



MODEL MATEMATIKA UNTUK SISTEM EVAKUASI TSUNAMI KOTA PALU (SET-KP) BERBASIS JALUR TERPENDEK DAN WAKTU EVAKUASI MINIMUM

I W. Sudarsana^{1*}, S. Mendi^{1**}, Abdullah², A. Hendra³ dan A. Sahari^{1***}

¹Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Tadulako

²Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Tadulako

³Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako
Jalan Sukarno-Hatta Km. 9 Palu 94117, Indonesia

ABSTRAK

Kota Palu memiliki tingkat resiko tinggi terhadap ancaman gempa bumi dan tsunami karena terletak dalam Sabuk Gempa Pasifik dan bentangan sesar Palu Koro. Kriteria *InaTews* waktu yang tersedia untuk evakuasi setelah peringatan dini tsunami berbunyi adalah 15 menit. Evakuasi penduduk dari pesisir pantai kota Palu ke tempat aman merupakan tindakan yang harus dan segera dilakukan sebagai langkah penyelamatan bila terjadi tsunami. Informasi tentang tempat, jalur terpendek, dan waktu tempuh minimum untuk evakuasi memainkan peranan yang sangat penting dalam keselamatan penduduk yang akan dievakuasi. Pada penelitian ini telah dihasilkan sebuah perangkat lunak Sistem Evakuasi Tsunami untuk kota Palu (SET-KP) berbasis jalur terpendek dan waktu evakuasi minimum. Penentuan jalur terpendek dalam SET-KP menggunakan algoritma *Dijkstra* dan menghitung waktu evakuasi

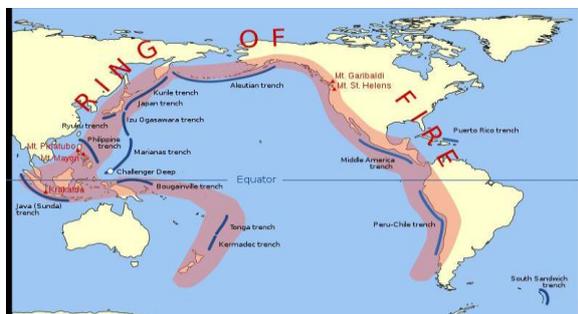
minimumnya menggunakan model matematika $T_{t,i} = \frac{\left(\frac{(1+\Delta)^{t-t_0} \cdot N_{t_0,i}}{l} - 1\right) d + L_i}{v}$. Skenario evakuasi penduduk di semua *cluster* pesisir kota Palu menggunakan perangkat lunak SET-KP diperoleh bahwa *cluster* dengan jumlah penduduk cukup banyak waktu evakuasinya melebihi ketentuan *InaTews*. Sementara itu, *cluster* dengan jumlah penduduk sedikit ketentuan *InaTews* dapat dipenuhi, seperti *cluster* C_{70} , C_{76} dan C_{79} . Oleh karena itu, *shelter* (titik evakuasi) yang telah didefinisikan sebelumnya dalam dokumen BPBD perlu direposisi untuk memenuhi ketentuan *InaTews*.

Kata Kunci: *Dijkstra*, Evakuasi, Gempa Bumi, Kota Palu, SET-KP, Tsunami.

Corresponding author: ^{*} sulistiawati.mendi@gmail.com, ^{*} sudarsanaiwayan@yahoo.co.id,
² abd_fmipauntad@rocketmail.com, ³ a_for_andie@icloud.com, ^{***} agus_sh@yahoo.com

I. Pendahuluan

Sabuk Gempa Pasifik (*Ring of Fire*) merupakan daerah berbentuk seperti tapal kuda yang mengelilingi Samudera Pasifik mencakup panjang 40.000 km. Sekitar 90% gempa bumi terjadinya di daerah ini dan 81% gempa bumi terbesar terjadi di sepanjang Cincin Api tersebut. Indonesia masuk ke dalam Sabuk Gempa Pasifik sehingga sering terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi. Seringnya Indonesia dilanda gempa bumi menyebabkan resiko terjadinya tsunami akan semakin besar pula. Resiko tersebut akan semakin meningkat karena Indonesia berada pada pertemuan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia.



Gambar 1: Ring of Fire (Sumber: Kusdiantara, 2011:1)

Palu merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Tengah. Kota Palu tepat berada dibawah garis khatulistiwa dengan ketinggian 0-700 meter dari permukaan laut dengan luas wilayah sekitar 395 km². Berdasarkan dokumen BPBD kota Palu, Palu memiliki tingkat resiko tinggi terhadap ancaman gempa bumi dan tsunami (Sarmanto, 2012). Sebagai antisipasi

Sistem Evakuasi Tsunami Kota Palu (SET-KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum
(I W. Sudarsana *et al.*)

bencana tsunami, dalam dokumen tersebut telah ditetapkan titik-titik aman untuk pengungsian, yaitu Stadion Gawalise, STQ, Kampus UNTAD dan Lapangan Vatulemo. Lebih lanjut, berdasarkan spesifikasi tempat evakuasi tsunami maka di kota Palu telah dikembangkan menjadi 14 titik tempat evakuasi tsunami (Magfirah, 2013).

Mengungsikan penduduk dari daerah banjir, gunung meletus, dan tsunami ke tempat aman merupakan tindakan yang harus dan segera dilakukan sebagai langkah penyelamatan penduduk. Informasi tentang tempat, jalur terpendek, dan waktu tempuh minimum untuk evakuasi memainkan peranan yang sangat penting dalam keselamatan penduduk yang akan dievakuasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat suatu model matematika sederhana untuk sistem evakuasi tsunami kota Palu (SET-KP) berbasis jalur terpendek dan waktu evakuasi minimum.

II. Landasan Teoritis

Tsunami berasal dari bahasa Jepang, *Tsu* berarti pelabuhan, dan *nami* artinya gelombang. Dengan demikian, tsunami dapat diartikan sebagai gelombang pelabuhan. Tsunami adalah gelombang air sangat besar yang dibangkitkan oleh macam-macam gangguan di dasar samudra. Gangguan ini dapat berupa gempa bumi, pergeseran lempeng atau gunung meletus. Tsunami

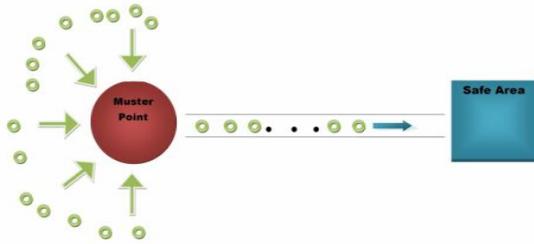
tidak kelihatan saat masih berada jauh di tengah lautan, namun begitu mencapai wilayah dangkal, gelombangnya yang bergerak cepat ini akan semakin membesar dalam Banten, T., (2009) Tsunami di Indonesia, (Online) <http://taganabanten-info.blogspot.com/2009/11/tsunami-di-indonesia.html>, di akses: 20 Februari 2013.

Berikut adalah sejarah gempa bumi besar yang disertai tsunami. Pada tanggal 11 Maret 2011, Gempa Bumi di Jepang, 373 km dari kota Tokyo berskala 9.0 SR, yang sebelumnya direvisi dari 8.8 SR, gempa ini menimbulkan gelombang tsunami disepanjang pesisir timur Jepang. Kemudian, 26 Desember 2004, Gempa Bumi dahsyat berkekuatan 9.0 SR mengguncang Aceh dan Sumatera Utara sekaligus menimbulkan gelombang tsunami di Samudera Hindia. Bencana alam ini telah merenggut lebih dari 220.000 jiwa. Pada tanggal 26 Oktober 2010, Gempa Bumi di Mentawai Berskala 7.2 SR, gempa ini kemudian juga menimbulkan tsunami.

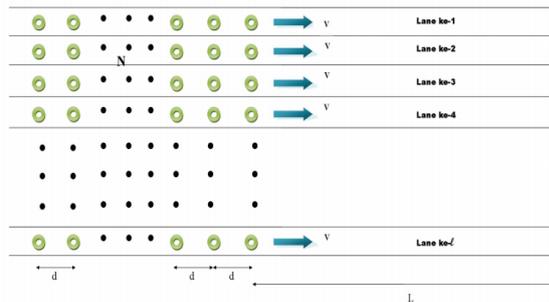
Sementara itu, gempa dan tsunami juga pernah terjadi di Palu, yaitu pada tanggal 1 Desember 1927 pukul 13.37 WIB, gempa berkekuatan 6.5 SR terjadi dengan intensitas VIII-IX MMI (*Modified Mercally Intensity*). Gempa ini berasal dari aktifitas tektonik Watusampu berpusat di Teluk Palu yang menimbulkan gelombang tsunami setinggi 15 meter di Teluk Palu. (sumber:

<http://zulrafliadityaofficialblog.wordpress.com/2012/08/31/10-gempa-besar-yang-pernah-terjadi-di-sulawesi-tengah>, diakses pada tanggal 05 September 2013).

Sistem peringatan dini tsunami Indonesia (*Indonesian Tsunami Early Warning System–InaTEWS*) telah dikembangkan oleh pemerintah Indonesia dengan bantuan negara donor. Sistem ini dikontrol langsung oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Jakarta. Menggunakan *InaTews* ini, BMKG dapat mengirimkan peringatan tsunami jika terjadi gempa yang berpotensi tsunami. Sistem peringatan tsunami ini, hanya memberikan waktu cukup singkat untuk para penduduk mencari dan mencapai tempat evakuasi. Waktu yang tersedia setelah peringatan ini berbunyi adalah sekitar 15 menit. Jadi dengan waktu yang sangat terbatas tersebut, akan dicari skenario evakuasi terbaik untuk para penduduk di daerah rawan. Mekanisme evakuasi yang dilakukan adalah saat peringatan tsunami berbunyi para penduduk diarahkan untuk berkumpul di *muster point* (tempat berkumpul), kemudian dari *muster point* para penduduk bergerak menuju *shelter* (titik evakuasi, disingkat S). Berikut adalah ilustrasi untuk skema evakuasi dengan satu dan multi lajur.



Gambar 2: Mekanisme evakuasi untuk satu lajur
 (Sumber: Kusdiantara, 2011)



Gambar 3: Mekanisme evakuasi untuk multi lajur
 (Sumber: Kusdiantara, 2011)

Berdasarkan mekanisme evakuasi dengan satu atau multi lajur seperti dalam Gambar 2 dan 3 serta prinsip antrian, maka Kusdiantara (2011) memberikan total waktu untuk memindahkan N penduduk memenuhi persamaan berikut:

$$T = \frac{\left(\frac{N}{l} - 1\right)d + L}{v} \dots\dots\dots (1)$$

Jika persamaan (1) diambil banyaknya lajur adalah 1 ($l = 1$) maka diperoleh persamaan berikut:

$$T = \frac{(N - 1)d + L}{v} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan,

T = Total waktu evakuasi, satuan menit

N = Banyaknya penduduk,

- d = Jarak antar orang dalam lajur,
- v = Kecepatan bergerak penduduk,
- l = Banyaknya lajur

Persamaan (1) dan (2) memperhatikan jumlah penduduk (N) statis, pada kenyataannya jumlah penduduk yang akan dievakuasi sangatlah dinamis, berubah dalam kurun waktu tertentu. Selanjutnya, persamaan tersebut akan diperbaharui dengan memperhatikan kedinamisan jumlah penduduk di dalam partisi pesisir pantai kota Palu yang rawan terpapar tsunami.

Berdasarkan syarat-syarat suatu lokasi dapat dijadikan *shelter* tsunami dalam dokumen BPBD kota Palu oleh Sarmanto (2012:21-24), maka Magfirah (2013) mengembangkan lebih lanjut titik-titik evakuasi tsunami di kota Palu diperbaharui menjadi 14, yaitu Lapangan Bola Wombo Induk (S_1), Lembara (S_2), Taipa (S_3), Mamboro (S_4), Galara (S_9), Gawalise (S_{10}), Silae (S_{11}), Tipo (S_{12}), Layana Trans (S_5), Buluri (S_{13}), dan Watusampu (S_{14}); STQ (S_7), Kampus UNTAD (S_6), dan Lapangan Alun-Alun Vatulemo (S_8). Kemudian berdasarkan lokasi *Shelter* tersebut, *area* pesisir pantai kota Palu yang rawan terpapar tsunami dalam 18 kelurahan dipartisi menjadi 80 *cluster* (C) sesuai ketersediaan *muster point*. *Cluster* tersebut dinotasikan dengan C_i , $i=1, 2, 3, 4, \dots, 80$. Data-data tersebut disajikan seperti dalam Gambar 4.

III. Metode Penelitian

Sistem Evakuasi Tsunami Kota Palu (SET-KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum (I W. Sudarsana *et al.*)

Sumber data pada penelitian ini adalah data primer berdasarkan pengukuran langsung di lapangan selama pelaksanaan penelitian dan data sekunder yang diperoleh dari instansi-instansi terkait atau studi-studi yang telah dilakukan sebelumnya. Jenis data tersebut berupa data kualitatif dan kuantitatif.

Lokasi penelitian ini adalah di kota Palu dan *area* pesisirnya. Sementara itu, tempat untuk mengolah data dan aktifitas pemrograman dipusatkan di Laboratorium Matematika Terapan, Jurusan Matematika FMIPA UNTAD.

Prosedur penelitian meliputi:

Studi Literatur: Pada kegiatan ini dilakukan pengumpulan dan kajian literatur menyangkut manajemen mitigasi bencana tsunami baik yang berupa jurnal, buku dan tulisan lepas (*online*).

Merumuskan masalah penelitian: Mengumpulkan data berupa peta daerah rawan tsunami, jalan, dan daerah aman di kota Palu yang dirumuskan dalam masalah SET-KP.

Mempartisi (*clustering*) area pesisir pantai kota Palu: Mempartisi pesisir kota Palu menjadi *cluster* dengan pusat pergerakan penduduk untuk menuju *shelter*. *Cluster* ini diperlukan untuk titik acuan pergerakan melalui jalur evakuasi ke *shelter* sebagai objek dalam model graf.

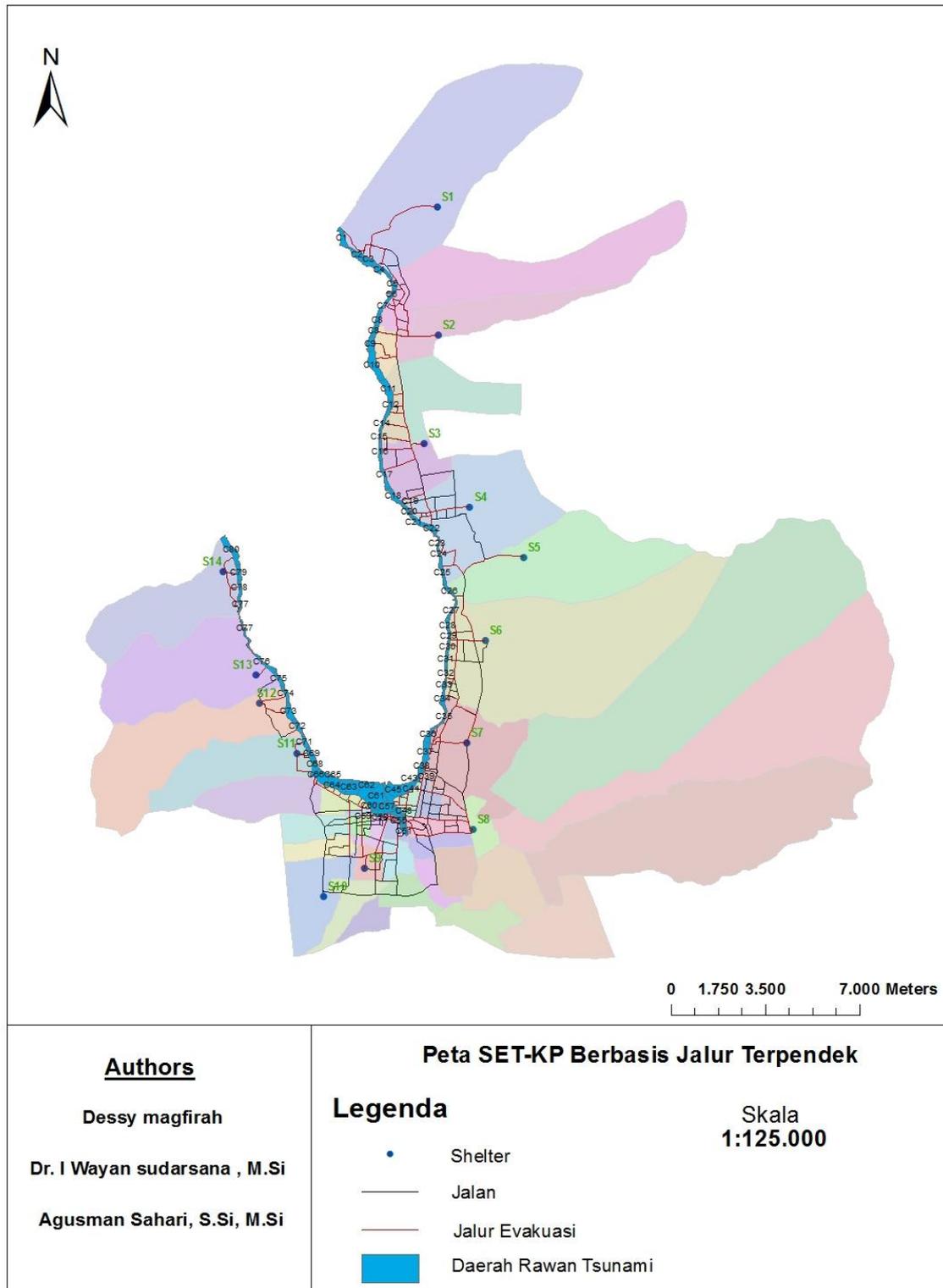
Membuat model graf: Membuat model graf berbasis infrastruktur jalan,

cluster, dan *shelter* sebagai objek grafnya. Model graf ini akan digunakan sebagai *input* dalam menentukan jalur evakuasi terpendek melalui algoritma *Dijkstra* di langkah berikutnya.

Analisis penentuan *shelter* dan jalur evakuasinya: Analisis penentuan *shelter* dilakukan menggunakan standar acuan dokumen BPBD kota Palu dikombinasikan dengan model matematika untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mengevakuasi semua penduduk dalam area rawan tsunami. Penentuan jalur terpendek menggunakan algoritma *Dijkstra*, dengan imputan model graf yang telah dibuat sebelumnya.

Membuat *software* untuk menentukan jalur terpendek menuju *shelter*: Pada langkah ini, dibuat *software* untuk menentukan jalur terpendek yang diimplementasikan pada model graf dari SET-KP. Program aplikasi ini dibuat dengan bahasa pemrograman Matlab. Berdasarkan data *cluster* dan *shelter* kota Palu tersebut, kemudian ditentukan jalur evakuasi terpendek untuk setiap *cluster* menuju ke semua *shelter* yang tersedia dengan menggunakan algoritma *Dijkstra*. Sedangkan metode untuk menentukan waktu evakuasi minimumnya akan digunakan model matematika yang disajikan dalam sub berikut.

Analisis performansi program:
pada tahap ini dilakukan pengujian kinerja program. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data-data yang sudah ada selanjutnya dilihat validitas hasil dan kondisi riil dilapangan.



Gambar 4: Peta cluster dan shelter kota Palu (Sumber: Magfirah, 2013)

Sistem Evakuasi Tsunami Kota Palu (SET-KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum
(I W. Sudarsana *et al.*)

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1. Model Matematika Sederhana

Penduduk yang tinggal dalam setiap *cluster* pesisir pantai kota Palu jumlah selalu berubah (dinamis). Dengan demikian model matematika dalam persamaan (1) dan (2) dapat dimodifikasi dengan memperhatikan kecepatan (*rate*) perubahan jumlah penduduk untuk setiap *cluster* tersebut. Oleh karena itu, diperoleh persamaan berikut:

$$T_{t,i} = \frac{\left(\frac{N_{t,i}}{l} - 1\right)d + L_i}{v} \dots\dots\dots(3)$$

Selanjutnya, asumsikan *rate* pertumbuhan/perubahan jumlah penduduk untuk setiap *cluster* ($\Delta_i, i = 1, 2, \dots, 80$) adalah sama untuk setiap tahunnya, yaitu $\Delta_i = \Delta$ maka diperoleh jumlah penduduk untuk setiap *cluster* dalam rentang waktu (tahun) tertentu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N_{t,i} = (1 + \Delta)^{t-t_0} \cdot N_{t_0,i} \dots\dots\dots(4)$$

Oleh karena itu, selanjutnya dengan menggabungkan persamaan (3) dan (4) diperoleh persamaan baru untuk menentukan total waktu yang dibutuhkan memindahkan semua penduduk dalam setiap *cluster* di pesisir pantai Kota Palu adalah:

$$T_{t,i} = \frac{\left(\frac{(1+\Delta)^{t-t_0} \cdot N_{t_0,i}}{l} - 1\right)d + L_i}{v} \dots\dots\dots(5)$$

Jika persamaan (5) diambil banyaknya lajur adalah satu ($l = 1$) maka diperoleh persamaan berikut:

$$T_{t,i} = \frac{((1+\Delta)^{t-t_0} \cdot N_{t_0,i} - 1)d + L_i}{v} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan,

$N_{t,i}$ = Banyaknya penduduk pada tahun ke- t di *cluster* ke- i .

$N_{t_0,i}$ = Banyaknya penduduk pada tahun dasar (t_0) di *cluster* ke- i .

Δ = Laju pertumbuhan penduduk

t = Tahun selanjutnya, t_0 = Tahun dasar.

d = Jarak antar orang dalam lajur,

v = Kecepatan bergerak penduduk,

l = Banyaknya lajur

L_i = Jarak *shelter* terdekat dari *cluster* ke- i

i = 1, 2, 3, ..., 80 (bilangan indeks).

Persamaan (3), (4), (5) dan (6) memiliki dimensi akhir adalah waktu, dalam hal ini dikonversi menjadi satuan menit.

4.2. Desain Program SET-KP

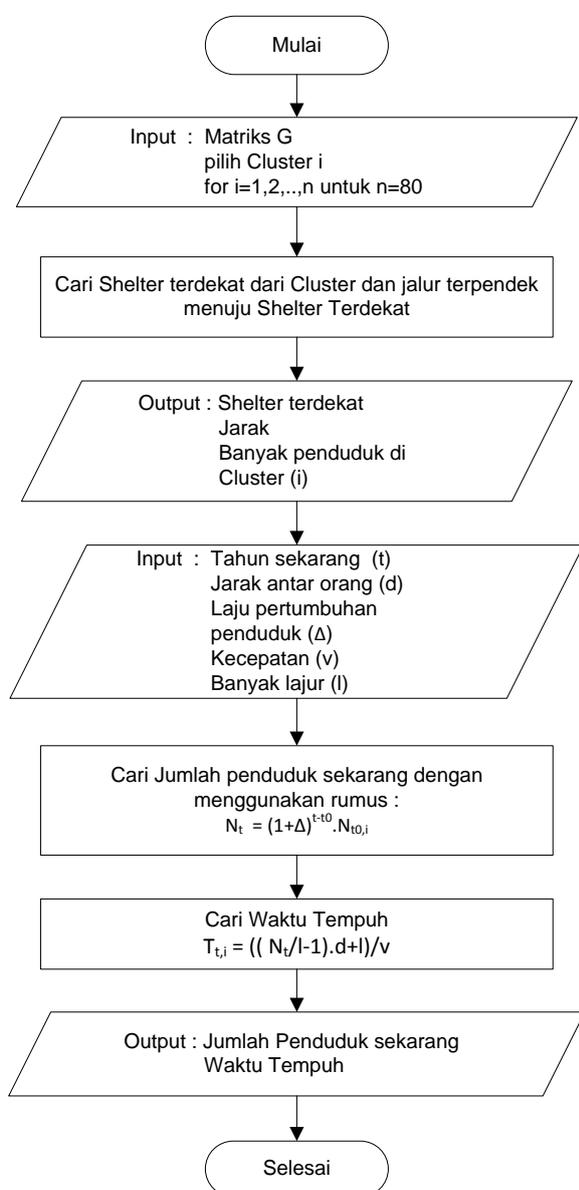
SET-KP adalah perangkat lunak untuk menentukan jalur evakuasi terpendek dan waktu evakuasi minimum dari semua *cluster* (*area* paparan tsunami) menuju setiap *shelter* (pengungsian) di kota Palu. Pencarian jalur terpendek dalam SET-KP menggunakan algoritma *Dijkstra*. Dalam perangkat lunak

Sistem Evakuasi Tsunami Kota Palu (SET-KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum

(I W. Sudarsana *et al.*)

SET-KP, jalur terpendek yang sudah terhitung tersebut selanjutnya disinergikan dengan persamaan (5) agar diperoleh total waktu evakuasi minimum untuk memindahkan semua penduduk dalam setiap *cluster* menuju *shelter* terdekat. Perangkat lunak SET-KP tersebut dibuat menggunakan bahasa pemrograman Matlab R.2008b.

Berikut ini adalah *Flowchart* dan algoritma untuk program SET-KP.



Gambar 5: Flowchart program

Sistem Evakuasi Tsunami Kota Palu (SET-KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum
(I W. Sudarsana *et al.*)

Algoritma program :

- Masukkan matriks jarak G, dimana matriks ini merupakan kumpulan dari jarak jalan yang ada di kota Palu dan pilih *cluster* yang akan dicari jaraknya menuju *Shelter*,
- Berikutnya cari *shelter* terdekat dilihat dari matriks G untuk *cluster* yang dipilih menuju semua *shelter*,
- Didapatkan *shelter* tujuan terdekat dari *cluster* yang dipilih beserta jumlah penduduk dan informasi jalur yang berupa jalan,
- Masukkan laju pertumbuhan penduduk (Δ), tahun sekarang (t), jarak antar orang (d), kecepatan (v), banyak lajur (l),
- Mencari jumlah penduduk sekarang dengan memakai persamaan (4),
- Cari waktu tempuh dari *cluster* menuju *shelter* dengan memakai rumus (5),
- Tulis waktu tempuh total untuk memindahkan penduduk pada tahun terpilih dari *cluster* menuju *shelter* terdekat,
- Selesai.

Algoritma Pseudocode

Deklarasi :

Jalan : String
Matriks G, jarak, delta : Double
 d, v, T
Cluster, Shelter, lajur, N : Integer
Jalur, tahun, penduduk

Deskripsi :

//Mencari jalur terpendek dari cluster (i) ke Shelter terdekat.
for $i=0; i=MatriksG.length; i++$

Shelter, jarak, jalan, dan jalur ← Matriks G dan Cluster (i)

Write ← Shelter, jarak, dan jalan

// Mencari jumlah penduduk sekarang

N ← Tahun, delta, lajur, d, delta, v, jarak

//Menghitung waktu tempuh

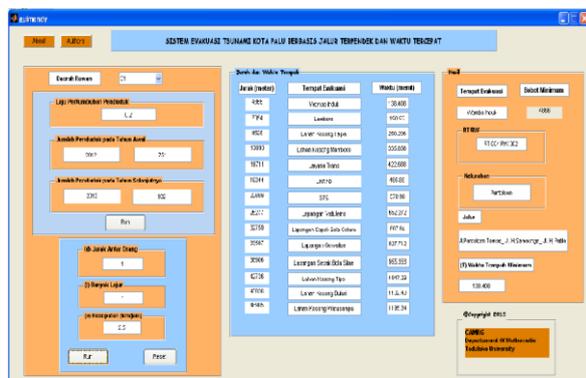
T ← N

// hasil

Write ← T (waktu tempuh)

end

Pada penelitian ini telah dihasilkan sebuah perangkat lunak SET-KP yang dapat digunakan untuk menghitung jalur terpendek menuju semua shelter dari setiap cluster sekaligus waktu evakuasi minimumnya, khusus untuk daerah kota Palu. Perangkat lunak ini dapat dijalankan dalam Laptop dan PC. Tampilan muka perangkat lunak SET-KP terlihat seperti Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6: Tampilan muka perangkat lunak SET-KP

4.2.1. Skenario Evakuasi Penduduk Kota Palu Menggunakan Program SET-KP Model Satu Lajur

Berdasarkan data yang sudah ada, yaitu $N_{t_0,i}$ jumlah penduduk untuk semua cluster dalam tahun 2012 dalam Magfirah (2013), $\Delta = 0.2$, $l = 1$, $d = 1$, dan $v = 2.5 \text{ km/jam}$

diperoleh jalur pengungsian dengan jarak terpendek dan waktu evakuasi minimum (satuan menit) untuk tahun 2013 disajikan dalam Table 1 berikut.

C	Kel.	RT/RW	$N_{t_0,i}$	$N_{t,i}$	S	$T_{t,i}$
C ₁	Pantoloan	RT 004/RW 02	751	902	S ₁	138.40
C ₂	Pantoloan	RT 002/RW 05	726	872	S ₁	113.37
C ₃	Pantoloan	RT 001/RW 09	706	848	S ₁	111.60
C ₄	Pantoloan	RT 005/RW 10	821	986	S ₁	132.28
C ₅	Baiya	RT 004/RW 01	493	592	S ₂	97.20
C ₆	Baiya	RT 006/RW 03	402	483	S ₂	83.23
C ₇	Baiya	RT 007/RW 04	555	666	S ₂	84.16
C ₈	Baiya, Panau	RT 010/RW 05, RT 002/RW 04, RT 001/RW 04	624	749	S ₂	72.55
C ₉	Panau	RT 001/RW 04, RT 001/RW 06	208	250	S ₂	94.56
C ₁₀	Panau	RT 001/RW 07, RT 001/RW 07	317	381	S ₂	85.89
C ₁₁	Kayumalue	RT 001/RW 01	316	380	S ₃	78.09
C ₁₂	Kayumalue	RT 002/RW 01	236	284	S ₃	63.86
C ₁₃	Kayumalue	RT 003/RW 02	223	268	S ₃	61.84
C ₁₄	Kayumalue	RT 001/RW 03	275	330	S ₃	58.53
C ₁₅	Kayumalue	RT 002/RW 03	67	81	S ₃	46.99
C ₁₆	Taipa	RT 004/RW 05, RT 003/RW 05	318	382	S ₃	52.53
C ₁₇	Taipa	RT 003/RW 04, RT 004/RW	274	329	S ₃	64.56

		04				
C ₁₈	Taipa, Mamboro	RT 001/RW 01, RT 003/RW 02 RT 005/RW 07	344	413	S ₄	85.10
C ₁₉	Mamboro	RT 005/RW 06	126	152	S ₄	69.91
C ₂₀	Mamboro	RT 005/RW 02	141	170	S ₄	59.59
C ₂₁	Mamboro	RT 003/RW 02	143	172	S ₄	55.70
C ₂₂	Mamboro	RT 001/RW 02	152	183	S ₄	52.10
C ₂₃	Mamboro	RT 003/RW 01	96	116	S ₅	113.25
C ₂₄	Mamboro	RT 002/RW 01	122	147	S ₅	104.97
C ₂₅	Mamboro	RT 001/RW 01	199	239	S ₅	88.53
C ₂₆	Layana Indah	RT 001/RW 01	827	993	S ₆	84.60
C ₂₇	Tondo	RT 001/RW 14	615	738	S ₆	72.93
C ₂₈	Tondo	RT 001/RW 01	699	839	S ₆	57.12
C ₂₉	Tondo	RT 002/RW 01	611	734	S ₆	48.96
C ₃₀	Tondo	RT 003/RW 01	583	700	S ₆	53.97
C ₃₁	Tondo	RT 001/RW 06	681	818	S ₆	70.63
C ₃₂	Tondo	RT 002/RW 06	633	760	S ₆	84.74
C ₃₃	Tondo	RT 001/RW 03	668	802	S ₆	88.75
C ₃₄	Tondo, Talise	RT 001/RW 02 RT 001/RW 14	574	689	S ₇	62.64
C ₃₅	Talise	RT 001/RW 01	101	122	S ₇	47.28
C ₃₆	Talise	RT 002/RW 01	123	148	S ₇	53.59
C ₃₇	Talise	RT 003/RW 01	166	200	S ₇	61.39
C ₃₈	Talise	RT 001/RW 06	377	453	S ₇	72.48
C ₃₉	Talise	RT	203	244	S ₈	87.67

		002/RW 06				
C ₄₀	Talise	RT 001/RW 03	64	77	S ₈	78.52
C ₄₁	Talise, Besusu Barat	RT 001/RW 02 RT 005/RW 05	601	722	S ₈	89.54
C ₄₂	Besusu Barat	RT 001/RW 05	893	1072	S ₈	103.27
C ₄₃	Besusu Barat	RT 001/RW 04	867	1041	S ₈	106.08
C ₄₄	Besusu Barat	RT 003/RW 02	727	873	S ₈	99.76
C ₄₅	Besusu Barat	RT 002/RW 02	731	878	S ₈	96.52
C ₄₆	Besusu Barat	RT 003/RW 03	913	1096	S ₈	101.18
C ₄₇	Besusu Barat	RT 001/RW 09	731	878	S ₈	87.72
C ₄₈	Besusu Barat	RT 002/RW 09	913	1096	S ₈	124.56
C ₄₉	Lolu Utara	RT 001/RW 01	230	276	S ₈	94.15
C ₅₀	Lolu Utara	RT 001/RW 09	180	216	S ₈	84.16
C ₅₁	Ujuna	RT 004/RW 04	39	47	S ₉	62.92
C ₅₂	Ujuna	RT 003/RW 04	37	45	S ₉	78.62
C ₅₃	Ujuna	RT 002/RW 04	28	34	S ₉	65.56
C ₅₄	Ujuna	RT 001/RW 04	34	41	S ₉	66.64
C ₅₅	Ujuna	RT 001/RW 01	31	38	S ₉	64.41
C ₅₆	Ujuna	RT 004/RW 02	36	44	S ₉	61.12
C ₅₇	Ujuna, Baru	RT 003/RW 02 RT 005/RW 02	780	936	S ₉	79.10
C ₅₈	Baru	RT 001/RW 02	430	516	S ₉	71.59
C ₅₉	Baru	RT 001/RW 01	533	640	S ₉	79.15

C_{60}	Baru, Lere	RT 001/R W 01 RT 004/R W 01	805	96 6	S_9	96.07
C_{61}	Lere	RT 003/R W 01	419	50 3	S_9	83.66
C_{62}	Lere	RT 001/R W 01	451	54 2	S_9	90.36
C_{63}	Lere	RT 006/R W 01	443	53 2	S_9	96.48
C_{64}	Lere	RT 002/R W 05	513	61 6	S_{10}	89.88
C_{65}	Lere	RT 002/R W 05	453	54 4	S_{10}	82.03
C_{66}	Silae	RT 001/R W 01	427	51 3	S_{10}	64.27
C_{67}	Silae	RT 002/R W 01	419	50 3	S_{10}	40.00
C_{68}	Silae	RT 003/R W 01	451	54 2	S_{10}	40.94
C_{69}	Silae	RT 003/R W 01	443	53 2	S_{10}	27.79
C_{70}	Silae	RT 002/R W 03	513	61 6	S_{10}	24.16
C_{71}	Silae	RT 003/R W 03	453	54 4	S_{10}	29.35
C_{72}	Tipo	RT 002/R W 01	391	47 0	S_{10}	47.35
C_{73}	Tipo	RT 001/R W 05, RT 002/R W 05	367	44 1	S_{11}	38.40
C_{74}	Tipo	RT 002/R W 06	345	41 4	S_{11}	34.24
C_{75}	Buluri	RT 003/R W 01	230	27 6	S_{12}	33.50
C_{76}	Buluri	RT 002/R W 02	15	18	S_{12}	12.07

C_{77}	Buluri, Watusam pu	RT 002/R W 04 RT 001/R W 01	59	71	S_{13}	42.28
C_{78}	Watusam pu	RT 003/R W 01	38	46	S_{13}	26.11
C_{79}	Watusam pu	RT 003/R W 02	36	44	S_{13}	12.91
C_{80}	Watusam pu	RT 005/R W 03	29	35	S_{13}	18.96

Tabel 1: Simulasi hasil SET-KP untuk satu lajur.

4.2.2. Skenario Evakuasi Penduduk Kota Palu Menggunakan Program SET-KP Model Multi Lajur

Berdasarkan data yang sudah ada, yaitu $N_{t_0,i}$ jumlah penduduk untuk semua cluster dalam tahu 2012 dalam Magfirah (2013), $\Delta = 0.2$, $l = 8$, $d = \{0.5, 1\}$ dan $v = 2.5$ km/jam diperoleh jalur pengungsian dengan jarak terpendek dan waktu evakuasi minimum (satuan menit) untuk tahun 2013 disajikan dalam Table 2 berikut.

C	$N_{t_0,i}$	$N_{t,i}$	S	Waktu Evakuasi (menit)	
				$d = 0.5$	$d = 1$
C_1	751	902	S_1	118.15	119.46
C_2	726	872	S_1	93.76	95.06
C_3	706	848	S_1	92.53	93.79
C_4	821	986	S_1	110.11	111.58
C_5	493	592	S_2	83.89	84.76
C_6	402	483	S_2	72.37	73.08
C_7	555	666	S_2	69.195	70.182
C_8	624	749	S_2	55.711	56.823
C_9	208	250	S_2	88.947	89.31
C_{10}	317	381	S_2	77.335	77.895
C_{11}	316	380	S_2	69.558	70.116
C_{12}	236	284	S_3	58.296	58.656
C_{13}	223	268	S_3	55.83	56.22
C_{14}	275	330	S_2	51.123	51.606
C_{15}	67	81	S_3	45.181	45.291
C_{16}	318	382	S_3	43.953	44.514
C_{17}	274	329	S_3	57.169	57.651
C_{18}	344	413	S_4	75.823	76.431
C_{19}	126	152	S_4	66.504	66.72

C ₂₀	141	170	S ₄	55.779	56.022
C ₂₁	143	172	S ₄	51.846	52.092
C ₂₂	152	183	S ₄	47.998	48.261
C ₂₃	96	116	S ₅	110.65	110.82
C ₂₄	122	147	S ₅	101.68	101.889
C ₂₅	199	239	S ₅	83.170	83.517
C ₂₆	827	993	S ₆	62.269	63.747
C ₂₇	615	738	S ₆	56.343	57.438
C ₂₈	699	839	S ₆	38.254	39.501
C ₂₉	611	734	S ₆	32.457	33.546
C ₃₀	583	700	S ₆	38.238	39.276
C ₃₁	681	818	S ₆	52.239	53.454
C ₃₂	633	760	S ₆	67.656	68.784
C ₃₃	668	802	S ₆	70.719	71.91
C ₃₄	574	689	S ₇	47.149	48.171
C ₃₅	101	122	S ₇	44.547	44.718
C ₃₆	123	148	S ₇	50.274	50.484
C ₃₇	166	200	S ₇	56.904	57.192
C ₃₈	377	453	S ₇	62.299	62.967
C ₃₉	203	244	S ₈	82.194	82.548
C ₄₀	64	77	S ₈	76.807	76.911
C ₄₁	601	722	S ₈	73.311	74.382
C ₄₂	495	1072	S ₈	79.164	80.76
C ₄₃	893	1041	S ₈	82.669	84.219
C ₄₄	867	873	S ₈	80.137	81.435
C ₄₅	727	878	S ₈	76.785	78.09
C ₄₆	731	1096	S ₈	76.536	78.168
C ₄₇	913	878	S ₈	67.977	69.282
C ₄₈	731	1096	S ₈	30.6	32.232
C ₄₉	230	276	S ₈	87.954	88.356
C ₅₀	180	216	S ₈	79.32	79.632
C ₅₁	39	47	S ₉	61.882	61.941
C ₅₂	37	45	S ₉	77.623	77.679
C ₅₃	28	34	S ₉	64.815	64.854
C ₅₄	34	41	S ₉	65.737	65.787
C ₅₅	31	38	S ₉	63.573	63.618
C ₅₆	36	44	S ₉	60.15	60.204
C ₅₇	780	936	S ₉	58.056	59.448
C ₅₈	430	516	S ₉	59.994	60.756
C ₅₉	533	640	S ₉	64.764	65.712
C ₆₀	805	966	S ₉	74.349	75.786
C ₆₁	419	503	S ₉	72.358	73.101
C ₆₂	451	542	S ₉	78.177	78.978
C ₆₃	443	532	S ₉	84.522	85.308
C ₆₄	513	616	S ₁₀	76.032	76.944
C ₆₅	453	544	S ₁₀	69.804	70.608
C ₆₆	427	513	S ₁₀	52.741	53.499
C ₆₇	419	503	S ₁₀	28.702	29.445
C ₆₈	451	542	S ₁₀	28.761	29.562
C ₆₉	443	532	S ₁₀	15.834	16.62
C ₇₀	513	616	S ₁₀	10.32	11.232
C ₇₁	453	544	S ₁₀	17.124	17.928
C ₇₂	391	470	S ₁₀	36.789	37.482
C ₇₃	367	441	S ₁₁	28.489	29.139
C ₇₄	345	414	S ₁₁	24.945	25.554
C ₇₅	230	276	S ₁₂	27.306	27.708
C ₇₆	15	18	S ₁₂	11.679	11.694
C ₇₇	59	71	S ₁₃	40.702	40.797
C ₇₈	38	46	S ₁₃	25.089	25.146
C ₇₉	36	44	S ₁₃	11.934	11.988
C ₈₀	29	35	S ₁₃	18.184	18.225

Tabel 2: Simulasi hasil SET-KP untuk multi lajur.

Simulasi hasil perhitungan di atas juga dapat dikembangkan untuk memperoleh skenario evakuasi dalam tahun 2012, 2013

Sistem Evakuasi Tsunami Kota Palu (SET-KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum

(I W. Sudarsana *et al.*)

dan seterusnya sesuai kebutuhan karena perangkat lunak SET-KP telah memperhitungkan parameter pertumbuhan penduduk secara dinamis.

V. Kesimpulan dan Saran

Pada penelitian ini telah dihasilkan sebuah perangkat lunak Sistem Evakuasi Tsunami untuk kota Palu (SET-KP) yang dapat digunakan untuk menentukan jalur terpendek menuju semua *shelter* dari setiap *cluster* sekaligus waktu evakuasi minimumnya. Penentuan jalur terpendek dalam SET-KP menggunakan algoritma *Dijkstra* dan menghitung waktu evakuasi minimumnya menggunakan model matematika sederhana berikut

$$T_{t,i} = \frac{\left(\frac{(1+\Delta)^{t-t_0} \cdot N_{t_0,i}}{i} - 1\right) d + L}{v}$$

Simulasi dengan perangkat lunak SET-KP untuk skenario evakuasi penduduk di semua *cluster* pesisir kota Palu diperoleh bahwa *cluster* dengan jumlah penduduk cukup banyak waktu evakuasinya melebihi ketentuan *InaTews* (15 menit). Sementara itu, *cluster* dengan jumlah penduduk sedikit ketentuan *InaTews* dapat dipenuhi, seperti *cluster* C₇₀, C₇₆ dan C₇₉.

Oleh karena itu, *shelter* (titik evakuasi) yang didefinisikan oleh Sarmanto (2012) dalam dokumen BPBD dan Magfirah (2013) perlu direposisi agar syarat *InaTews* dapat dipenuhi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) Universitas Tadulako dengan DIPA DP2M DIKTI berdasarkan nomor kontrak: 162.c/un 28.2/PL/2013.

Daftar Pustaka

- Banten, T., 2009, Tsunami di Indonesia, (*Online*) <http://taganabanten-info.blogspot.com/2009/11/tsunami-di-indonesia.html>, di akses: 20 Februari 2013.
- Kusdiantara, R., 2011, *Model Evakuasi Bencana Tsunami Kota Padang*. Bandung: Skripsi.
- Maghfirah, D., 2013, *Pencarian Lintasan Terpendek Graf dengan Algoritma Prim dan Aplikasinya pada Pembuatan Sistem Evakuasi Tsunami di Kota Palu*. Palu: Skripsi.
- Sarmanto, D., 2012, *Profil Resiko Bencana Kota Palu*, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) kota Palu.
- <http://zulrafiadityaofficialblog.wordpress.com/2012/08/31/10-gempa-besar-yang-pernah-terjadi-di-sulawesi-tengah>, diakses tanggal 05 September 2013.