

## ACE 3-001 Pemodelan Optimasi Evakuasi Tsunami di Kota Padang

Siska Anggria<sup>1</sup>, Mahdhivan Syafwan<sup>1</sup>, Efendi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam, Universitas Andalas  
\*siskaalthafunnisa@gmail.com

### Intisari

Pada paper ini dibahas formulasi model optimasi sederhana untuk menentukan skenario terbaik dalam proses evakuasi tsunami. Model ini kemudian diselesaikandengan mengambil Kota Padang sebagai studi kasus. Dalam hal ini, objek observasi dibatasi pada beberapa kelurahan di Kota Padang yang dinilai memiliki dampak resiko terbesar jika terjadi tsunami. Masalah pemrograman linier yang muncul pada model diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode simpleks. Hasil-hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu evakuasi di kelurahan-kelurahan yang rawan memungkinkan kurang dari 15 menit, dengan asumsi adanya shelter tambahan yang dapat diakses oleh penduduk di Kelurahan Air Tawar Barat, Kelurahan Ulak Karang Utara, dan Kelurahan Ulak Karang Selatan.

Kata kunci: Pemrograman Linier, Metode Simpleks, Model Evakuasi Tsunami

### PENDAHULUAN

Tsunami terjadi karena adanya gangguan yang mengakibatkan perpindahan sejumlah besar air laut. Gangguan tersebut dapat berupa letusan gunung api, gempa bumi bawah laut, longsor atau meteor yang jatuh ke bumi. Namun berdasarkan catatan sejarah, 90% tsunami terjadi karena gempa bawah laut, seperti yang terjadi di Aceh dan Jepang beberapa tahun yang lalu [5].

Wilayah Indonesia sendiri berada pada pertemuan lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Akibatnya Indonesia menjadi daerah yang beresiko tinggi terjadi gempa bumi yang diikuti tsunami. Saat ini, pemerintah pusat, pemerintah daerah maupun para ahli kegempaan menyadari akan adanya potensi gempa besar disertai

tsunami di Sumatera Barat, khususnya di Mentawai Megathrust. Jika gempa megathrust ini terjadi, maka dapat dipastikan tsunami akan menyapu bersih kota-kota di sepanjang pesisir barat Sumatera, termasuk Kota Padang.

Mengingat potensi bencana yang mematikan ini, maka perlu dilakukan berbagai upaya penanggulangan dan manajemen kebencanaan di Kota Padang agar dapat mencegah atau paling tidak mengurangi jumlah korban baik harta maupun jiwa. Upaya penyelamatan jiwa manusia apabila terjadi bencana tsunami ini sudah dikembangkan oleh pemerintah Indonesia melalui *Indonesia Tsunami Early Warning System* (InaTEWS) [4]. Sistem ini dikontrol langsung oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) di Jakarta. Dengan adanya InaTEWS ini, BMKG dapat mengirim peringatan dini tsunami. Rata-rata waktu yang dibutuhkan masyarakat untuk mempersiapkan diri dalam evakuasi tsunami adalah kurang dari 30 menit setelah gempa terjadi. Dengan waktu yang sangat terbatas ini, diperlukan sekali rancangan skenario terbaik agar proses evakuasi berlangsung seoptimal mungkin.

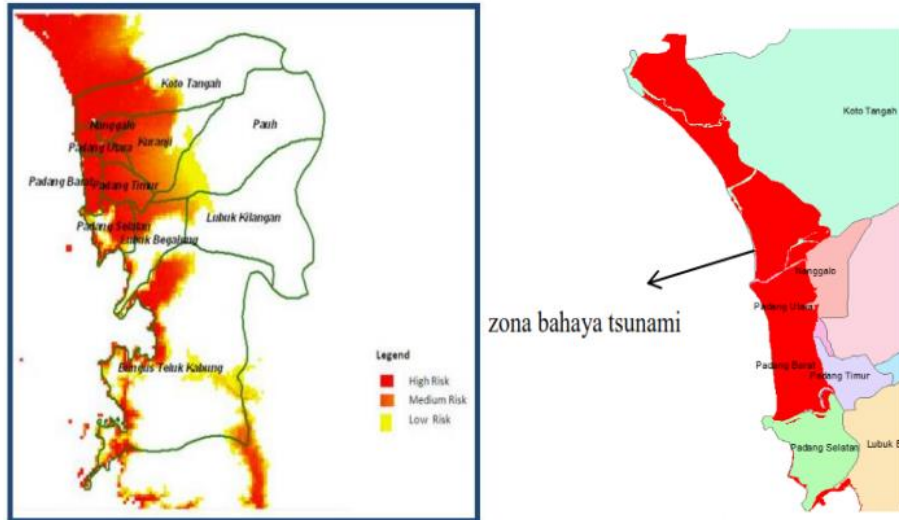
Pada paper ini akan dibahas konstruksi dan simulasi model optimasi dari proses evakuasi tsunami di Kota Padang. Kajian pada paper ini merujuk pada studi yang dilakukan oleh Kusdiantara dkk [2] dengan memperbaiki skenario evakuasi sehingga menjadi lebih realistis serta melakukan pemutakhiran dan penambahan data geografis dan demografis yang digunakan pada simulasi model. Karena keterbatasan alat komputasi (MATLAB) dalam melakukan perhitungan yang melibatkan banyak data serta sulitnya memperoleh data yang akurat, maka simulasi model optimasi evakuasi tsunami pada paper ini dibatasi untuk kasus Kecamatan Padang Utara dan Kecamatan Padang Barat yang difokuskan pada beberapa kelurahan yang memiliki dampak resiko terbesar (*high risk*) apabila terjadi tsunami.

## **PETA ZONA BAHAYA TSUNAMI KOTA PADANG**

Sebagai upaya mitigasi bencana tsunami, pemerintah Kota Padang bersama elemen terkait telah membuat peta zona bahaya tsunami yang disusun berdasarkan analisis para ahli gempa dan tsunami (lihat Gambar 1). Berdasarkan peta tersebut, daerah Kota Padang terbagi atas 3 zona, yaitu:

- (1) *High Risk Zone* (daerah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap tsunami), yaitu daerah dengan warna sangat merah.
- (2) *Medium Risk Zone* (daerah dengan tingkat kerentanan menengah terhadap tsunami), yaitu daerah dengan warna merah muda.

- (3) *Low Risk Zone* (daerah dengan tingkat kerentanan rendah terhadap tsunami), yaitu daerah dengan warna kuning.



Gambar 1. Zona Rawan Tsunami Kota Padang [3]

Sebaran resiko per kecamatan di Kota Padang berdasarkan potensi bencana tsunami adalah [3]:

- (1) *High Risk Zone*: Kecamatan Padang Barat, Kecamatan Padang Utara, Kecamatan Nanggalo, sebagian Kecamatan Koto Tangah.
- (2) *Medium Risk Zone*: Kecamatan Padang Timur, Kecamatan Padang Selatan, Kecamatan Lubuk Begalung, Kecamatan Kuranji, Kecamatan Bungus Teluk Kabung.
- (3) *Low Risk Zone*: Kecamatan Lubuk Kilangan, Kecamatan Pauh, sebagian Kecamatan Koto Tangah.

Berdasarkan data jumlah penduduk Kota Padang di zona bahaya tsunami pada tahun 2010, Kecamatan Padang Barat merupakan kecamatan yang penduduknya berada pada daerah tsunami paling banyak (100%) dan disusul kemudian oleh Kecamatan Padang Utara (88,39%) [lihat Tabel 1][1].

Tabel 1. Penduduk Kota Padang di Zona Bahaya Tsunami Tahun 2010 [1]

NO	Kecamatan	Jumlah Penduduk ( orang )	Jumlah Penduduk di Zona Tsunami	
			( orang )	( persen )
1	Bungus Teluk Kabung	23.200	0	0
2	Kuranji	126.520	0	0
3	Lubuk Kilangan	49.127	0	0
4	Pauh	59.075	0	0
5	Koto Tengah	162.494	17.524	10,78
6	Lubuk Begalung	106.465	1.026	0,96
7	Nanggalo	57.221	16.186	28,29
8	Padang Barat	45.321	45.321	100,00
9	Padang Selatan	57.676	3.793	6,58
10	Padang Timur	77.675	29.614	38,13
11	Padang Utara	68.810	60.819	88,39
Total		833.584	174.283	20,91

Selanjutnya berdasarkan analisis kelompok rentan dan letak wilayahnya, Kecamatan Padang Barat dan Kecamatan Padang Utara merupakan wilayah yang kemungkinan terkena dampak tsunami yang cukup besar.

Dari penjelasan di atas, serta ditambah dengan kendala memperoleh data yang akurat, maka simulasi model evakuasi tsunami pada paper ini dibatasi untuk Kecamatan Padang Utara dan Kecamatan Padang Barat yang difokuskan pada beberapa kelurahan yang memiliki resiko memakan korban terbanyak dan terisolasi ketika terjadi tsunami, yaitu Kelurahan Air Tawar Barat, Kelurahan Ulak Karang Utara, Kelurahan Ulak Karang Selatan, Kelurahan Plamboyan Baru, Kelurahan Rimbo Kaluang, Kelurahan Ujung Gurun, Kelurahan Purus, Kelurahan Olo, Kelurahan Belakang Tangsi, dan Kelurahan Berok Nipah [3].

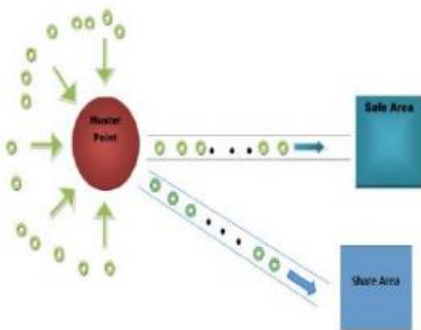
### SKENARIO EVAKUASI TSUNAMI

Pada proses evakuasi tsunami ini, wilayah Kota Padang dibagi dalam cluster-cluster yang masing-masing memiliki beberapa *muster point* (titik kumpul) dan beberapa *safe area* (tempat aman). Selain itu juga ada *shared area* yang dapat diakses oleh antar cluster. Adapun skenario evakuasi tsunami yang digunakan pada paper ini adalah sebagai berikut:

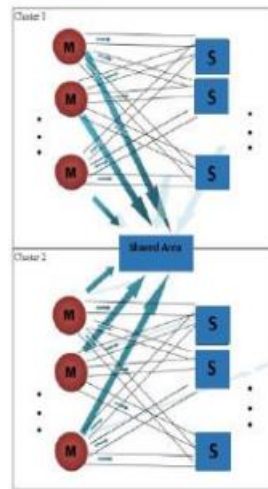
- (1) Sesaat setelah alarm tsunami berbunyi, penduduk dalam suatu cluster berkumpul di *muster point* terdekat yang berada dalam cluster yang sama.

- (2) Dari *muster point* tersebut, penduduk dievakuasi ke beberapa *safe area* tertentu dalam cluster yang sama dengan distribusi yang akan ditentukan dalam penyelesaian model nantinya.
- (3) Selain menuju ke tempat aman, penduduk juga dapat melakukan evakuasi ke *shared area*.

Untuk lebih jelas, skenario evakuasi tersebut diilustrasikan dalam Gambar 2. Pada gambar tersebut, lingkaran hijau menyatakan penduduk yang akan dievakuasi. Mereka berkumpul di *muster point* untuk kemudian melakukan evakuasi ke *safe area* dalam cluster yang sama atau juga dapat menuju ke *shared area* antar cluster.



Gambar 2. Ilustrasi Evakuasi Tsunami



Gambar 3. Ilustrasi Untuk Banyak Cluster dengan terdapat Shared Area

## FORMULASI MODEL

Asumsi-asumsi yang dipakai pada model evakuasi tsunami ini adalah:

- (1) Tidak ada yang menggunakan kendaraan selama proses evakuasi. Mereka yang sedang mengendarai kendaraan, ketika alarm tsunami berbunyi, langsung mematikan kendaraan dan keluar dari kendaraannya untuk kemudian melakukan evakuasi dengan berlari.
- (2) Setiap orang berlari dengan kecepatan konstan.
- (3) Jarak antara setiap orang yang berlari adalah tetap.
- (4) Setiap orang dapat berlari pada jalur evakuasi dalam beberapa lajur (*lane*).

- (5) Kendaraan yang terparkir di jalur evakuasi dianggap tidak mengganggu proses evakuasi karena setiap orang dapat melewati celah-celah yang ada.
- (6) Penduduk dianggap dalam keadaan siap evakuasi dan sudah berada pada *muster point*.
- (7) Semua orang yang dievakuasi di setiap daerah (kelurahan) adalah penduduk di daerah tersebut.
- (8) Penduduk tersebar secara merata pada tiap-tiap *muster point* di setiap daerah (dalam hal ini kelurahan).
- (9) Semua orang harus dievakuasi.
- (10) Tidak terjadi kemacetan.

Dari asumsi-asumsi tersebut, kita dapat membangun model matematika untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengevakuasi sejumlah orang pada suatu lajur dengan panjang tertentu di tiap daerah/cluster (kelurahan). Berdasarkan skenario evakuasi tsunami, penduduk dari tiap *muster point* akan dievakuasi ke *safe area* atau *shared area* pada suatu cluster. Misalkan dalam tiap cluster terdapat  $n$  *muster point* dan  $m$  *safe area*. Misalkan pula terdapat sejumlah  $N$  orang yang melakukan evakuasi pada 1 buah lajur dengan panjang  $L$ . Setiap orang berlari dengan kecepatan konstan  $v$  dimana jarak antar orang adalah  $d$ . Banyaknya orang yang akan dievakuasi dari tiap *muster point* ke  $m$  *safe area* melibatkan proporsi orang di setiap lajur yang dilalui, yaitu orang yang melewati jalur ke-  $j$  bergantung pada proporsi  $x_j$  yang berasal dari populasi orang pada *muster point*. Selain itu, skenario evakuasi tsunami juga melibatkan *shared area* yang bisa diakses oleh beberapa cluster yang berdekatan. Skenario evakuasi tersebut dapat diilustrasikan dalam Gambar 3. Dengan demikian, formulasi untuk waktu evakuasi sejumlah orang dari  $n$  *musterpoint* menuju  $m$  *safe area* pada banyak cluster dengan terdapat *shared area* yaitu

$$T_{ijk} = \frac{\left(\frac{N_{ik}}{l_{ijk}} x_{ijk-1}\right) d_{ijk} + L_{ijk}}{v_{ijk}} \quad (4.1)$$

Formulasi (4.1) membangun model optimisasi yang meminimumkan waktu evakuasi. Akibatnya formulasi tersebut merupakan fungsi objektif yang akan diminimumkan, dengan  $x_{ijk}$  sebagai variabel keputusan. Sedangkan  $N_{ik}$ ,  $l_{ijk}$ ,  $d_{ijk}$ ,  $L_{ijk}$ , dan  $v_{ijk}$  merupakan parameter-parameter yang diketahui. Jadi model optimisasi pada kasus banyak cluster dengan terdapat *shared area* adalah

Minimumkan

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n(k)} \sum_{j=1}^{m(k)} = T_{ijk} \text{ dimana } T_{ijk} = \frac{\left(\frac{N_{ik}}{l_{ijk}} x_{ijk} - 1\right) d_{ijk} + L_{ijk}}{v_{ijk}} \quad (4.2)$$

dengan kendala:

- 1 Untuk setiap i, k,  $\sum_{j=1}^{m(k)} x_{ijk} = 1$ , artinya seluruh penduduk dari tiap *muster point* harus dievakuasi ke *safe area* pada cluster ke-k.
- 2 Untuk setiap j, k,  $\sum_{i=1, (i,j,k) \notin SS}^{n(k)} (N_{ik} x_{ijk}) \leq C_{jk}$ , dimana  $SS = \cup_a^A = 1SS_a$ , artinya kapasitas *safe area* yang dituju pada cluster ke-k ( $C_{jk}$ ) tidak boleh lebih kecil dari jumlah penduduk yang harus dievakuasi ke sana.
- 3  $\sum_{(i,j,k) \in SS} (N_{ik} x_{ijk}) \leq C_a$ ,  $\alpha = 1, 2, \dots, A$ , artinya kapasitas *shared area* yang dituju oleh cluster yang saling berdekatan ( $C_a$ ) tidak boleh lebih kecil dari jumlah penduduk yang harus dievakuasi ke sana.
- 4 Untuk setiap i, j, k,  $T_{ijk} \leq T$  artinya seluruh penduduk di setiap lajur harus dievakuasi dalam waktu yang tidak lebih dari T (dalam menit).
- 5 Untuk setiap i, j, k, berlaku  $0 \leq x_{ijk} \leq 1$ , artinya setiap proporsi  $x_{ijk}$  berada pada rentang nilai 0 dan 1.

Variabel keputusan :

$x_{ijk}$  yaitu proporsi orang dari *muster point* ke-i menuju *safe area* ke-j pada cluster ke-k.

Parameter-parameter :

- $N_{ik}$  adalah banyaknya orang dari *muster point* ke-i pada cluster ke-k,
- $l_{ijk}$  adalah banyaknya lajur dari *muster point* ke-i menuju *safe area* ke-j pada cluster ke-k,
- $d_{ijk}$  adalah jarak antar orang dari *muster point* ke-i menuju *safe area* ke-j pada cluster ke-k,
- $L_{ijk}$  adalah panjang lintasan dari *muster point* ke-i menuju *safe area* ke-j pada cluster ke-k,
- $v_{ijk}$  adalah kecepatan orang berlari dari *muster point* ke-i menuju *safe area* ke-j pada cluster ke-k,
- $C_{jk}$  adalah kapasitas *safe area* ke-j pada cluster ke-k,

- K adalah banyaknya cluster,  
 $n(k)$  adalah banyaknya *muster point* di cluster ke- $k$ ,  
 $m(k)$  adalah banyaknya *safe area* di cluster ke- $k$ ,  
 A adalah banyaknya *shared area*,  
 SS adalah *shared area* yang bisa dilalui oleh cluster ke- $k$ .

### PERHITUNGAN NUMERIK

Secara umum skenario evakuasi pada kelurahan-kelurahan rawan memanfaatkan lokasi aman atau *safe area* buatan seperti gedung bertingkat atau tempat tinggi yang berfungsi sebagai shelter. Maka dari itu diperlukan data lokasi *muster point*, data bangunan potensial sebagai *safe area*, dan data jarak *muster point* ke *safe area*.

Berikut diberikan data perbandingan antara jumlah populasi di masing-masing cluster, beserta kapasitas *safe area* berupa shelter dan tempat tinggi yang diberikan dalam Tabel 2. Data tersebut diperoleh dari BPS Kota Padang dan pengamatan langsung.

Tabel 2 Perbandingan Populasi Penduduk dan Kapasitas Total *Safe Area*

Cluster	Kelurahan	Kecamatan	Populasi	Kapasitas Safe Area	Selisih
K1	Air Tawar Barat	Padang Utara	15812	10900	-4912
K2	Ulak Karang Utara	Padang Utara	6420	3500	-2920
K3	Ulak Karang Selatan	Padang Utara	9380	11700	2320
K4	Plamboyan Baru	Padang Barat	4800	14930	10130
K5	Rimbo Kaluang	Padang Barat	3996	7300	3304
K6	Ujung Gurun	Padang Barat	4816	11500	6684
K7	Purus	Padang Barat	6852	8100	1248
K8	Olo	Padang Barat	5156	6900	1744
K9	Belakang Tangsi	Padang Barat	2948	10300	7352
K10	Berok Nipah	Padang Barat	4896	9600	4704
Jumlah			65076	94730	29654

Dari Tabel 2 terlihat bahwa ada beberapa cluster yang memiliki kapasitas *safe area* yang kurang dari jumlah populasi di cluster tersebut (ditandai dengan selisih negatif). Maka dari itu perlu dibangun shelter penghubung antara cluster satu dengan cluster lainnya yang berfungsi sebagai *shared area*. Di sini diasumsikan terdapat dua *shared area* untuk evakuasi, dengan



kapasitas masing-masing 5000 orang. Pembagian *shared area* tersebut adalah sebagai berikut :

- *shared area* 1 (SS<sub>1</sub>) dapat diakses oleh cluster 1 dan cluster 2 .
- *shared area* 2 (SS<sub>2</sub>) dapat diakses oleh cluster 2 dan cluster 3.

Berikut disajikan data dari muster point, *safe area*, dan jarak di setiap cluster. Data tersebut diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Padang dan pengamatan langsung dengan menggunakan aplikasi Google Map.

### Cluster 1

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Toko Krisbow	3953
M2	Dayu Mart Sumatera	3953
M3	Graha Adhi Karya	3953
M4	Hotel Prima	3953
Jumlah		15812
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	UBH	5000
S2	DPRD	3000
S3	Villa Hadis Permai	400
S4	PSDA	1000
S5	ACC	400
S6	Daihatsu	400
S7	Yayasan Al Azhar	700
Jumlah		10900
Selisih		-4912

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	1000	650	600	700	1100	950	1000
M2	1000	500	450	550	1000	850	750
M3	1000	950	1000	900	1000	900	950
M4	1000	650	750	700	1100	1100	950

### Cluster 2

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Gedung Pramuka	1605
M2	Pasar Ulak Karang	1605
M3	Queen Photo	1605
M4	Asratek	1605
Jumlah		6420
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	PT. Suka Fajar	400
S2	Masjid Baitul Muttaqin	500
S3	Suzuki	400
S4	BPK	400
S5	BPS Provinsi	600
S6	Kantor Imigrasi	500
S7	Kantor DPD	700
Jumlah		3500
Selisih		-2920

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	600	190	1000	800	210	350	100
M2	950	1000	40	1000	1000	1000	1000
M3	1000	1000	350	1000	1000	1000	900
M4	550	1000	500	1000	850	1000	750

## Cluster 3

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Stikes Amanah Padang	2345
M2	AA Catering	2345
M3	SMK Adzka	2345
M4	Kantor Pos UKS	2345
	Jumlah	9380
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	AKBP STIE KBP	1000
S2	SMPN 25	2500
S3	Telkomsel	600
S4	Stikes Alifah	500
S5	PLN	500
S6	SMAN 1	4000
S7	SMPN 7	600
S8	SMKN 5	1300
S9	SDN 15	700
	Jumlah	11700
	Selisih	2320

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
M1	1000	1000	1000	1000	1000	900	290	450	600
M2	500	700	350	1000	1000	850	1000	1000	900
M3	800	130	650	1000	1000	1000	800	850	1000
M4	1000	950	1000	1000	1000	700	120	270	750

## Cluster 4

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	STIE Perbankan	1200
M2	Dinas Kehutanan	1200
M3	SDN 03	1200
M4	Toko Meubell Arasy R.	1200
	Jumlah	4800
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	Bappeda	400
S2	Masjid Raya Sumbar	4000
S3	Hotel Pangeran Beach	1800
S4	Ditjen Perbendaharaa	600
S5	Masjid Mukhsinin	500
S6	Erlangga	300
S7	Hotel Ibis	3030
S8	PU	1000
S9	Universitas Taman Sis	1000
S10	Kejaksaaan Tinggi	1000
S11	Dinas Sosial	800
S12	Masjid Nurul Hidayah	500
	Jumlah	14930
	Selisih	10130

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
M1	800	1000	750	800	850	900	1000	1000	1000	400	1000	1000
M2	650	800	1000	1000	700	850	1100	600	1000	170	1000	350
M3	950	1100	1000	1100	1000	650	1100	1000	1000	1000	1000	700
M4	1000	1000	280	1000	1000	1000	700	1000	800	900	1000	1000

## Cluster 5

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	SMTI Padang	999
M2	GOR	999
M3	SDN 26 Rimbo Kaluang	999
M4	Pasar Pagi Rimbo Kalu	999
	Jumlah	3996
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	Masjid Bustanul Ulum	500
S2	Masjid Istiqlal	600
S3	SDN 23-24	1500
S4	Dinas Peternakan	600
S5	BTN	500
S6	Jasa Raharja	500
S7	SMAN 2 Padang	1000
S8	SMK Taruna 1 Padang	800
S9	Bank Muamalat	600
S10	Kantor Telkom	700
	Jumlah	7300
	Selisih	3304

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
M1	290	700	500	1000	1000	1000	240	30	1000	700
M2	550	800	850	600	700	850	600	750	600	1000
M3	700	1100	1000	900	1100	1000	650	800	900	850
M4	550	800	900	1000	700	800	500	400	1000	1000

## Cluster 6

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Dinas Tenaga Kerja	1204
M2	Dinas Pendidikan	1204
M3	RS. Bersalin Amanda	1204
M4	SMAN 10 Padang	1204
	Jumlah	4816
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	Polda	4000
S2	Escape Building	4000
S3	RS. Yos Sudarso	2000
S4	Unes	1500
	Jumlah	11500
	Selisih	6684

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4
M1	750	1000	900	650
M2	700	200	850	1000
M3	900	850	1000	450
M4	700	850	210	1000

Cluster 7

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Tiron Motor	1713
M2	Jembatan Purus	1713
M3	SDN 25 Purus	1713
M4	Natasha Skin	1713
	Jumlah	6852
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	ISUZU	800
S2	Hotel Mercure	2000
S3	Rusun	1500
S4	Masjid Al Wustha	800
S5	SDN 03	1500
S6	Damar Plaza	800
S7	Yamaha	700
	Jumlah	8100
	Selisih	1248

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	900	350	400	1100	160	950	800
M2	1100	950	500	1000	1000	700	900
M3	700	350	300	900	850	1000	1000
M4	500	400	500	650	650	1000	1000

Cluster 8

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Gedung Juang 45	1289
M2	Pengadilan TU Padang	1289
M3	Taman Budaya Padang	1289
M4	Gamedia	1289
	Jumlah	5156
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	Masjid Nurul Ulya	600
S2	Bank Nagari	500
S3	Plaza Andalas	1500
S4	Pasar Inpres	1800
S5	Masjid Taqwa	1000
S6	Hotel Rocky	1500
	Jumlah	6900
	Selisih	1744

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
M1	450	850	1000	1000	1000	1000
M2	1100	650	450	700	1000	1000
M3	1000	700	600	1000	1100	1000
M4	120	650	700	1000	1100	850

Cluster 9

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	SMPN 2 Padang	737
M2	SMA Don Bosco Padang	737
M3	Hotel Magenta	737
M4	Masjid Baitussalam	737
Jumlah		2948
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	Hotel Axana	2000
S2	Hotel Mariani	2000
S3	BRI	600
S4	Hotel Pangeran City	1500
S5	SMP Maria	600
S6	SD Agnes	600
S7	Hotel Grand Inna Mua	3000
Jumlah		10300
Selisih		7352

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	200	450	850	350	450	500	600
M2	550	400	1000	850	400	450	260
M3	700	550	700	900	500	550	250
M4	1100	1000	600	1000	1000	1000	1100

Cluster 10

Muster Point	Lokasi	Populasi
M1	Jembatan Siti Nurbaya	1224
M2	Yayasan Murni	1224
M3	KP. Christine Hakim	1224
M4	Vihara Budha	1224
Jumlah		4896
Safe Area	Lokasi	Kapasitas
S1	Teebox	1500
S2	BAF Finance	600
S3	Hotel HW	1500
S4	Hotel Plan	1500
S5	SMPN 4	1000
S6	Masjid Nurul Iman	1500
S7	Hotel Grand Zuri	2000
Jumlah		9600
Selisih		4704

Jarak (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	1000	1000	1100	900	850	1000	700
M2	800	600	700	500	650	1100	1000
M3	950	650	750	550	900	1000	600
M4	450	160	250	76	900	1000	1000

Dengan menggunakan data di atas, model optimasi evakuasi tsunami yang telah diformulasikan pada bagian sebelumnya diselesaikan dengan menggunakan *linear programming solver* metode simpleks pada MATLAB. Untuk nilai-nilai parameter ditetapkan sebagai berikut:

- 1 Jumlah cluster  $K = 10$ ,
- 2 Jarak antar orang dari *muster point* ke- $i$  menuju *safe area* ke- $j$  pada cluster ke- $k$  dibuat sama, yaitu  $d_{ijk} = 1$  m,
- 3 Kecepatan orang berlari dari *muster point* ke- $i$  menuju *safe area* ke- $j$  pada cluster ke- $k$  dibuat sama, yaitu  $v_{ijk} = 5$  km/jam,
- 4 Banyaknya lajur dari *muster point* ke- $i$  menuju *safe area* ke- $j$  pada cluster ke- $k$  dibuat sama, yaitu  $l_{ijk} = 6$ ,
- 5 Rata-rata waktu yang dibutuhkan masyarakat untuk mempersiapkan diri dalam evakuasi tsunami dari *muster point* ke- $i$  menuju *safe area* ke- $j$  pada cluster ke- $k$  dibuat sama, yaitu = 15 menit.

Berikut disajikan hasil simulasi model yang diperoleh. Solusi untuk variabel keputusan diberikan pada tabel proporsi penduduk di setiap cluster.

## Cluster 1

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SS1
M1	0.38098	0.37642	0	0	0	0	0	0.2426
M2	0.38098	0.06248	0.10119	0.25297	0.10119	0.10119	0	0
M3	0.38098	0	0	0	0	0	0	0.61902
M4	0.12193	0.32001	0	0	0	0	0.17708	0.38098
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SS1
M1	1506	1488	0	0	0	0	0	959
M2	1506	247	400	1000	400	400	0	0
M3	1506	0	0	0	0	0	0	2447
M4	482	1265	0	0	0	0	700	1506
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SS1
M1	15	10.764	0	0	0	0	0	13.306
M2	15	6.482	6.188	8.588	12.788	10.988	0	0
M3	15	0	0	0	0	0	0	12.682
M4	12.952	10.318	0	0	0	0	12.788	15

## Cluster 2

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SS1	SS2
M1	0	0	0	0	0	0	0	0.18069	0.76449
M2	0	0	0	0.05919	0.37383	0.31153	0.25545	0	0
M3	0.24922	0.31153	0.24922	0.19003	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SS1	SS2
M1	0	0	0	0	0	0	290	88	1227
M2	0	0	0	95	600	500	410	0	0
M3	400	500	400	305	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	1605
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	SS1	SS2
M1	0	0	0	0	0	0	1.768	9.164	9.042
M2	0	0	0	12.178	13.188	12.988	12.808	0	0
M3	12.788	12.988	4.988	12.598	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	12.798

## Cluster 3

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	SS2
M1	0	0	0	0	0	0.89808	0.10192	0	0	0
M2	0	0	0	0	0.17484	0.80786	0.02748	0	0	0
M3	0	0.49254	0.25886	0.21322	0.03838	0	0	0	0	0
M4	0.42644	0.57356	0	0	0	0	0	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	SS2
M1	0	0	0	0	0	2106	239	0	0	0
M2	0	0	0	0	410	1894	41	0	0	0
M3	0	1155	600	500	90	0	0	0	0	0
M4	1000	1345	0	0	0	0	0	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	SS2
M1	0	0	0	0	0	15	3.946	0	0	0
M2	0	0	0	0	12.808	13.976	12.07	0	0	0
M3	0	3.858	8.988	12.988	12.168	0	0	0	0	0
M4	13.988	14.078	0	0	0	0	0	0	0	0

## Cluster 4

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
M1	0	0.91167	0.08833	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0.755	0.245	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0.33333	0.66667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
M1	0	1094	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	906	294	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	400	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
M1	0	14.176	9.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	11.988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	15	12.576	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	12.788	13.588	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Cluster 5

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
M1	0	0	0.6026	0	0.1011	0.2963	0	0	0	0
M2	0	0	0	0.6006	0.3994	0	0	0	0	0
M3	0	0.1011	0.8989	0	0	0	0	0	0	0
M4	0.5005	0.4995	0	0	0	0	0	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
M1	0	0	602	0	101	296	0	0	0	0
M2	0	0	0	600	399	0	0	0	0	0
M3	0	101	898	0	0	0	0	0	0	0
M4	500	499	0	0	0	0	0	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
M1	0	0	7.192	0	12.19	12.58	0	0	0	0
M2	0	0	0	8.388	9.186	0	0	0	0	0
M3	0	13.39	13.784	0	0	0	0	0	0	0
M4	7.588	10.586	0	0	0	0	0	0	0	0

## Cluster 6

Proporsi	S1	S2	S3	S4
M1	0.32226	0.67774	0	0
M2	1	0	0	0
M3	1	0	0	0
M4	1	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4
M1	388	816	0	0
M2	1204	0	0	0
M3	1204	0	0	0
M4	1204	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4
M1	9.764	13.62	0	0
M2	10.796	0	0	0
M3	13.196	0	0	0
M4	10.796	0	0	0

**Cluster 7**

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	0	0	0	0	0.85289	0.14711	0
M2	0	0	0.51022	0.46702	0.02277	0	0
M3	0	0.63456	0.36544	0	0	0	0
M4	0.46702	0.53298	0	0	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	0	0	0	0	1461	252	0
M2	0	0	874	800	39	0	0
M3	0	1087	626	0	0	0	0
M4	800	913	0	0	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	0	0	0	0	4.83	11.892	0
M2	0	0	7.736	13.588	12.066	0	0
M3	0	6.362	4.84	0	0	0	0
M4	7.588	6.614	0	0	0	0	0

**Cluster 8**

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6
M1	0	0	0	1	0	0
M2	0	0	0.01707	0.39643	0.5865	0
M3	0	0	1	0	0	0
M4	0.46548	0.3879	0.14663	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6
M1	0	0	0	1289	0	0
M2	0	0	22	511	756	0
M3	0	0	1289	0	0	0
M4	600	500	189	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6
M1	0	0	0	14.566	0	0
M2	0	0	5.432	9.41	13.5	0
M3	0	0	9.766	0	0	0
M4	2.628	8.788	8.766	0	0	0

**Cluster 9**

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	1	0	0	0	0	0	0
M2	1	0	0	0	0	0	0
M3	0	1	0	0	0	0	0
M4	0.7137	0.2863	0	0	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	737	0	0	0	0	0	0
M2	737	0	0	0	0	0	0
M3	0	737	0	0	0	0	0
M4	526	211	0	0	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	3.862	0	0	0	0	0	0
M2	8.062	0	0	0	0	0	0
M3	0	8.062	0	0	0	0	0
M4	14.24	12.41	0	0	0	0	0

**Cluster 10**

Proporsi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	0	0	0	1	0	0	0
M2	0	0	0.94118	0.05882	0	0	0
M3	0.22549	0.4902	0.28431	0	0	0	0
M4	1	0	0	0	0	0	0
Distribusi	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	0	0	0	1224	0	0	0
M2	0	0	1152	72	0	0	0
M3	276	600	348	0	0	0	0
M4	1224	0	0	0	0	0	0
Waktu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
M1	0	0	0	13.236	0	0	0
M2	0	0	10.692	6.132	0	0	0
M3	11.94	8.988	9.684	0	0	0	0
M4	7.836	0	0	0	0	0	0

Dapat diperiksa bahwa hasil-hasil simulasi tersebut sudah memenuhi semua kendala. Hasil simulasi tersebut memperlihatkan bahwa dengan adanya penambahan dua *shared area* yang dapat diakses oleh cluster 1, 2 dan 3, seluruh penduduk dapat dievakuasi dalam waktu kurang dari 15 menit. Dengan demikian perlu direkomendasikan kepada pemerintah kota dan jajaran terkait untuk membangun dua shelter tambahan yang dapat diakses oleh penduduk di Kelurahan Air Tawar Barat, Kelurahan Ulak Karang Utara, dan Kelurahan Ulak Karang Selatan.

**KESIMPULAN**

Pada paper ini telah diformulasi model optimasi dalam menentukan skenario terbaik untuk proses evakuasi tsunami. Model tersebut kemudian diselesaikan secara numerik dengan mengambil kasus 10 kelurahan di dua kecamatan di Kota Padang yang dinilai paling rawan

terkena dampak tsunami, yaitu Kecamatan Padang Barat dan Kecamatan Padang Utara. Hasil-hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan bahwa waktu evakuasi di tiap kelurahan di daerah rawan memungkinkan kurang dari 15 menit, dengan asumsi adanya bangunan shelter tambahan yang menghubungkan antara 2 cluster yang berdekatan dengan kapasitas shelter yang ada tidak mencukupi jumlah penduduk. Berdasarkan data dan hasil simulasi yang diperoleh, maka perlu dibangun dua shelter tambahan yang dapat diakses oleh penduduk di Kelurahan Air Tawar Barat, Kelurahan Ulak Karang Utara, dan Kelurahan Ulak Karang Selatan.

Objek penelitian tentang evakuasi tsunami di Kota Padang ini perlu diperluas untuk keseluruhan kelurahan dan didukung oleh data yang valid dan terkini, sehingga hasil-hasil simulasi yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi yang sesungguhnya. Selain itu, juga perlu dirancang pengembangan model yang dapat mereduksi asumsi-asumsi sederhana sehingga menjadi lebih realistis.

## REFERENSI

- Kurniawan, A., S. Sutikno, Rinaldi. 2012. *Evaluasi Kapasitas Shelter Evakuasi Untuk Bencana Tsunami di Kota Padang Berbasis Sistem Informasi Geografis(SIG)*. <http://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/viewFile/3702/3594>. [Diakses pada 27 Maret 2016]
- Kusdiantara, R., R. Hadianti, M.S.B. Kusuma, dan E. Soewono, *Tsunami evacuation mathematical model for the city of Padang*, AIP Conf. Proc. 1450,305-312 (2012).
- Oktiari, D., S. Manurung. 2010. *Model Geospasial Potensi Kerentanan Tsunami Kota Padang*. <http://puslitbang.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/viewFile/73/67>. [Diakses pada 11 April 2016]
- Ririn, I.P.S., V. Henny. 2012. *Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami*. BMKG, Jakarta.
- Anonim. 2016. *Gempa Bumi di Jepang*. [https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa\\_bumi\\_dan\\_tsunami\\_Sendai\\_2011](https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_dan_tsunami_Sendai_2011). [Diakses pada 27 Maret 2016]