

## Permodelan beban banjir bandang untuk struktur gedung Tempat Evakuasi Vertikal (TEV) (Studi kasus lokasi di Sukabumi)

Miftahut Taufiq<sup>1</sup>, Malik Mushthofa<sup>2,\*</sup>  
<sup>1,2</sup> Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

---

### Article Info

#### Article history:

Available online

---

#### Keywords:

Floods Load  
Flash Floods  
TEV

---

#### Corresponding Author:

Malik Mushthofa  
[185111302@uii.ac.id](mailto:185111302@uii.ac.id)

### Abstract

Flash floods that often occur in the Sukabumi area always cause casualties. Therefore, disaster management measures are needed, including constructing a Vertical Evacuation Site (TEV) building. This paper aims to model the flash flood loads and then recapitulate the internal forces that work. This paper calculates the flash flood load and then designs the building layout. Then modeling is carried out using the SAP 2000 application and applying flood load calculations to the 3D modeling to obtain the internal forces acting on each element. The result is hydrodynamic force was 6,822 kN/m, the impulsive force was 10,233 kN/m, the debris impact force was 241,230 kN, the water-borne debris shielding effect was 10,006 kN/m. and analysis of flood load combinations obtained that the most significant moment value is in the first combination with a value of 882,84 kNm and the most significant shear force value is in the first combination with a value of 589,141 kN.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

#### Latar Belakang

Kawasan Jawa Barat tepatnya pada daerah Sukabumi merupakan kawasan yang rawan terjadi banjir bandang dan dalam peta rawan gempa termasuk daerah yang memiliki potensi gempa cukup tinggi. Menurut Rahayu dkk. (2009) mendefinisikan banjir sebagai tergenangnya suatu tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air disuatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi. "Banjir merupakan peristiwa dimana daratan yang biasanya kering (bukan daerah rawa)

menjadi tergenang oleh air, hal ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan kondisi topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekung. Selain itu terjadinya banjir jua dapat disebabkan oleh limpasan air permukaan (*runoff*) yang meluap dan volumenya melebihi kapasitas pengaliran sistem drainase atau sistem aliran sungai. Terjadinya bencana banjir juga disebabkan oleh rendahnya kemampuan infiltrasi tanah, sehingga menyebabkan tanah tidak mampu lagi menyerap air. Banjir dapat terjadi akibat naiknya permukaan air lantaran curah hujan yang diatas normal, perubahan suhu, tanggul/bendungan yang bobol, pencairan

salju yang cepat, terhambatnya aliran air di tempat lain” (Sebastian, 2008). Sukabumi merupakan wilayah yang mempunyai tingkat risiko yang tinggi terhadap bencana banjir, maka perlu dilakukan tindakan mitigasi terhadap bencana banjir yang terjadi di wilayah Sukabumi. Menurut pasal 1 ayat 6 PP No. 21 Tahun 2008 Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Upaya mitigasi yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan membuat Tempat Evakuasi Vertikal (TEV).

Topik bahasan paper berikut akan berfokus pada pembebanan banjir bandang yang dianalogikan dengan pendekatan beban tsunami. Permodelan pada gedung TEV menggunakan aplikasi SAP 2000 dengan pembebanan banjir bandang dimodelkan secara lateral searah dengan arus datangnya banjir bandang.

Tujuan penelitian ini adalah Menghitung pembebanan akibat banjir bandang dan Mengetahui gaya dalam dengan memodelkan gaya banjir bandang yang dianalogikan sebagai beban tsunami terhadap gedung Tempat Evakuasi Vertikal (TEV) menggunakan aplikasi SAP 2000.

#### **Tempat Evakuasi Vertikal (TEV)**

Tempat Evakuasi Vertikal (TEV) adalah fasilitas umum yang apabila terjadi bencana tsunami atau bencana yang lain digunakan untuk evakuasi pengungsi, namun bisa digunakan pula untuk fasilitas umum yang lain misalnya untuk tempat rekreasi atau ibadah atau yang lainnya, apabila tidak terjadi bencana. Syarat bangunan shelter adalah bangunan tingkat yang tahan gempa, tahan tsunami dan bisa menampung banyak orang. Diharapkan bangunan shelter mempunyai fungsi sekunder saat tidak terjadi bencana, selain mempunyai fungsi utama sebagai shelter untuk mitigasi tsunami. Untuk itu

diperlukan konsep disain bangunan shelter yang sesuai dengan kaidah-kaidah yang berlaku baik secara fungsinya dan strukturalnya (Yuhanah, 2014).

#### **Banjir, Banjir Bandang, dan Tsunami**

Menurut Aminudin, (2013) banjir adalah bencana yang diakibatkan curah hujan yang tinggi dengan tidak diimbangi dengan saluran pembuangan air yang memadai sehingga dapat merendam wilayah-wilayah yang tidak dikehendaki oleh orang-orang yang ada disana.

Banjir bandang (*flash flood*) adalah penggenangan akibat limpasan keluar alur sungai karena debit sungai yang membesar tiba-tiba melampaui kapasitas aliran, permukaan gelombang banjir bandang ini dapat berkisar 5 meter terjadi dengan cepat melanda daerah rendah permukaan bumi, di lembah sungai, cekungan, dan biasanya membawa debris yang sangat berbahaya yang akan melanda hampir semua yang dilewatinya.

Tsunami adalah sebuah ombak yang terjadi setelah sebuah gempa bumi, gempa laut, gunung berapi Meletus, atau hantaman meteor di laut. Tsunami tidak terlihat saat masih berada jauh di tengah lautan, namun begitu mencapai wilayah dangkal, gelombangnya yang bergerak cepat ini akan semakin membesar. Gelombang tsunami memiliki ketinggian hingga mencapai 30 meter dan bisa menyebabkan kerusakan erosi dan korban jiwa pada Kawasan pesisir pantai atau kepulauan. Dari penjelasan sebelumnya adanya persamaan pada laju gelombang antara gelombang tsunami dan banjir bandang yang cukup besar serta adanya ancaman bahaya yang dapat menimbulkan korban jiwa sehingga beban banjir bandang dianalogikan sebagai beban tsunami.

Perbedaan antara banjir dan banjir bandang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Perbedaan Banjir dan Banjir Bandang

Perbedaan	Banjir	Banjir Bandang
Ketinggian air	Realtif rendah ( $\pm 1$ m)	Relatif tinggi ( $\pm 5$ m)
Aliran arus	Tenang	Deras
Potensi kerugian	Material	Material dan korban jiwa

(sumber: Mencerdasi bencana, 2008)

Sedangkan beberapa persamaan antara banjir bandang dengan tsunami dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Persamaan Banjir Bandang dan Tsunami

Persamaan	Banjir Bandang	Tsunami
Ketinggian air	Realtif tinggi ( $\pm 5$ m)	Relatif tinggi ( $\pm 30$ m)
Aliran arus	Deras	Deras
Potensi kerugian	Material dan korban jiwa	Material dan korban jiwa

(sumber: BPBD D. I. Yogyakarta)

### Kriteria Desain Gedung TEV

Tabel 3. Kategori Resiko Bangunan

No	Kategori resiko	Deskripsi
1.	I	Bangunan dan struktur lain yang mewakili resiko rendah bagi manusia
2.	II	Semua bangunan dan struktur lainnya kecuali yang terdaftar dalam kategori Resiko I, III, dan IV
3.	III	Bangunan dan bangunan lain yang berpotensi menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan / atau gangguan massal terhadap kehidupan sipil sehari-hari jika terjadi kegagalan.
4.	IV	Bangunan dan bangunan lain yang di tetapkan sebagai fasilitas penting.

(sumber: Pedoman BNPB: Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013)

### Beban Banjir Bandang

Beban banjir bandang dianalogikan sebagai beban tsunami dengan mengacu pada pedoman FEMA P646-2019, dan Pedoman Teknik BNPB tahun 2013. Berikut merupakan gaya yang harus diperhitungkan.

a. Gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik perlu diperhitungkan ketika lantai dasar dari Gedung terkepung air, dimana dinding sebuah bangunan dapat menahan air supaya air tidak dapat masuk ke dalam lantai

Pada kriteria desain gedung TEV mengacu pada pedoman FEMA P646-2019 dimana FEMA P646-2019 merupakan pedoman yang berisi tentang mendukung warga negara dan personel darurat untuk membangun, mempertahankan, dan meningkatkan kemampuan negara untuk mempersiapkan, melindungi, merespons, dan mengurangi semua bahaya khusus untuk gedung Tempat Evakuasi Vertikal (TEV) tsunami. Berdasarkan FEMA P646-2019 Gedung Tempat Evakuasi Vertikal memiliki kriteria desain sebagai berikut.

- Menggunakan Kategori resiko IV sesuai dengan ketentuan pada pedoman Teknik BNPB-2013 berikut.
- Pada lantai atap ditambahkan beban helipad supaya memudahkan dalam proses evakuasi apabila terjadi bencana.
- Sesuai dengan Pedoman Teknik BNPB-2013 Menggunakan Faktor kepentingan ( $I_e$ ) = 1,5

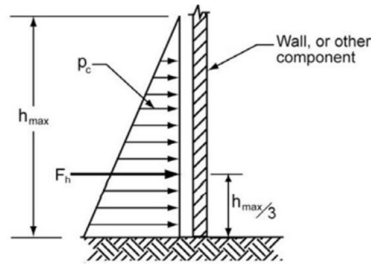
dasar bangunan. Berikut adalah persamaan dalam menghitung gaya hidrostatik. Perhitungan beban hidrostatik dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_h = \rho c \times A_w \tag{1}$$

dengan:

- $F_h$  = Gaya hidrostatik,
- $\rho c$  = Tekanan hidrostatik, dan
- $A_w$  = Luasan panel yang basah

Berikut adalah ilustrasi gaya hidrostatik,



Gambar 1. Ilustrasi gaya hidrostatik

(sumber: Pedoman BNPB:Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013)

b. Gaya Apung

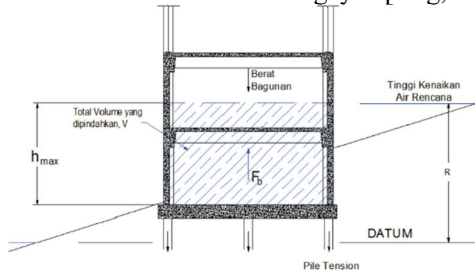
Gaya apung perlu diperhitungkan karena gaya apung dapat menyebabkan gaya angkat keatas yang berpengaruh pada ketahanan dan kekuatan pada struktur bangunan. Perhitungan beban apung dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_b = \rho_s \times g \times V \quad (2)$$

dengan:

$F_b$  = Gaya apung,  
 $\rho_s$  =Percepatan kerapatan fluida termasuk endapan ( $1100 \text{ kg/m}^3$ ),  
 $g$  =Percepatan gravitasi, dan  
 $V$  =Volume air yang dipindahkan oleh bangunan

Berikut adalah ilustrasi gaya apung,



Gambar 2. Ilustrasi gaya apung

(sumber: Pedoman BNPB:Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013)

c. Gaya Hidrodinamik

Gaya hidrodinamik dievaluasi untuk seluruh struktur bangunan dan untuk

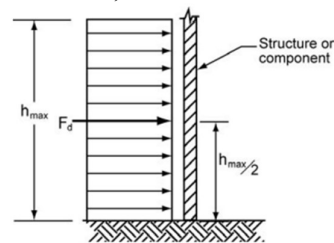
setiap elemen struktur. Gaya hidrodinamik dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu kecepatan aliran, massa jenis air, dan bentuk struktur bangunan. Perhitungan beban hidrodinamik dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho_s \times C_d \times B \times hu^2 \quad (3)$$

dengan:

$F_d$  = Gaya hidrodinamik,  
 $\rho_s$  = Massa jenis air tsunami termasuk sedimen ( $\rho_s = 1100 \text{ kg/m}^3$ ),  
 $C_d$  = Koefisien tarik,  
 $h$  = Kedalaman aliran,  
 $u$  = Kecepatan aliran pada lokasi struktur, dan  
 $B$  = Luasan struktur pada bidang normal arah aliran.

Berikut adalah ilustrasi gaya Hidrodinamik,



Gambar 3. Ilustrasi gaya hidrodinamik

(sumber: Pedoman BNPB:Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013)

d. Gaya Impulsif

Gaya impulsif merupakan gaya yang bekerja pada ujung aliran air. Berdasarkan FEMA P646 besaran gaya impulsif 1,5 kali lebih besar dari gaya hidrodinamik. Perhitungan beban impulsif dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_s = 1,5 \times F_d \quad (4)$$

dengan:

$F_s$  = Gaya Impulsif, dan  
 $F_d$  = Gaya Hidrodinamik.

e. Gaya Tumbukan Debris

Gaya tumbukan debris terjadi karena ada gaya tumbukan yang berasal dari hanyutan yang disebabkan banjir bandang seperti kendaraan, pepohonan, dan lain sebagainya. Perhitungan beban tumbukan debris adalah sebagai berikut.

$$FI = 1,3U_{max} \sqrt{Kmd (1 + c)} \quad (5)$$

dengan:

FI = Gaya tumbukan debris,

U<sub>maks</sub> = Kecepatan maksimum,

K = kekakuan efektif debris,

Md = massa debris, dan

c = Koefisien massa.

Berikut adalah nilai kekakuan debris berdasarkan FEMA P646-2019.

Tabel 4. Nilai Kekakuan Benda

	Variabel	Besar	
Kayu Gelondong	Panjang	8,53	M
	Diameter	0,35	M
	Massa	450	Kg
	Kekakuan	2,4x10 <sup>6</sup>	N/m
	Koefisien massa hidrodinamik	0	
Kontainer 40 ft longitudinal	Panjang	8,53	M
	Diameter	0,35	M
	Massa	450	Kg
	Kekakuan	2,4x10 <sup>6</sup>	N/m
	Koefisien massa hidrodinamik	0	
Kontainer 40 ft transversal	Panjang	8,53	M
	Diameter	0,35	M
	Massa	450	Kg
	Kekakuan	2,4x10 <sup>6</sup>	N/m
	Koefisien massa hidrodinamik	0	

(sumber: Pedoman BNPB:Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013)

f. Efek Pembendungan dari Puing Terbawa Air

Pembendungan yang disebabkan oleh akumulasi puing-puing yang terbawa air dapat menghasilkan suatu gaya yang berasal dari air yang membawanya yang diperlukan sebagai gaya hidrodinamik. Perhitungan beban efek pembendungan dari puing terbawa air dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_{dm} = \frac{1}{2} \times \rho_s \times C_d \times B \times hu^2 \quad (6)$$

dengan:

F<sub>d</sub> = Gaya hidrodinamik,

ρ<sub>s</sub> = Massa jenis air tsunami termasuk sedimen (ρ<sub>s</sub> = 1100 kg/m<sup>3</sup>),

C<sub>d</sub> = Koefisien tarik,

h = Kedalaman aliran,

u = Kecepatan aliran pada lokasi struktur, dan

B = Luasan struktur pada bidang normal arah aliran.

**Kombinasi Pembebanan**

Kombinasi pembebanan banjir bandang dalam perancangan struktur TEV berdasarkan FEMA P646-2019 adalah sebagai berikut.

$$1,2 DL + 1,0 TS + 1,0 LREF + 0,25 LL$$

$$0,9 DL + 1,0 TS$$

Keterangan =

DL = Beban Mati,

TS = Beban Tsunami,

LREFF = Beban Hidup Area Pengungsian,

LL = Beban Hidup Luar Area Pengungsian.

Pada kombinasi beban tsunami 1,2 DL + 1,0 TS + 1,0 LREF + 0,25 LL mempertimbangkan area pengungsian pada bangunan TEV yang besar bebannya diambil sebagai beban hidup pada ruang pertemuan yang nilainya sama dengan 4,79 kN/m<sup>2</sup>. Beban hidup pada ruang pertemuan mempresentasikan nilai kerapatan maksimum pengungsi yang mengisi bangunan TEV saat evakuasi. Kombinasi beban 0,9 DL + 1,0 TS digunakan ketika

beban gravitasi berlawanan dengan tsunami.

**Metode Penelitian**

Analisis pembebanan banjir bandang dengan analogi beban tsunami sebagaimana diuraikan diatas, selanjutnya sebagai studi kasus akan diaplikasikan pada suatu desian bangunan TEV.

**Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian berada pada Kecamatan Baros, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 4. Lokasi penelitian (Sumber: Google Earth, 2022)

Lokasi studi kasus tersebut dipilih mengingat terdapat potensi terjadi banjir bandang di Kabupaten Sukabumi. Analisis pembebanan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor setempat.

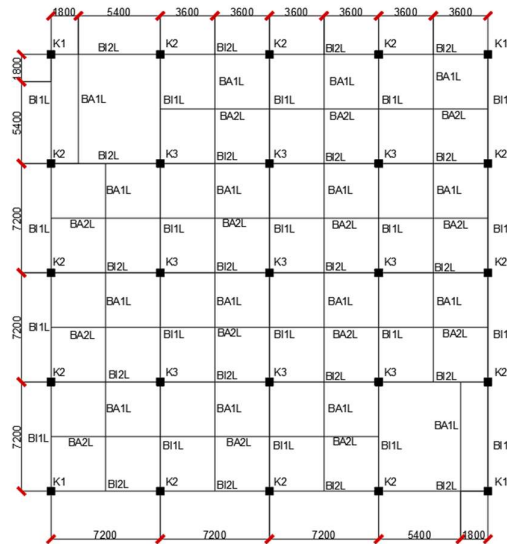
**Data Penelitian**

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan rancangan bangunan simetris dua arah dengan mempertimbangkan kondisi bangunan mayoritas di Kabupaten Sukabumi (Tabel 5).

Tabel 5. Data penelitian

No.	Uraian	Keterangan
1.	Fungsi bangunan	Gedung pertemuan (sebagai gedung fasilitas umum warga) dan Gedung Evakuasi (ketika terjadi bencana banjir bandang)
2.	Lokasi perancangan	Sukabumi
3.	Jumlah tingkat	5 tingkat
4.	Tinggi total bangunan	24 meter (Tinggi tingkat 1 adalah 8 meter, dan tinggi tingkat 2-5 yaitu 4 meter)
5.	Jenis Material Konstruksi	Beton Bertulang
6.	Mutu Beton (f'c)	30 MPa
7.	Tegangan leleh baja (fy)	420 MPa

Dengan desain denah sebagai berikut,



Gambar 5. Kodefikasi desain penelitian

**Perhitungan Beban Banjir Bandang**

Data-data yang mendukung dalam perhitungan beban adalah:

- a. Massa jenis aliran = 1100 kg/m<sup>3</sup>
- b. Lebar struktur = 28,8 m<sup>2</sup>
- c. Jumlah kolom arah x = 5 kolom
- d. Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- e. Elevasi bangunan terhadap muka air = 1 m (asumsi)
- f. Ketinggian banjir = 5 m (asumsi)
- g. Faktor aman (SF) = 1,3
- h. Tinggi genangan rencana = 5,5 m

Perhitungan gaya banjir yang bekerja adalah sebagai berikut.

- 1) Gaya Hidrostatik  
Gaya hidrostatik tidak perlu diperhitungkan karena bangunan dengan system portal dimana elemen strukturnya hanya balok, kolom, dan pelat dimana struktur tersebut memiliki luasan yang relatif kecil.
- 2) Gaya Apung  
Karena tidak ada lantai yang terendam air sehingga gaya apung tidak perlu di perhitungkan.

- 3) Gaya Hidrodinamik  
Perhitungan sebagai berikut,

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho_s \times C_d \times B \times h u^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1100 \times 2 \times 0,9 \times (37,903)^2$$

$$= 37,524 \text{ kN}$$

$$F_d' = \frac{F_d}{\text{Tinggi genangan rencana}}$$

$$= \frac{37,524}{5,5}$$

$$= 6,822 \text{ kN/ m.}$$

Didapatkan nilai Fd' sebesar 6,822 kN/ m.

- 4) Gaya Impulsif  
Perhitungan sebagai berikut,

$$F_s = 1,5 \times F_d$$

$$= 1,5 \times 37,524$$

$$= 56,286 \text{ kN}$$

$$F_s' = \frac{F_s}{\text{Tinggi genangan rencana}}$$

$$= \frac{56,286}{5,5}$$

$$= 10,233 \text{ kN/m}$$

Didapatkan nilai  $F_s'$  sebesar 10,233 kN/m.

- 5) Gaya Tumbukan Debris Perhitungan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 FI &= 1,3U_{max} \sqrt{K_{md} (1 + c)} \\
 &= 1,3 \times 5,646 \times \\
 &\quad \sqrt{(2,4 \times 10^6) \times 450 (1 + 0)} \\
 &= 241,230 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

\*) nilai K didapatkan dari data variable benda yang menumbuk adalah kayu dengan nilai kekakuan sebesar  $2,4 \times 10^6$  N/m.

Didapatkan nilai FI sebesar 241,230 kN.

- 6) Efek Pembendungan dari Puing Terbawa Air

Perhitungan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 F_{dm} &= \frac{1}{2} \times \rho_s \times C_d \times B_d \times hu^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 2 \times 12 \times (37,90)^2 \\
 &= 500,324 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

\*) Nilai  $B_d$  berdasarkan pedoman Teknis BNPB-2013 ditentukan dengan nilai minimum sebesar 12m.

Gaya ini bekerja sepanjang bagian terdepan bangunan pada arah datang gelombang, sehingga untuk pengaplikasiannya kepada setiap

kolom gaya ini harus dibagi terhadap jumlah kolom yaitu:

$$\begin{aligned}
 F_{dm} &= \frac{500,324}{5} \\
 &= 100,064 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Gaya ini kemudian diaplikasikan dalam bentuk beban garis yang bekerja pada sumbu pusat kolom sepanjang bagian air yang tergenang. Besar beban garis adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 F_{dm}' &= \frac{100,064}{10} \\
 &= 10,006 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai  $F_{dm}$  sebesar 10,006 kN/m pada tiap kolom.

### Rekapitulasi Beban Banjir Bandang

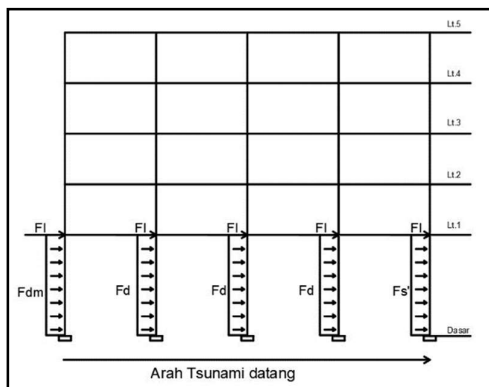
Dari perhitungan beban banjir bandang, didapatkan rekapitulasi beban banjir bandang sebagai berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi beban banjir bandang

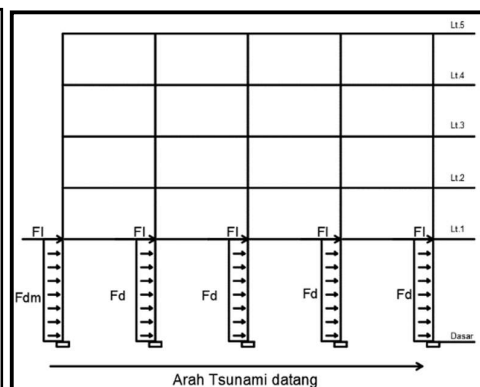
Beban Banjir Bandang	Nilai	Satuan
Gaya hidrodinamik, $F_d$	6,822	kN/m
Gaya impulsive, $F_s$	10,233	kN/m
Gaya tumbukan debris, FI	241,230	kN
Efek pembendungan, $F_{dm}$	10,006	kN/m

### Input Gaya Pada Aplikasi SAP 2000 V.22

Input gaya banjir bandang ke dalam aplikasi SAP 2000 mengacu pada Pedoman Teknik BNPB tahun 2013 sebagai berikut.

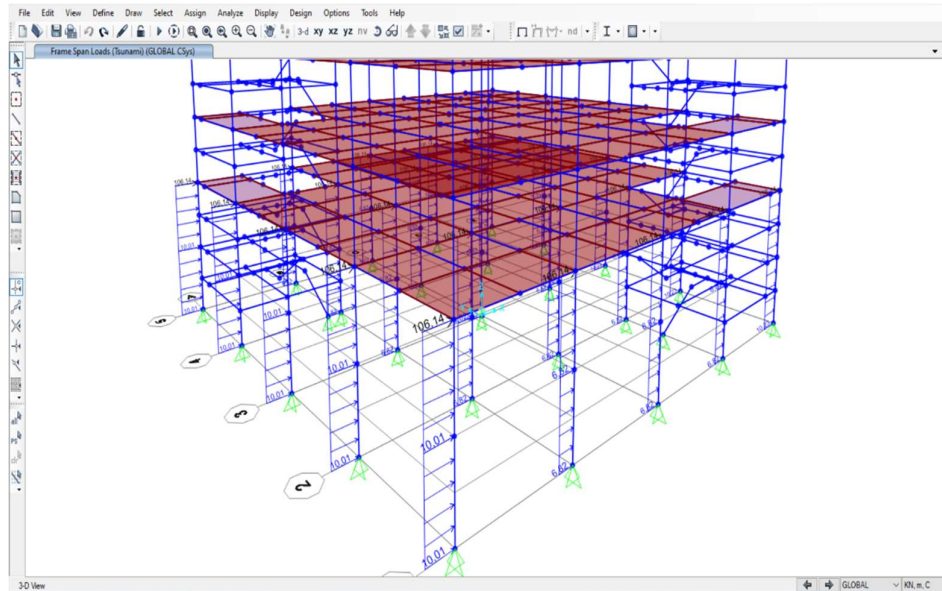


Gambar 6. Kombinasi 1 beban banjir bandang



Gambar 7. Kombinasi 2 beban banjir bandang

Berikut adalah hasil input beban banjir bandang kedalam aplikasi SAP 2000.



Gambar 8. Input beban banjir bandang

Perbandingan hasil gaya-gaya dalam yang didapatkan ditunjukkan sebagaimana Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Perbandingan *internal forces* akibat kombinasi beban gempa dan kombinasi beban banjir bandang

Kombinasi beban gempa			Kombinasi beban banjir bandang			Keterangan
P (kN)	V (kN)	M (kN.m)	P (kN)	V (kN)	M (kN.m)	
-640,02	-731,29	<b>-2259,82</b>	-5302,52	475,53	<b>-882,84</b>	M- maksimum
658,84	960,76	<b>2009,74</b>	-6,93	129,75	<b>554,97</b>	M+ maksimum
0	<b>1151,99</b>	506,97	0	<b>589,14</b>	-606,87	V maksimum
<b>-9260,97</b>	-374,09	-2,692E-12	<b>-6508,00</b>	396,48	1,82E-12	P- maksimum
<b>1749,02</b>	464,45	922,02	<b>264,62</b>	130,92	-148,48	P+ maksimum

Berdasarkan perbandingan gaya-gaya dalam sebagaimana ditunjukkan Tabel 7, gaya-gaya dalam akibat kombinasi beban banjir bandang masih lebih kecil daripada kombinasi beban gempa. Sehingga apabila bangunan di Kabupaten Sukabumi telah didesain aman terhadap gempa maka bangunan tersebut aman terhadap banjir bandang.

*Engineered building* (gedung bertingkat banyak, rumah tinggal 2 lantai atau lebih, rumah ibadah, dan bangunan sejenisnya)

idealnya direncanakan sebagai bangunan tahan gempa. Apabila terdapat kerusakan struktur bangunan akibat banjir bandang (untuk studi kasus Kabupaten Sukabumi) maka dapat menjadi indikasi bahwa bangunan tersebut tidak memenuhi kaidah bangunan tahan gempa. Sedangkan *non-engineered building* (bangunan rumah tinggal dan bangunan komersial yang kecil) masih perlu tinjauan tersendiri mengingat kinerja secara structural berbeda dengan *engineered building*.

Berdasarkan uraian hasil pemodelan tersebut, struktur bangunan Tempat Evakuasi Vertikal (TEV) yang didesain tahan gempa (untuk studi kasus lokasi bangunan di Sukabumi) dapat dijadikan bangunan tangguh banjir bandang. Gaya-daya dalam yang ditanggung oleh struktur tersebut akibat dorongan air dan debris yang terbawa oleh aliran air masih lebih kecil daripada gaya-gaya dalam yang diakibatkan oleh beban gempa.

Pembebanan banjir bandang menggunakan beban tsunami dapat diaplikasikan pada perencanaan struktur bangunan yang tangguh banjir bandang di lokasi lain. Hal ini berdasarkan pada karakter banjir bandang yang serupa dengan tsunami. Beban yang diperhitungkan secara garis besar meliputi beban dorong, beban hidrodinamik, beban apung dan beban tumbukan debris memiliki unsur yang sama dengan beban yang didukung oleh struktur bangunan ketika struktur mengalami beban banjir bandang.

Meski begitu, perlu disadari bahwa lantai 1 pada desain struktur TEV direncanakan setinggi elevasi muka banjir. Adakalanya pada lokasi tertentu elavasi muka banjir yang diperhitungkan cukup tinggi jika dibandingkan dengan elevasi lantai di atasnya. Hal ini perlu diwaspadai dan menjadi fokus tersendiri mengingat struktur akan mempunyai *soft storey* pada lantai 1 yang akan menjadi titik lemah struktur tersebut dalam menahan gaya gempa.

### Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Beban tsunami dapat digunakan untuk menghitung beban banjir bandang mengingat kesamaan sifatnya.
2. Gaya-gaya dalam akibat pembebanan gempa lebih besar daripada gaya-gaya dalam akibat pembebanan banjir bandang.

3. Bangunan yang didesain tahan gempa untuk studi kasus Kabupaten Sukabumi sudah aman terhadap potensi beban banjir bandang.

### Daftar pustaka

- Badan Standardisasi Nasional, 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2019, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2019, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2020. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktural Lain, SNI 1727-2020, BSN, Bandung.
- Budiadi, A. 2008. Desain Praktis Beton Prategang. Yogyakarta : Andi Offset.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013, Pedoman Teknik Perancangan Struktur Bangunan Tempat Evakuasi Sementara, Jakarta.
- Fani, A., Rifqi, M. G., Erwanto, Z., & M. Shofi'ul Amin. (2021). Desain Struktur Shelter Inovatif sebagai Tempat Evakuasi Sementara di Banyuwangi. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 10(1), 25–40. <https://doi.org/10.22225/pd.10.1.2325.25-40>
- Federal Emergency Management Agency, 2019. Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis. FEMA P-646 (third edition) ed. California: s.n.
- Pradana, A. B., Saputra, R. P., Indarto, H., & Nurhuda, I. (2015). Desain Struktur Tempat Evakuasi Sementara Tsunami. Jurnal Karya Teknik Sipil, 4(4), 69–84.
- Rahayu, et al. 2009. Banjir dan Upaya penanggulangannya. Bandung: Promise (Program for Hydro-Meteorological Risk Mitigation Secondary Cities in Asia).

- Sebastian, L. (2008). Pendekatan Banjir dan Penanggulangan Banjir. *Dinamika Teknik Sipil*, 8(2), 162--169.
- Trinanda, A. Y., Wardi, & Mulyani, R. (2016). Perencanaan Struktur Gedung Shelter Tsunami di Kota Padang. *E-Jurnal Bung Hatta*, 1(1), 65–77.
- Yuhanah, T. (2014). Konsep Desain Shelter Mitigasi Tsunami. *Jurnal Teknologi*, 6(1), 19–31.
- Yulaelawati, E. (2008). *Mencerdasi bencana / Ella Yulaelawati, Usman Syihab.* Jakarta: Gramedia Widiasarana Indonesia.