          | SS           | SS          | SS              |

Catatan: untuk nilai antara, dapat dilakukan interpolasi

Tabel 2.2 Faktor amplifikasi periode 1 detik ( $F_v$ ) (SNI 2833:2016)

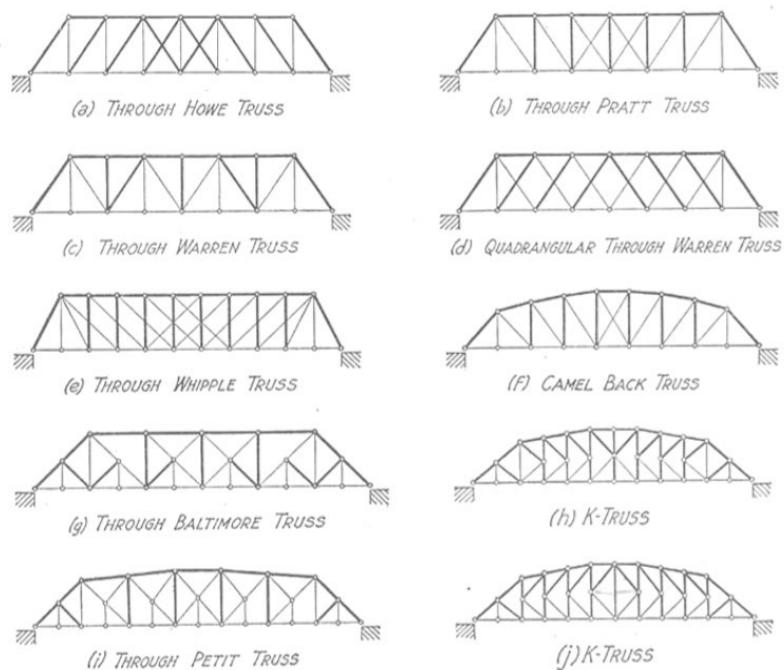
| Kelas Situs       | $S_1 \leq 0,1$    | $S_1 = 0,2$ | $S_1 = 0,3$ | $S_1 = 0,4$ | $S_s \geq 0,5$ |
|-------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
|                   | Batuan Keras (SA) | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8            |
| Batuan (SB)       | 1,0               | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 1,0            |
| Tanah Keras (SC)  | 1,7               | 1,6         | 1,5         | 1,4         | 1,3            |
| Tanah Sedang (SD) | 2,4               | 2,0         | 1,8         | 1,6         | 1,5            |
| Tanah Lunak (SE)  | 3,5               | 3,2         | 2,8         | 2,4         | 2,4            |
| Tanah Khusus (SF) | SS                | SS          | SS          | SS          | SS             |

Catatan: untuk nilai antara, dapat dilakukan interpolasi

### 2.2.3. Jembatan

Jembatan mempunyai sejarah sebagai ciri khas sebuah wilayah suatu negara, pada umumnya digunakan sebagai sarana transportasi untuk membantu kelancaran kegiatan mobilisasi manusia (Chen dan Duan, 2014). Jembatan merupakan alat untuk membantu menyebrangi saluran air atau sungai, jalan lain maupun lembah yang memiliki tinggi permukaan tidak sama (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

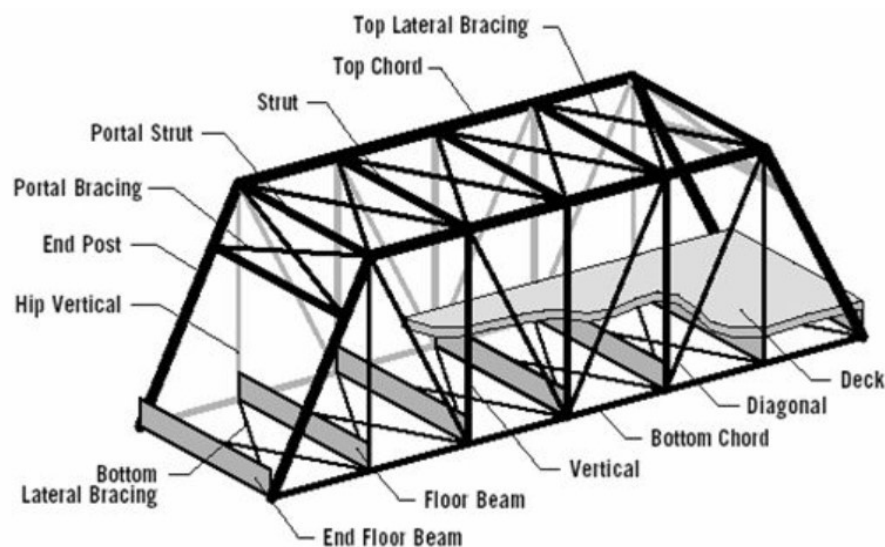
Salah satu jenis jembatan tersusun dari rangka baja sebagai komponen materialnya. Berdasarkan kebutuhan untuk melayani manusia, jembatan digunakan sesuai jenis kendaraan yang melewati, salah satunya transportasi menggunakan kereta api. Elemen kerangka jembatan dari baja pada umumnya menggunakan susunan bentuk segitiga, sehingga bentuk dari kerangka stabil (Rosyidi, 2016). Ada berbagai macam tipe jembatan rangka baja yang digunakan pada jalur kereta api. Pada Gambar 2.4 menunjukkan tipe jembatan rangka baja yang digunakan dalam jalur kereta api.



Gambar 2.4 Tipe-tipe jembatan rangka baja (Rosyidi, 2016)

### 2.2.4. Jembatan Rangka Baja Tipe Warren

Jembatan tipe warren merupakan salah satu tipe jembatan rangka baja yang disusun dengan komponen segitiga. Sambungan dari rangka elemen tersebut menggunakan baut dan las. Menurut Iqbal dkk. (2018), keunggulan jembatan tipe ini dapat digunakan untuk kebutuhan bentang panjang serta berat kerangka relatif ringan. Kelemahan dari jembatan ini adalah beban terpusat tidak dapat bekerja dengan baik. Pada Gambar 2.5 menunjukkan bentuk jembatan rangka baja tipe warren.



Gambar 2.5 Jembatan tipe warren (Ressler, 2001)

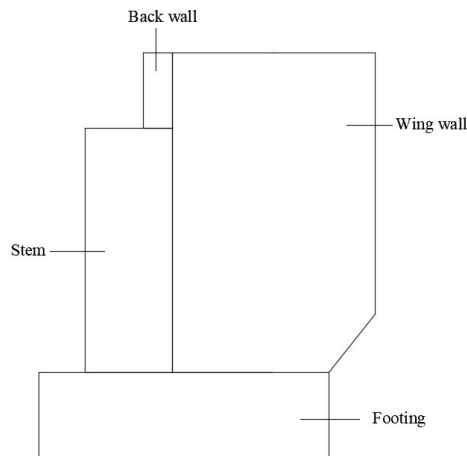
### 2.2.5. Abutment

Abutment merupakan struktur yang terletak pada ujung bagian jembatan. Struktur ini juga termasuk dalam elemen pondasi selain bangunan bawah tanah (*basement*) yang berfungsi sebagai penahan tanah timbunan di sekitarnya (Hardiyatmo, 2014). Menurut *Bridge Management System* (1992) abutment merupakan bangunan pemikul lalu lintas suatu jembatan yang menumpu disetiap ujung pangkalnya. Abutment mempunyai mekanisme penyaluran gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari analisis struktur atas/jembatan dan tanah timbunan di belakang struktur tersebut menuju pondasi. Material dari struktur abutment pada umumnya menggunakan beton bertulang. Pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 menunjukkan bagian-bagian dari struktur abutment secara umum dan tipenya.



| ABUTMENT TYPE  | TYPICAL HEIGHT (m) |    |    |    |
|--|--------------------|----|----|----|
|  | 0                  | 10 | 20 | 30 |
| GRAVITY RETAINING WALL ABUTMENT  | 34                 |    |    |    |
| CANTILEVER RETAINING WALL ABUTMENT<br><small>Optional tie-back</small> | 8                  |    |    |    |
| COUNTERFORTED RETAINING WALL ABUTMENT                                  | 6.8                |    |    |    |
| SPILL-THROUGH ABUTMENT   |                    |    |    |    |
| SPILL-THROUGH PILE TRESTLE ABUTMENT<br>(OR DUAL BORED PILES)           |                    |    |    |    |
| REINFORCED EARTH ABUTMENT  | 5                  | 15 |    |    |

Gambar 2.6 Tipe struktur abutment (BMS 1992)

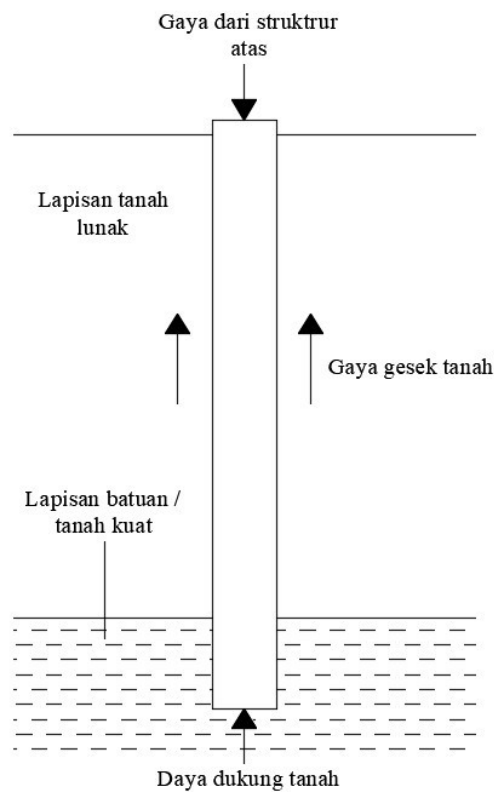


Gambar 2.7 Bagian struktur abutment

**2.2.6. Pondasi tiang**

Menurut Hardiyatmo (2010), pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan jika lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Menurut Das (2007),

pondasi tiang adalah struktur yang terbuat dari baja, beton dan kayu. Kegunaan pondasi tiang juga untuk menahan gaya angkat yang disebabkan oleh angin apabila diterapkan dalam gedung tinggi dan gaya pada tanah jika kebutuhan pondasinya dalam. Menurut Setiawan (2016), fungsi lain dari jenis pondasi tiang adalah mentransmisi beban aksial (dari struktur sebelumnya) dan beban momen menuju lapisan tanah keras. Pada Gambar 2.8 menunjukkan bentuk umum pondasi tiang.



Gambar 2.8 Bentuk umum pondasi tiang

Berdasarkan kebutuhan material yang digunakan, pondasi tiang memiliki jenis sebagai berikut (Hardiyatmo, 2010):

- a. Tiang kayu
- b. Tiang beton pracetak (*precast*)
- c. Tiang bor
- d. Tiang baja profil
- e. Tiang komposit

Perencanaan dalam menentukan diameter dan panjang *pile* dapat dilakukan dengan meninjau besarnya nilai daya dukung tanah, gaya gesek selimut *pile* dan pemadatan tanah (Das, 2007). Secara sederhana dapat dijabarkan dalam rumus sebagai berikut ini.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.1)$$

dengan :

$Q_u$  : Gaya yang diterima dari struktur atas

$Q_s$  : Gaya gesek pada tanah

$Q_p$  : Gaya dari ujung tanah (daya dukung tanah)

Untuk memperoleh daya dukung izin yang tersedia, besarnya gaya dari struktur atas dibagi dengan *safety factor* (SF). Rumusnya sebagai berikut,

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2.2)$$

dengan:

$Q_{all}$  : Daya dukung izin

SF : *safety factor*, menggunakan nilai 1,5 sampai 3

Pondasi tiang pada umumnya dikelompokkan dalam beberapa tiang kemudian dirangkai dalam satu *pile cap*.

### 2.2.7. *Pile Cap*

*Pile cap* merupakan struktur untuk mengikat beberapa kelompok tiang (Setiyawan, 2016). Jumlah minimal tiang dalam satu rangkaian *pile cap* adalah dua buah. Jarak antar tiang dibatasi dengan 2,5 sampai 3 kali diameter tiang yang direncanakan.

### 2.2.7. Beban Pada Jembatan

Beban pada jembatan yang diperhitungkan adalah beban pokok dan beban tambahan. Beban pokok meliputi beban mati (berat material yang digunakan pada jembatan) dan beban hidup (muatan gerak), sedangkan beban tambahan meliputi beban rem, angin dan gempa.

### 2.2.7.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban dari komponen material untuk merangkai dan menyusun struktur jembatan. Pada Tabel 2.3 menunjukkan jenis material penyusun beserta berat jenisnya.

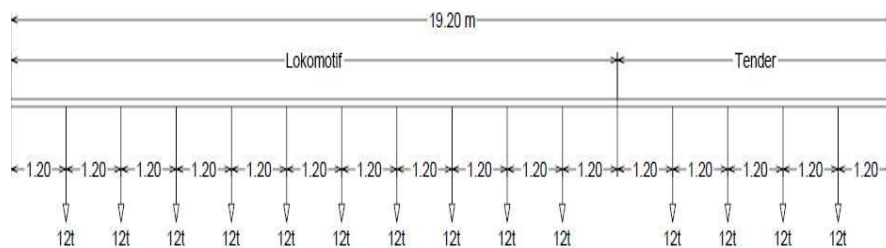
Tabel 2.3 Berat jenis material penyusun jembatan (PM No.60, 2012)

| Material                         | Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Baja, Baja Cor                   | 78,50                            |
| Besi Cor                         | 72,50                            |
| Kayu                             | 8,00                             |
| Beton                            | 24,00                            |
| Aspal Anti Air                   | 11,00                            |
| <i>Ballast Gravel/Batu Pecah</i> | 19,00                            |

### 2.2.7.2 Beban Hidup

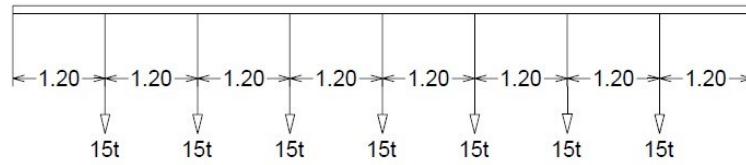
Beban hidup yang terjadi pada jembatan ini merupakan muatan gerak dari susunan kereta api yang berdasarkan Rencana Muatan 1921 (RM-1921). Skema pembebanan Rencana Muatan 1921 (RM-1921) sebagai berikut.

- a. Sebagai muatan gerak dianggap suatu susunan kereta api terdiri dari 2 lokomotif pakai tender seperti skema pada Gambar 2.9.



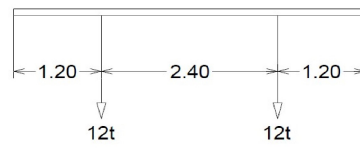
Gambar 2.9 Jumlah berat gandar 168 ton atau 87.5 ton/m (RM, 1921)

- b. Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 15 ton seperti skema pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Jika ada 7 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

- c. Jika dengan kereta/gerbong yang jumlahnya tidak tertentu seperti skema pada Gambar 2.11.



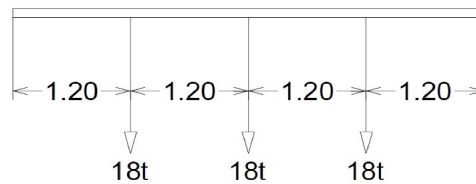
Gambar 2.11 Jumlah berat gandar 24 ton atau 5 ton/m (RM, 1921)

- d. Jika ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 17 ton seperti skema pada Gambar 2.12.



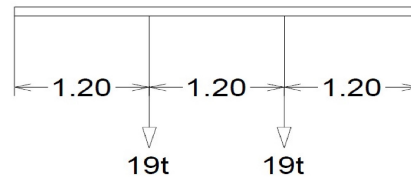
Gambar 2.12 Jika ada 5 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

- e. Jika ada 3 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 18 ton seperti skema Gambar 2.13.



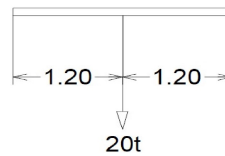
Gambar 2.13 Jika ada 3 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

- f. Jika ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 19 ton seperti skema Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Jika ada 2 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

- g. Jika ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 20 ton seperti skema Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Jika ada 1 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

Pada rencana muatan gerak tersebut selalu dipilih hasil yang paling berbahaya. Susunan lokomotif (L), *tender/carier* (C) dan gerbong/*wagon* (W) dapat dikombinasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling maksimum sebagai berikut:

- a. L-C-L-C-W-W
- b. L-C-C-L-W-W
- c. C-L-L-C-W-W
- d. C-L-C-L-W-W

### 2.2.7.3 Beban Rem

Beban rem dan traksi adalah akibat percepatan dan perlambatan dari kereta. Beban ini bekerja pada rel dan tumpuan struktur sebagai beban merata sepanjang rel dalam bidang horisontal.

Besarnya beban rem adalah:

$$B = \frac{1}{6} \text{ beban lokomotif} + \frac{1}{10} \text{ beban kereta (semua kereta termuati penuh)}$$

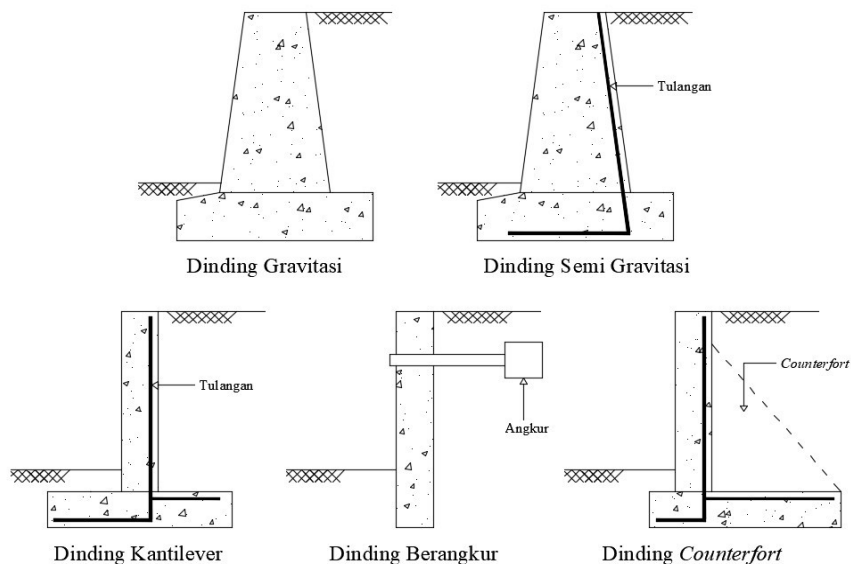
### 2.2.7.4 Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horisontal, tipikal nilainya adalah sebagai berikut.

- a.  $3,0 \text{ kN/m}^2$  pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian,  $2,0 \text{ kN/m}^2$ , pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
- b.  $1,5 \text{ kN/m}^2$  pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian  $1,2 \text{ kN/m}^2$  untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan  $0,8 \text{ kN/m}^2$  untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

### 2.2.8. Beban Pada Abutment

Beban yang diperhitungkan dalam struktur abutment adalah hasil penyaluran gaya-gaya dari struktur atas/jembatan dan gaya dari tanah. Gaya dari struktur atas/jembatan merupakan hasil kombinasi pembebanan yang telah diperhitungkan dalam analisis menggunakan *software* SAP2000 v.20. Kombinasi gaya pokok meliputi beban sendiri (beban mati), beban hidup struktur jembatan, dan beban tambahan seperti beban gempa, angin, dan rem (Ismayana, 2019). Selain pembebanan tersebut, Gambar 2.9 menunjukkan beberapa tipe struktur dinding penahan tanah.



Gambar 2.16 Tipe dinding penahan tanah (Hardiyatmo, 2014)

### 2.2.7.5 Tekanan tanah lateral

Tekanan tanah lateral menggunakan suatu elemen tanah yang dibatasi dinding penahan tanah dengan kedalaman tertentu (Muntohar, 2009). Menurut Hardiyatmo (2014), besar dan distribusi tekanan tanah lateral pada dinding abutment tergantung pada regangan tanah terhadap dinding. Terdapat tiga kondisi pada dinding penahan tanah (abutment) terhadap tekanan tanah lateral, yaitu tekanan tanah pada saat diam, aktif, dan pasif.

Tekanan tanah saat diam merupakan kondisi dinding penahan tanah diam tidak masuk atau mendekati maupun menjauhi tanah timbunan. Tekanan tanah aktif terjadi saat dinding penahan tanah bergerak menjauhi tanah timbunan. Tekanan tanah pasif terjadi saat dinding bergerak mendekati tanah timbunan. Tekanan lateral (horizontal) tanah yang bekerja terhadap dinding penahan dengan ketinggian tertentu dapat dirumuskan oleh persamaan:

$$P_a = 0,5 \gamma H^2 K_a \quad (2.3)$$

dengan:

$P_a$  : Tekanan tanah lateral aktif

$\gamma$  : Berat volume tanah

$H$  : Ketinggian dinding penahan tanah

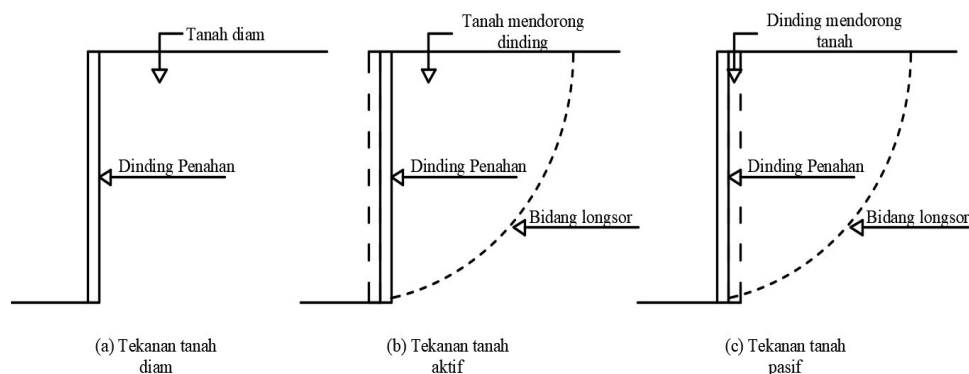
$K_a$  : Koefisien tekanan tanah

dengan,

$$K_a = \text{tg}^2 (45 - \phi/2) \quad (2.4)$$

$\phi$  : sudut gesek internal tanah ( $^\circ$ )

Pada Gambar 2.10 menunjukkan tekanan tanah lateral terhadap dinding penahan



Gambar 2.17. Tekanan tanah lateral terhadap dinding (Hardiyatmo, 2014)



#### **2.2.7.6 Tekanan tanah akibat gempa**

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (2016), perhitungan tekanan tanah akibat gempa dapat menggunakan pendekatan yang dikembangkan oleh Mononobe dan Okabe, dengan asumsi sebagai berikut:

- a. Kepala jembatan (ujung) bebas deformasi akibat tekanan tanah atau akibat pembebanan yang diterima
- b. Tanah timbunan nonkohesif
- c. Tanah timbunan tidak jenuh

Mononobe, Matsuo dan Okabe dalam (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2016) menetapkan metode untuk menentukan tekanan lateral tanah dari tanah granuler saat terjadi gempa. Metode tersebut menyederhanakan asumsi seperti geometri, perilaku material atau pembebanan pada struktur penahan tanah.