RANCANG BANGUN *TSUNAMI PODS* SEBAGAI TEMPAT EVAKUASI SEMENTARA (TES) UNTUK MEWUJUDKAN WILAYAH TANGGUH BENCANA

Mirza Ghulam Rifqi¹, M. Shofi'ul Amin², Enes Ariyanto Sandi³

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi 68461

E-mail : mirza@poliwangi.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi 68461

E-mail : shofiul@poliwangi.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi 68461

E-mail : ennesariyanto.sandi@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada pada pertemuan 3 lempeng besar dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng eurasia dan lempeng Pasifik. Selain pergerakan lempeng bumi, aktivitas gunung berapi juga menjadi penyebab bencana gempa bumi. Hal-hal tersebut menjadikan sebagian wilayah Indonesia sebagai wilayah rawan gempa dan *tsunami*. Dalam kejadian *tsunami*, jatuhnya korban dikarenakan terlambat menyelamatkan diri yang disebabkan terlambatnya *early warning* yang diinformasikan pihak terkait dan ketersediaan infrastruktur Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang minim. Rancang bangun dimulai dari penentuan desain dan bentuk awal *tsunami pods*. Rancangan bentuk awal *pods* adalah persegi panjang dengan akses masuk diletakkan di atap *pods*. Selanjutnya adalah dengan melakukan penentuan material yang digunakan sebagai rangka utama dan penutup atau dinding *tsunami pods*. Evaluasi kekuatan struktur dari kombinasi material dan kombinasi beban dilakukan dengan menganalisis pembebanan dan struktur serta pemodelan konstruksi *tsunami pods* menggunakan *software* bantu. Berdasarkan hasil analisis struktur, konstruksi struktur *tsunami pods* dimodelkan dengan menggunakan material struktur menggunakan baja WF 250.125.6.9 sebagai rangka utama dan baja UNP 100.50.5 sebagai *bracing* dan pelat baja *corrugated* SS 400 t.6 mm untuk dinding dan atap, tebal 12 mm untuk *deck* lantai. Hasil analisis menyatakan, rangka dan pelat yang digunakan mampu menahan beban rencana dan desain *pods* mampu menampung 24 orang.

Kata Kunci:

Lempeng, *tsunami*, evakuasi, *pods*, baja

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada pada lempeng bumi yang berdekatan yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng eurasia dan lempeng Pasifik. Hal ini menjadi salah satu penyebab sering terjadinya bencana gempa bumi. Jalur pertemuan lempeng tektonik (zona subduksi) merupakan daerah potensi gempa yang cukup tinggi. Posisi Indonesia pada lempeng dunia ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 Posisi Indonesia pada lempeng dunia [1]

Selain pergerakan lempeng bumi, aktivitas gunung berapi juga menjadi penyebab bencana gempa bumi. Indonesia memiliki 127 gunung aktif [4] dimana beberapa diantaranya berada di bawah laut. Hal-hal tersebut menjadikan sebagian wilayah Indonesia sebagai wilayah rawan bencana gempa dan *tsunami*. *Tsunami* sendiri mengancam kawasan pesisir

Indonesia terutama yang berhadapan dengan Samudera Hindia.

Tsunami merupakan gelombang besar yang terjadi akibat gangguan yang terjadi didasar laut [2]. Gangguan tersebut bisa terjadi akibat gempa, erupsi dasar laut, longsoran dan lain sebagainya. Tercatat beberapa *tsunami* di Indonesia antara lain : *tsunami* di Banyuwangi (1994), *tsunami* Aceh (2004), *tsunami* di Banten (2018) dan lain sebagainya. Seringnya gempa yang terjadi terutama yang terjadi di tengah laut, mengharuskan tiap daerah rawan *tsunami* harus siap dengan mekanisme mitigasi bencana. Kejadian gempa yang terjadi di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.

Dalam kejadian *tsunami*, jatuhnya korban dikarenakan terlambat menyelamatkan diri. Hal ini disebabkan terlambatnya *early warning* yang diinformasikan pihak terkait dan ketersediaan infrastruktur tempat evakuasi sementara yang minim. Kecepatan masyarakat dalam menyelamatkan diri tidak sepadan dengan kecepatan gelombang *tsunami*. Kecepatan *tsunami* dilaut dalam berkisar antara 500-1000 km/jam dengan ketinggian gelombang sekitar 1 m. ketika mendekati pantai, kecepatan *tsunami* menurun hingga 30 km/jam dengan ketinggian yang semakin bertambah hingga puluhan meter [2].

Gambar 2 Peta Gempa Indonesia [5]

Permasalahan yang terjadi adalah, mayoritas daerah rawan bencana tsunami belum siap dalam menghadapi bencana tsunami. Hal ini disebabkan oleh belum siapnya daerah rawan bencana dalam menghadapi bencana tsunami baik dalam hal infrastruktur evakuasi maupun rencana tanggap darurat. Untuk itu, diperlukan penelitian tentang Tempat Evakuasi Sementara (TES) untuk mewujudkan daerah tangguh bencana.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mewujudkan daerah tangguh bencana, yaitu dengan menghadirkan solusi alternatif dalam desain bangunan evakuasi sementara. Penelitian ini difokuskan pada desain arsitektur dan desain struktur atas bangunan evakuasi sementara. Selanjutnya, hasil penelitian akan digunakan untuk pengembangan infrastruktur mitigasi bencana.

Penelitian difokuskan pada struktur atas *shelter*. Perhitungan struktur bawah dilakukan pada penelitian selanjutnya. Lokasi penelitian dilakukan di kawasan pesisir Kabupaten Banyuwangi dengan kondisi tanah lunak.

2. STUDI PUSTAKA

Tsunami

Setiap tempat memiliki waktu evakuasi yang berbeda tergantung pada kuatnya gempa bumi yang terjadi dan lokasi gempa bumi. Sumber terjadinya *tsunami* yang jauh, memberikan waktu evakuasi yang cukup. Sebaliknya sumber terjadinya *tsunami* yang dekat tidak memberikan waktu evakuasi yang cukup. Dalam hal ini penyusunan rencana mitigasi dan rencana respons tanggap darurat membutuhkan Tempat Evakuasi Sementara (TES). Keberadaan *early warning system* sangat dibutuhkan masyarakat sebagai tanda peringatan perlunya segera evakuasi. Hal ini diperlukan mengingat tidak semua fenomena *tsunami* mempunyai tanda-tanda alam yang sama. Demikian pula untuk fenomena *tele-tsunami* yaitu *tsunami* yang terjadi dengan sumber *tsunami* yang berada di sisi lain samudera seperti Samudera Hindia dan/atau Samudera Pasifik, keberadaan sistem peringatan dini sangat dibutuhkan untuk peringatan tanda evakuasi.

Tempat Evakuasi Sementara (TES)

Strategi penyelamatan sebelum gelombang *tsunami* tiba adalah mengevakuasi manusia dari zona bencana baik secara horizontal ataupun vertikal. Di beberapa daerah, evakuasi vertikal kemungkinan merupakan satu-satunya cara evakuasi dari bahaya *tsunami* setempat dengan waktu peringatan yang singkat. Proses evakuasi merupakan cara tanggap darurat dan persiapan darurat, sehingga pertimbangan mitigasi yang utama adalah menentukan lokasi, mendesain, dan membangun bangunan yang dapat menahan gaya-gaya *tsunami* yang diperkirakan dan guncangan tanah akibat gempa.

Menurut [3] kemampuan rata-rata orang sehat dapat berjalan dengan kecepatan 6,44 km per jam atau setara dengan 107 m per menit. Untuk memfasilitasi lokasi evakuasi, diperlukan TES yang dapat dijangkau oleh masyarakat. Referensi [3] sudah merumuskan mengenai jarak maksimum TES berdasarkan waktu peringatan. Rumusan tersebut dijabarkan pada Tabel 1

Tabel 1 Jarak maksimum TES berdasarkan waktu peringatan [3]

Waktu Kedatangan/ Waktu Tiba Tsunami (ETA)	Kecepatan Orang Berjalan (Lemah)	Jarak Perubahan Menuju TES	Jarak Maksimum antara 2 Lokasi TES
2 jam	3,22 km/jam	6,44 km	12,87 km
30 menit	3,22 km/jam	1,61 km	3,22 km
15 menit	3,22 km/jam	804,5 km	1,61 km

Jarak TES yang sesuai untuk wilayah Indonesia adalah kurang dari 1 km atau kurang lebih 699 m dari garis pantai. Dengan jarak ini, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai TES kurang lebih 12,15 menit [12]. Untuk mencapai TES dengan kecepatan yang sudah diprediksikan, maka fasilitas pendukung seperti jalan dan jalur evakuasi dari rumah menuju TES harus disiapkan dengan kondisi baik [13].

Kebutuhan TES di Indonesia sebagai tempat evakuasi masih sangat kurang. Kabupaten Padang sendiri memiliki 13 TES dan jumlah tersebut masih sangat kurang untuk mencakup luasan wilayah Kabupaten Padang [8]. Untuk beberapa daerah dengan potensi bahaya khusus di daerah tersebut, diperkenalkan tempat evakuasi untuk tiap orang, atau lebih dikenal lubang evakuasi [15].

Penentuan Tata Ruang

Dengan mempertimbangkan efektivitas penggunaan ruang dan kenyamanan pengguna *Pods*, maka diperlukan dasar perhitungan kebutuhan ruangan untuk tiap orang beserta *space* yang dibutuhkan oleh masing-masing orang.

Standar ukuran manusia dan kebutuhan ruang untuk manusia dengan posisi duduk, menggunakan standar *universal* dan ukuran manusia serta kebutuhan ruang manusia [9] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Dengan mempertimbangkan efektivitas penggunaan ruang dan kenyamanan pengungsi di tempat evakuasi tsunami maka dipilih standar kebutuhan ruang dari “Architects’ Data” seperti pada [9] dimana pengungsi diasumsikan duduk di atas kursi selama menunggu waktu kritis gelombang tsunami mereda.

Gambar 3 Kebutuhan ruang manusia dengan posisi duduk di kursi [9]

Perhitungan Struktur

Dalam hal ini, pembebanan struktur baja didasarkan pada [6] tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.. Analisis pembebanan dan kombinasi pembebanan dilakukan dengan bantuan *software* bantu.

Beban Mati (Dead Load)

Merupakan beban yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap [2]. Termasuk di dalamnya adalah berat kolom, balok, pelat dan komponen-komponen di dalam bangunan yang membebani struktur bangunan. Beban mati pada struktur bangunan *tsunami pods* adalah rangka baja.

Tabel 2 Data berat material rangka baja

Beban	Profil	Berat Kg/m
Kolom	WF 250.125.6.9	29,60 kg
Balok Memanjang	WF 250.125.6.9	29,60 kg
Balok Melintang	WF 250.125.6.9	29,60 kg
Balok Pembagi	UNP 100.50.5	9,37 kg

Tabel 3 Data berat material pelat penutup

Beban	Profil	Berat Kg/m
Pelat CSP dinding	SS 400 t. 6 mm	14,60 kg
Pelat CSP atap	SS 400 t. 6 mm	14,60 kg
Pelat CSP lantai	SS 400 t. 12 mm	14,60 kg
Pelat datar lantai	SS 400 t. 12 mm	14,60 kg

Beban mati *tsunami pods* terdiri dari beban mati kolom, balok, *bracing* dan pelat baja penutup *tsunami pods*. Beban struktur utama rangka baja yang digunakan disajikan pada Tabel 2 dan beban pelat penutup *tsunami pods* ditunjukkan pada Tabel 3.

Beban Hidup (Live Load)

Merupakan beban yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain [6]. Di dalamnya termasuk manusia yang beraktivitas pada bangunan tersebut, barang-barang yang dapat dipindahkan dan membebani lantai dan komponen struktur bangunan.

Beban Gempa (Earthquake Load)

Merupakan beban yang ditimbulkan oleh gempa [6]. Analisis beban gempa bisa dilakukan menggunakan analisis gempa dinamik dan analisis gempa statik ekuivalen. Beban gempa dan mekanisme perhitungan struktur terhadap beban gempa menggunakan referensi [5].

Beban Tsunami (Tsunami Load)

Beban tsunami merupakan beban yang terjadi akibat pergerakan *tsunami*, yang diakibatkan oleh gaya hidrostatik, gaya apung, gaya hidrodinamik, gaya impulsif, gaya tumbukan debris atau hanyutan puing, gaya tahanan debris atau hanyutan puing, gaya *uplift* dan beban gravitasi tambahan oleh genangan air di atap atau lantai atas [3]. Dalam menghitung beban-beban *tsunami*

Gaya hidrostatik dan gaya apung harus dihitung ketika lantai dasar bangunan cukup kedap air dan cukup terisolasi dari masuknya air [3]. Distribusi gaya hidrostatik dan lokasi resultan ditunjukkan pada Gambar 4. Gaya hidrostatik dan gaya apung dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$F_h = p_c \cdot A_w = \frac{1}{2} \rho_s \cdot g \cdot b \cdot h_{max}^2 \quad (1)$$

Gambar 4 Distribusi gaya hidrostatik dan lokasi resultan [3]

Gaya apung akan bekerja secara vertikal ke atas. Gaya apung sebanding dengan berat air yang memasuki bangunan [4]. Untuk struktur yang kedap air, gaya apung total dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

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

Ketika air mengalir di sekitar struktur bangunan, hal tersebut mengakibatkan tiap komponen struktur akan mengalami gaya hidrodinamik [3]. Distribusi gaya hidrodinamik dan lokasi resultannya ditunjukkan pada Gambar 5. Gaya hidrodinamik dapat dihitung menggunakan persamaan (3)

Gambar 5 Distribusi gaya hidrodinamik dan lokasi resultan [3]

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

Gaya impulsif terjadi pada struktur yang pertama kali dihantam gelombang. Hampir di setiap struktur bangunan mengalami hantaman gelombang pada saat gelombang pertama datang. Menurut data uji laboratorium, kekuatan impulsif maksimum kurang lebih 1,5 kali dari gaya hidrodinamik [3]. Untuk mengetahui kekuatan gaya impulsif, bisa menggunakan persamaan (4).

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

Dampak dari gaya hempasan gelombang yang membawa serpihan atau puing-puing (*debris*) atau bongkahan material (kayu, perahu, kapal, material, mobil dll.) dapat mengakibatkan kerusakan yang dominan pada bangunan [3]. Gaya pukulan *debris* dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$F_i = C_m \cdot u_{max} \cdot \sqrt{k \cdot m} \quad (5)$$

Kombinasi Pembebanan

Dalam perhitungan pembebanan, kombinasi pembebanan mengikuti standar yang dijelaskan pada [3]. Kombinasi pembebanan untuk *tsunami pods* adalah :

Kombinasi 1 : $1,2 D + 1,0 T_s + 1,0 L_{REF} + 0,25 L$

Kombinasi 2 : $0,9 D + 1,0 T_s$

Dimana D adalah beban mati, T_s adalah beban tsunami, L_{REF} adalah beban pelaksanaan dan L adalah beban hidup selain beban pelaksanaan [3].

3. METODOLOGI

Penentuan Desain Awal *Tsunami Pods*

Penelitian ini dimulai dari penyusunan pradesain, desain konstruksi Desain awal bangunan *tsunami pods* ditentukan, yaitu dengan sistem *pod* berbentuk persegi panjang.

Dimensi ditentukan berdasarkan kebutuhan ruang sebagaimana dijelaskan pada [9].

Analisis Struktur dan Pembebanan

Setelah dilakukan penentuan bentuk dan desain *tsunami pods*, selanjutnya dilakukan analisis pembebanan dan struktur terhadap desain secara 3D menggunakan bantuan *software*. Analisis dilakukan untuk material penyusun *tsunami pods*, beban rencana dan konstruksi bangunan. Beban rencana disesuaikan dengan pedoman seperti pada [3].

Pemodelan dan Desain Konstruksi *Tsunami Pods*

Hasil analisis terhadap desain *tsunami pods*, dijadikan dasar pemodelan dan desain akhir konstruksi struktur *tsunami pods*. Material yang sudah dianalisis ditetapkan sebagai material struktur untuk *tsunami pods*.

Analisis dan Kesimpulan

Hasil analisis material penyusun *tsunami pods* dan hasil gambar perencanaan *tsunami pods* disusun dan dianalisis serta dilakukan pembahasan. Hasil dari analisis dan pembahasan menjadi pertimbangan dan kesimpulan mengenai konsep *tsunami pods*.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penentuan Desain Awal *Tsunami Pods*

Penentuan desain awal *tsunami pods* menggunakan bentuk persegi panjang dengan 11 m x 3.025 m. Material konstruksi yang digunakan adalah baja WF 250.125.6.9 sebagai rangka utama dan baja UNP 100.50.5 sebagai *bracing* serta pelat *corrugated* SS 400 sebagai penutup *tsunami pods*. Kebutuhan ruang duduk tiap orang dengan menggunakan kursi adalah 0,54 m² yaitu 0,86 m x 0,625 m. Tata ruang utama *tsunami pods* terbagi dalam 2 (dua) ruang utama, yaitu ruang penyimpanan dan ruang berlindung. Dimensi ruang penyimpanan adalah 3.025 m x 2.063 m sedangkan dimensi ruang berlindung adalah 8,938 m x 3.025 m. Denah *tsunami pods* ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 Denah *tsunami pods*

Analisis Struktur dan Pembebanan

Material yang digunakan pada desain *tsunami pods* Perencanaan rangka utama menggunakan baja WF 250.125.6.9 sebagai rangka utama dan baja UNP 100.50.5

sebagai *bracing* serta pelat *corrugated* SS 400 sebagai penutup *tsunami pods*. Mutu material yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil analisis struktur dituangkan ke dalam gambar rencana struktur *tsunami pods*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 4 Mutu material

Material	f_y	f_u
WF 250.125.6.9	2400 kg/cm ²	3700 kg/cm ²
UNP 100.50.5	2400 kg/cm ²	3700 kg/cm ²
SS 400	2400 kg/cm ²	3700 kg/cm ²

Gambar 7 Rencana struktur *tsunami pods*

Berat konstruksi rangka utama WF 250.125.6.9 adalah 3.065,080 kg dan *bracing* UNP 100.50.5 adalah 371,570 kg. Berat pelat penutup rangka CSP t = 6 mm adalah 1.401,235 kg, CSP t = 12 mm adalah 485,815 kg, pelat datar t = 6 mm adalah 485,815 kg. Berat total konstruksi baja *tsunami pods* adalah 6.408,461 kg.

Beban *tsunami*

Beban *tsunami* yang diperhitungkan dalam desain struktur *tsunami pods* adalah gaya hidrodinamik, gaya impulsif, gaya tahanan terhadap tumbukan puing atau hanyutan puing dan gaya tumbukan puing. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan data beban *tsunami*, antara lain :

Gaya hidrodinamik (F_h)	=	725,528 kN/m
Gaya impuls (F_s)	=	8,800 kN/m
Gaya tumbukan puing (F_i)	=	5,867 kN/m
Gaya Uplift (F_b)	=	39,171 kN/m

Beban Gempa

Berdasarkan kombinasi pembebanan yang dijelaskan pada referensi [3], komponen beban gempa tidak terdapat dalam kombinasi pembebanan. Komponen pembebanan yang terdapat pada kombinasi pembebanan adalah beban mati (D), beban tsunami (T_s), beban pelaksanaan (L_{REFF}) dan beban hidup selain beban pelaksanaan (L). Meskipun demikian, perlu dilakukan pemeriksaan kekuatan terhadap beban gempa.

Beban gempa yang dipakai yaitu menggunakan beban gempa respons *spectrum* yang mengacu referensi dan mempertimbangkan dengan hasil dari aplikasi Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Kementerian PUPR. Setelah dikroscek dengan peta gempa pada aplikasi Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Kementerian PUPR hasilnya

sama. Sehingga nilai tersebut digunakan dalam menentukan grafik respons spektrumnya. Nilai Respons Spektrum Desain disajikan pada Tabel 5 dan grafik respons spektrum ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 5 Perhitungan Respons Spektrum Desain

Simbol Waktu Getar (T)	Waktu Getar (T)	Percepatan Respons Spektra (S_a)
(0,4 x SDS)	0	0.2444
T_0	0.186	0.611
T_s	0.928	0.6110
$T_s + 0,1$	1.028	0.551556
$T_s + 0,2$	1.128	0.50266
$T_s + 0,3$	1.228	0.461726
$T_s + 0,4$	1.328	0.426958
$T_s + 0,5$	1.428	0.397059
$T_s + 0,6$	1.528	0.371073
$T_s + 0,7$	1.628	0.34828
$T_s + 0,8$	1.728	0.328125
$T_s + 0,9$	1.828	0.310175
$T_s + 1,0$	1.928	0.294087
$T_s + 1,1$	2.028	0.279586
$T_s + 1,2$	2.128	0.266447
$T_s + 1,3$	2.228	0.254488
$T_s + 1,4$	2.328	0.243557
$T_s + 1,5$	2.428	0.233526
$T_s + 1,6$	2.528	0.224288
$T_s + 1,7$	2.628	0.215753
$T_s + 1,8$	2.728	0.207845
$T_s + 1,9$	2.828	0.200495
$T_s + 2,0$	2.928	0.193648
$T_s + 2,1$	3.028	0.187252
$T_s + 2,2$	3.128	0.181266
$T_s + 2,3$	3.228	0.175651
$T_s + 2,4$	3.328	0.170373

Simbol Waktu Getar (T)	Waktu Getar (T)	Percepatan Respons Spektra (Sa)
T _s + 2,5	3.428	0.165403
T _s + 2,6	3.528	0.160714
T _s + 2,7	3.628	0.156284
T _s + 2,8	3.728	0.152092
T _s + 2,9	3.828	0.148119
T _s + 3,0	3.928	0.144348
3.1	4	0.14175

Gambar 8 Respons spectrum Desain

Hasil simpangan yang terjadi akibat gempa arah X menunjukkan nilai mendekati 0. Hal tersebut bernilai sangat kecil sekali, sehingga dipastikan akibat gempa konstruksi tersebut masih aman. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9 Hasil Simpangan yang terjadi akibat gempa arah X

Gambar 10 Hasil Simpangan yang terjadi akibat gempa arah Y

Hasil simpangan yang terjadi akibat gempa arah Y menunjukkan nilai mendekati 0. Hal tersebut bernilai sangat kecil sekali, sehingga dipastikan akibat gempa konstruksi tersebut masih aman. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 10.

Analisis pelat CSP

Analisis pelat CSP dan pelat datar digunakan untuk mengetahui karakteristik material pelat yang digunakan. Ilustrasi analisis CSP 6 mm ditunjukkan pada Gambar 11. Dari analisis perhitungan, diperoleh :
Nilai a = 17,5 cm, b = 17,5 cm

Luas penampang 1 dan 5 adalah 12 cm², sedangkan luas penampang 2 dan 3 dan 4 adalah 15 cm². Perhitungan titik berat terhadap x diperoleh nilai 10 cm dan perhitungan titik berat terhadap y diperoleh nilai 50 cm.

Gambar 11 Analisis CSP 6 mm pelat dinding

Perhitungan momen inersia untuk penampang 1 dan 5 adalah :

$$I_x = 0,36 \text{ cm}^4, I_y = 400 \text{ cm}^4$$

Momen inersia untuk penampang 2 dan 4 adalah :

$$I_x = 0,45 \text{ cm}^4, I_y = 781,25 \text{ cm}^4$$

Analisis pelat datar

Perhitungan titik berat terhadap x diperoleh nilai 0,3 cm dan perhitungan titik berat terhadap y diperoleh nilai 50 cm. Perhitungan momen inersia adalah :

$$I_x = 1,8 \text{ cm}^4, I_y = 50000 \text{ cm}^4$$

Ilustrasi analisis pelat datar 6 mm ditunjukkan pada Gambar 12.

Gambar 12 Analisis pelat datar 6 mm pelat dinding

Dapat disimpulkan bahwa untuk mengetahui modulus penampang dengan mengambil alternatif paling menentukan pada CSP :

- modulus penampang (pelat biasa t = 6 mm)

$$Z_{x1} = \frac{I_x}{y} = \frac{1,8}{0,3} = 6 \text{ cm}^3$$

- modulus penampang (CSP t = 6 mm)

$$Z_{x1} = \frac{I_x}{y} = \frac{1,8}{0,3} = 6 \text{ cm}^3$$

$$\text{Nilai perbandingan} = \frac{154,51}{6} = 25,75 \text{ kali}$$

Dalam permodelan perhitungan “kontrol desain” untuk mengetahui tegangan-tegangan maksimum pada pelat/shell digunakan tebal pelat biasa pada dinding :

$$\frac{1}{10} \times 6 \times 25,75 = 15,45 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

Selanjutnya, kontrol desain dilakukan dengan menggunakan aplikasi program bantu komputer struktur.

Analisis dan Pemodelan 3D Tsunami Pods

Hasil analisis disimulasikan secara 3D menggunakan *software* bantu komputer. Simulasi dilakukan untuk mengetahui tegangan-tegangan yang terjadi pada rencana *tsunami pods*. Komponen struktur yang mengalami tegangan dan beban luar seperti beban tsunami, beban/gaya debris dsb adalah pelat pembungkus *shelter*. Berdasarkan hasil pemodelan, menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada area bawah *tsunami pods*. Sebagaimana rumusan pada perhitungan beban *tsunami*, dimana 1/3 tinggi dinding menerima beban tumbukan puing (*debris*). Permodelan tegangan *tsunami pods* ditunjukkan pada Gambar 13.

Gambar 13 Permodelan tegangan *tsunami pods*

Tegangan maksimum yang terjadi pada pelat dinding *tsunami pods* sebesar 1.814,88 kg/cm². Nilai tegangan yang terjadi pada pelat dinding *tsunami pods* masih di bawah nilai tegangan maksimum material, yaitu 3.700 kg/cm². Ilustrasi tegangan yang terjadi pada pelat dinding *tsunami pods* ditunjukkan pada Gambar 14.

Gambar 15 menunjukkan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada pelat atap *tsunami pods* yaitu sebesar 3.179,41 kg/cm². Nilai ini masih berada di bawah nilai tegangan maksimum material pelat atap, yaitu sebesar 3.700 kg/cm². Beban yang diterima oleh atap adalah beban mati dan gravitasi tambahan akibat terjadinya penambahan air di atap *tsunami pods*.

Gambar 14 Tegangan maksimum *wall plate* pada *tsunami pods*

Gambar 15 Tegangan maksimum *top plate* pada *tsunami pods*

Bottom plate merupakan penutup bawah *tsunami pods* atau lantai dari *tsunami pods*. Beban yang diterima adalah beban hidup penumpang atau penghuni *tsunami pods*. Tegangan maksimum yang terjadi pada bagian ini sebesar 3.354,39 kg/cm². Nilai tersebut masih berada di bawah nilai tegangan material penutup dasar *tsunami pods* yaitu 3.700 kg/cm². Ilustrasi tegangan maksimum pada *bottom plate* ditunjukkan pada Gambar 16.

Gambar 16 Tegangan maksimum *bottom plate* pada *tsunami pods*

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan 3D terhadap *tsunami pods*, dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan pada rencana awal desain *tsunami pods* aman digunakan.

Desain Konstruksi *Tsunami Pods*

Desain *tsunami pods* menggunakan desain persegi panjang. Dimensi *exterior pods* panjang 11.00 m lebar 3.025 m dan tinggi 2.58 m. Dimensi *interior* panjang 10.63 m, lebar 2.65 m dan tinggi 2.08 m. *Tsunami pods* melayani 24 orang dengan dimensi tiap kursi 0.625 m x 0.86 m dengan *space* sirkulasi 0.936 m. pembagian ruang *tsunami pods* ditunjukkan pada Gambar 17.

Gambar 17 Pembagian ruang dan komponen *tsunami pods*

Ruang penyimpanan menampung keperluan pendukung kehidupan, seperti makanan, cadangan oksigen dan obat-obatan standar. Terdapat 3 (tiga) akses masuk ke dalam *tsunami pods*, yaitu 2 (dua) akses masuk penghuni dan 1 (satu) akses masuk *maintenance*. Ilustrasi kondisi *tsunami pods* ditunjukkan pada Gambar 18.

Gambar 18 Potongan memanjang *tsunami pods*

Dalam mendukung keselamatan *tsunami pods*, *exterior tsunami pods* dilengkapi dengan lampu *obstruction* yang memberi informasi mengenai posisi dan kondisi penghuni *tsunami pods*. Instruksi dan panduan disampaikan melalui *speaker* yang terdapat disisi luar *tsunami pods*. Suplai energi listrik diperoleh dari panel tenaga surya yang terdapat diatas *tsunami pods*. Input energi listrik yang diperoleh akan disimpan dalam baterai yang ada di dalam *tsunami pods*. Pengaman atap *tsunami pods* dilengkapi dengan railing untuk melindungi operator pada saat proses *maintenance*. Ilustrasi kondisi *exterior* ditunjukkan pada Gambar 19.

Energi listrik diperoleh dari panel surya pada atap dan energi cadangan listrik disimpan pada baterai yang tersimpan di bawah dek lantai. Tiap kursi dilengkapi dengan sabuk pengaman untuk menghindari cedera pada saat kemungkinan *tsunami pods* terguling. Di bawah kursi dilengkapi dengan jaket pelampung dan *life bag* yang harus

dikenakan pada saat dilakukan perpindahan atau evakuasi lanjutan. Di atas kursi terdapat masker oksigen yang wajib dikenakan jika kondisi oksigen di dalam kabin terjadi penurunan. Ilustrasi kondisi kabin *tsunami pods* ditunjukkan pada Gambar 20 dan Gambar 21.

Gambar 19 Perspektif *tsunami pods*

Gambar 20 Potongan melintang interior

Gambar 21 Potongan memanjang interior

Sistem mekanikal elektrik tersimpan di dalam plafon dan dinding *tsunami pods*. Jalur oksigen dari tabung oksigen ke masker oksigen ditiap kursi tersimpan di dalam plafon. Informasi kondisi luar disampaikan melalui monitor yang disediakan di dalam kabin *tsunami pods*. Suplai oksigen, pencahayaan dan tata udara tersimpan di dalam dinding dan plafon atau di bawah atap *pods*. Material pelapis dinding dan atap menggunakan material fiber semen yang di dalamnya terdapat sistem elektrik untuk pencahayaan, komunikasi dan tata udara. Ilustrasi kabin disampaikan pada Gambar 21.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan perencanaan atau rancang bangun *tsunami pods* sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES), dapat disimpulkan bahwa *Tsunami pods* didesain menggunakan pelat *corrugated* (CSP) dengan dimensi *exterior pods* panjang 11.00 m lebar 3.025 m dan tinggi 2.58 m. Dimensi *interior* panjang 10.63 m, lebar 2.65 m dan tinggi 2.08 m. *Deck* lantai menggunakan plat datar 12 mm.

Hasil perhitungan struktur menunjukkan bahwa rangka baja WF 250.125.6.9 sebagai kolom dan balok, UNP 100.50.5 sebagai *bracing* dan pelat *corrugated* SS 400 aman digunakan sebagai material konstruksi *tsunami pods*.

Sistem mekanikal dan elektrik tersimpan di dalam *deck* lantai, dinding dan plafon *pods*. Baterai sebagai *power supply* disimpan di bawah *deck* lantai. Suplai oksigen, pencahayaan dan tata udara tersimpan di dalam dinding dan plafon atau di bawah atap *pods*. Sedangkan dinding dan atap dilapisi dengan material fiber semen yang di dalamnya terdapat sistem elektrik untuk pencahayaan, komunikasi dan tata udara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Banyuwangi dan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi atas semua fasilitas dan dukungan yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan Penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>. (1999, Januari 23). Dipetik Oktober 11, 2019, dari <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/>
- [2]. <http://p2mb.geografi.upi.edu/>. (2010). Dipetik Oktober 4, 2019, dari <http://p2mb.geografi.upi.edu/Tsunami.html>
- [3]. FEMA P-646 *tentang Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis*. (2012). California: Federal Emergency Management Agency.
- [4]. <http://lipi.go.id/>. (2012, Mei 2). Dipetik Oktober 4, 2019, dari <http://lipi.go.id/berita/single/Indonesia-Miliki-127-Gunung-Api-Aktif/7448>
- [5]. SNI 1726 : 2012 *tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. (2012). Jakarta: BSN Indonesia.
- [6]. SNI 1729 : 2015 *tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. (2015). Jakarta: BSN Indonesia.
- [7]. Ashar, F., & dkk. (2014). The analysis of tsunami vertical shelter in Padang city. *4th International Conference on Building Resilience* (hal. 916-923). Salford Quays: Procedia Economics and Finance.
- [8]. Ashar, F., Amaratunga, D., & Haigh, R. (2014). The analysis of tsunami vertical shelter in Padang city. *4th International Conference on Building Resilience* (hal. 916-923). Salford Quays: Procedia Economics and Finance.
- [9]. Ernst, & Neufert, P. (1996). *Architects' Data*. Jakarta: PT. Penerbit Erlangga.
- [10]. Pimanmas, A. &. (2011). Structural Design Guideline For Tsunami Evacuation Shelter. *Journal of Earthquake and Tsunami*.
- [11]. Rita, E., & dkk. (2017). Tsunami Shelter in Padang City: Location Suitability and Management Issue. *3rd International Conference on Construction and Building Engineering (ICONBUILD)* (hal. 110003-1 - 110003-6). AIP Publishing.
- [12]. Rita, E., Permata, R., Yonne, H., & Carlo, N. (2017). Tsunami Shelter in Padang City: Location Suitability and Management Issue. *3rd International Conference on Construction and Building Engineering (ICONBUILD)* (hal. 110003-1 - 110003-6). AIP Publishing.
- [13]. Suharyanto, A., & dkk. (2012). Predicting Tsunami Inundated Area and Evacuation Road Based On Local Condition Using GIS. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 5-11.
- [14]. Suharyanto, A., Pujiraharjo, A., Usman, F., & Murakami, K. (2012). Predicting Tsunami Inundated Area and Evacuation Road Based On Local Condition Using GIS. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 5-11.
- [15]. Sun, Y., Yamori, K., Tanisawa, R., & Kondo, S. (2013). Consciousness of Disaster Risk and Tsunami Evacuation: A Questionnaire Survey in Okitsu, Kochi Prefecture. *Journal of Natural Disaster Science*, 127-141.