ISSN 0853-2982

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

eISSN 2549-2659

Model Optimasi untuk Restorasi Jaringan Jalan Terdampak Bencana

Febri Zukhruf

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia, E-mail: febri.zukhruf@ftsl.itb.ac.id

Russ Bona Frazila

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia, E-mail: frazila@yahoo.com

Abstrak

Terputusnya jaringan jalan pada umumnya menjadi faktor kendala utama dalam distribusi bantuan setelah terjadinya bencana. Oleh karenanya pengembangan model terkait pemulihan (i.e., restorasi) jaringan jalan telah mendapatkan perhatian lebih dari banyak peneliti. Makalah ini kemudian mengusulkan model restorasi jaringan jalan dengan mengintegrasikan konsep konektivitas dapen algoritma Hungarian. Konsep konektivitas digunakan untuk memprioritaskan jalan terdampak yang ingin diperbaiki oleh tim restorasi. Sementara itu, algoritma Hungarian digunakan untuk melakukan penugasan tim restorasi secara lebih efisien. Hasil eksperimen numerikal mengindikasikan bahwa model restorasi yang diusulkan mampu memulihkan jaringan jalan secara lebih cepat dengan biaya yang lebih murah.

Keywords: Model restorasi, jaringan jalan, algoritma hungarian, konektivitas, distribusi bantuan .

Abstract

The disruption of road network becomes the primary constraint for relief distribution after a disaster, which is then driven a considerable development of the restoration model. This paper then discusses a variant of the restoration model by integrating the connectivity concept and the Hungarian Algorithm. The connectivity concept plays an essential role in prioritizing the disrupted road to be repaired, in which the Hungarian Algorithm is employed for efficiently assigning the restoration team. The numerical experiment shows that the proposed restoration model provides a more efficient result in terms of the required time and cost for fully restoring the disrupted road.

Keywords: Restoration model, road network, hungarian algorithm, connectivity, relief distribution.

1. Pendahuluan

Distribusi bantuan kemanusiaan dan evakuasi korban menjadi perhatian utama setelah terjadi bencana, karena hal tersebut sangat diperlukan untuk menghindari bertambahnya korban jiwa akibat lambatnya evakuasi maupun bantuan yang terlambat tiba (Ahmadi et al., 2015). Selain itu, untuk mengirimkan bantuan maupun melakukan evakuasi, jaringan jalan biasanya bertindak sebagai faktor kendala karena jaringan jalan telah terputus atau tidak dapat dilalui (Çelik, 2016). Oleh karena itu, sejumlah penelitian telah diusulkan untuk menangani masalah ini, yang secara umum dibagi menjadi dua perspektif utama, yaitu perspektif pra-bencana (mis., persiapan dan mitigasi) dan perspektif pasca-bencana (mis., *response* dan *recovery*). Perspektif pertama berkonsentrasi pada proses identifikasi elemen jaringan kritis dalam rangka memperkuat jaringan transportasi menghadapi bencana (Nagae et al., 2012). Sementara itu, perspektif kedua berhubungan dengan penanganan situasi pasca bencana dalam rangka memulihkan keadaan baik untuk kebutuhan jangka pendek (i.e., *response*) maupun jangka panjang (i.e., *recovery*) (Zhen et al., 2016).

Terlepas dari pentingnya perencanaan pra-bencana, dampak bencana itu sendiri tidak dapat dihindari, yang kemudian memotivasi semakin banyaknya studi pada perspektif pasca-bencana. Studi pasca-bencana secara tradisional umumnya terbagi atas beberapa tipe permasalahan, diantaranya masalah *last-mile distribution* (Rabta et al., 2018), permasalahan pemilihan lokasi fasilitas distribusi (Ryu et al., 2016), dan masalah pemulihan/restorasi jaringan (Matisziw et al., 2019). Masalah pemulihan berkaitan dengan penugasan tim restorasi/perbaikan (beserta peralatannya) untuk memperbaiki infrastuktur pada jaringan transportasi yang terdampak bencana. Keluaran utama yang dihasilkan berupa penjadwalan optimal tim perbaikan untuk memulihkan secepatnya jaringan jalan.

Konektivitas jaringan jalan menjadi parameter lain yang dianggap penting setelah terjadi bencana, karena dianggap berperan sebagai dasar untuk menyediakan evakuasi, respon darurat, dan operasi pemulihan (Altay & Green, 2006). Konektivitas jaringan pada awalnya banyak dipelajari dalam konteks jaringan transportasi udara (Wei et al., 2014), serta jaringan angkutan

Diterima 17 Januari 2020, Direvisi 18 November 2020, Diterima untuk dipublikasikan 2 Desember 2020

umum (Hadas & Ranjitkar, 2012). Selain itu, ada beberapa upaya untuk memasukkan konsep konektivitas jaringan jalan, meskipun dalam kasus bencana belum dieksplorasi secara sistematis (Zhou et al., 2019). Studi konektivitas yang mempertimbangkan bencana umumnya dilakukan dalam perspektif pra-bencana (Peeta et al., 2010). Sedikit sekali studi telah dilakukan dalam hal perspektif pasca bencana (Akbari & Salman, 2017), Makalah ini kemudian memasukkan konsep konektivitas ke model restorasi jaringan jalan sebagai panduan praktis tim perbaikan untuk memulihkan jaringan jalan.

Menyatukan konsep yang dibahas di atas, makalah ini kemudian membahas tiga tingkat keputusan yang berbeda, yaitu, keputusan terkait pemilihan jalan prioritas yang harus diperbaiki, penugasan tim perbaikan ke jalan terdampak yang dipilih, dan pemilihan rute operasional terpendek yang akan dikunjungi oleh tim perbaikan dengan menghindari jalan rusak. Kerusakan jalan akibat bencana dimodelkan dalam perspektif simpul yang tidak hanya secara teknis lebih mudah ditangani, akan tetapi dapat menggambarkan secara luas berbagai gangguan infrastruktur, misalnya, debris di jalan ataupun, jalan terputus.

Keputusan dalam restorasi jaringan jalan kemudian dirumuskan dalam kerangka pemodelan matematika berbasis optimasi. Model ini mengintegrasikan tidak hanya konsep konektivitas akan tetapi juga Algoritma Hungarian yang dikenal mampu menyelesaikan permasalahan penugasan secara optimal pada banyak kasus dibidang kerekayasaan. Selain itu, aplikabilitas dari model diinvestigasi pada jaringan jalan yang terdampak melalui eksperimen numerikal.

2. Model Optimasi

Model optimasi restorasi jaringan jalan bertujuan untuk meminimalkan total biaya yang dibutuhkan untuk menugaskan tim restorasi dalam memulihkan semua simpul yang terdampak (i.e., **Persamaan (1)**).

$$\min \sum_{r \in R} u\vartheta_r, \quad s.t \tag{1}$$

$$z_i = \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \varsigma_{it}^r, \quad \forall i \in N', t \in T,\ z_i \in \{0,1\} \tag{2}$$

$$\sum_{i \in N'} \sum_{l=t}^{\min\{\tau, l+s_i-1\}} \varsigma_{il}^r \leq 1, \quad t \in T, T = [1,...,\tau] \tag{3}$$

$$\omega_{it} \leq \sum_{r \in R} \sum_{l=1}^{t} \varsigma_{il}^r, \quad \forall t \in T, i \in N' \tag{4}$$

$$\sum_{t=1}^{s_i-1} \omega_{it} = 0 \quad \forall i \in N', t \in T \tag{5}$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{t=1}^{s_i-1} \varsigma_{it}^r = 0, \quad \forall i \in N', t \in T \tag{6}$$

$$\sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{D} \omega_{it} = D, \quad \forall N' = [1,...,i,...,D],\ T = [1,...,\tau] \tag{7}$$

ϑ_r : total waktu kerja tim restorasi-r untuk memulihkan seluruh simpul terdampak.
u : unit biaya yang dibutuhkan untuk menugaskan tim restorasi dalam satuan waktu tertentu.
z_i : variabel biner yang mengindikasikan bahwa simpul-i telah di pulihkan.
ς_{it}^r : variabel biner yang mengindikasikan apakah simpul-i telah dipulihkan oleh tim restorasi-r pada suatu waktu-t tertentu.
s_i : waktu untuk merestorasi simpul rusak-i
ω_{it} : variable biner yang mengindikasikan apakah simpul terdampak-i dapat beroperasi pada waktu-t
D : jumlah total simpul yang terdampak.
N' : set dari simpul yang terdampak bencana yang tidak tidak dapat dilewati (beroperasi).

Fungsi kendala untuk merestorasi jalan ditunjukkan oleh **Persamaan (2)** hingga **(7)**. **Persamaan (2)** memastikan bahwa simpul-i direstorasi oleh tim-r pada suatu waktu-t tertentu. **Persamaan (3)** menyakinkan bahwa tim-r hanya dapat bekerja pada satu lokasi simpul terdampak dalam suatu waktu-t tertentu. **Persamaan (4)** mengaransi bahwa jika simpul-i telah beroperasi, maka itu dilakukan seluruhnya oleh tim-r. Sementara itu, **Persamaan (5)** memastikan bahwa simpul-i dapat beroperasi jika waktu yang dibutuhkan untuk merestorasi telah terpenuhi. Konsep yang serupa diberikan pada **Persamaan (6)** dengan mengambil perspektif pada tim-r, dimana tim-r tidak dapat menyelesaikan proses restorasi sebelum waktu yang dibutuhkan. **Persamaan (7)** memastikan bawah seluruh simpul terdampak harus dipulihkan.

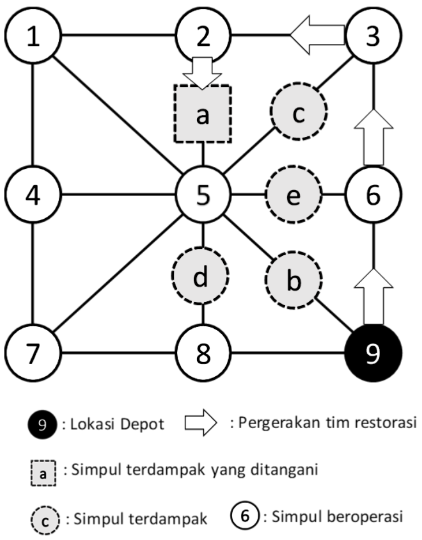
Selanjutnya, untuk menugaskan tim perbaikan, para pemangku kepentingan memenuhi tiga level keputusan yang berbeda, yaitu, memilih simpul prioritas, menetapkan dan menjadwalkan tim perbaikan ke infrastruktur yang dipilih, dan memutuskan rute operasional terpendek yang harus dikunjungi dengan menghindari simpul terdampak (lihat **Gambar 1**). Di sisi lain tim perbaikan memiliki keterbatasan dalam hal jumlah dan kapasitas, yang memaksa para pemangku kepentingan untuk menugaskan mereka dengan bijaksana di simpul prioritas. Simpul dapat diperingkat dalam beberapa cara, misalnya, simpul prioritas

Diterima 17 Januari 2020, Direvisi 18 November 2020, Diterima untuk dipublikasikan 2 Desember 2020

ditentukan berdasarkan jarak mereka dari pusat bantuan (i.e., depot). Simpul prioritas dapat pula buat berdasarkan tingkat kepentingnya terhadap jaringan. Makalah ini kemudian mengusulkan untuk memasukkan konsep konektivitas untuk membuat daftar simpul prioritas. Karena gangguan pada simpul di jaringan jalan dengan tingkat konektivitas tertinggi akan sangat mempengaruhi seluruh jaringan, dan karenanya, perlu segera dipulihkan.

Parameter konektivitas digunakan untuk mengukur derajat dari simpul ke jalur terpendek pada jaringan jalan. Namun, dalam hal distribusi bencana bantuan, hanya diperhatikan keterhubungan dari pusat bantuan/ depot ke lokasi pengungsian (i.e., shelter). Untuk menghitung parameter konektivitas, pertama-tama digunakan algoritma Dijkstra's (Dijkstra, 1959) untuk menghasilkan jalur terpendek antara shelter dan depot. Kemudian fraksi dari simpul yang terganggu dihitung dengan membagi jumlah kemunculan simpul dalam jalur terpendek dengan jumlah pasangan yang dievaluasi.

Misalnya, jika ada empat pasang shelter yang dievaluasi, dan 2 dari mereka pergi melalui simpul-*i* yang terganggu. Maka nilai fraksi simpul--*i* (i.e., δ_i) adalah (4÷2)/100 (i.e., δ_i =1/50). Perhitungan fraksi ini diulang untuk setiap simpul yang terganggu. Dalam kasus simpul terganggu yang tidak muncul di jalur terpendek, ditetapkan nilai fraksi simpul sebagai angka besar (e.g., δ_i =100).



Gambar 1. Ilustrasi pergerakan tim restorasi menuju simpul terdampak

Proses ini selanjutnya digunakan sebagai faktor pembobotan untuk membangun matriks biaya penugasan tim restorasi. Karena penugasan tim restorasi ke simpul yang terganggu dapat melibatkan kombinasi yang berbeda, makalah ini memasukkan secara adaptif Alogritma Hungarian untuk menyelesaikan permasalahan penugasan dan penjadwalan tim restorasi (Kuhn, 1955; Munkres, 1957). Langkah-langkah umum untuk menerapkan teknik solusi kemudian dijelaskan sebagai berikut:

Inisialisasi

Atur *t*=1, buat matriks penugasan dengan dimensi (H_t x W_t'). $W_t' \in N'$ menunjukan set dari kandiat simpul yang akan direstorasi. $H_t \in R$ mengilustrasikan jumlah tim restorasi yang tersedia pada waktu-*t* tertentu. Tempatkan simpul kandidat pada baris atas matrik dan tim yang tersedia pada kolom pertama (**Tabel 1**).

Tabel 1. Matrik penugasan tim restorasi

	1	…	*i*	…	W_t'
1	ϖ_{11}	…	ϖ_{1i}	…	$\varpi_{1W_t'}$
⋮	⋮		⋮		⋮
r	ϖ_{r1}	…	ϖ_{ri}	…	$\varpi_{rW_t'}$
⋮	⋮		⋮		⋮
H_t	ϖ_{H_t1}	…	ϖ_{H_ti}	…	$\varpi_{H_tW_t'}$

<u>*Langkah-1*</u>

Hitung biaya penugasan tim (i.e., ϖ_{ri}) menggunakan persamaan berikut

$$\varpi_{ri} = \delta_i \left(s_i + \Upsilon_r(i,j,N')\right) \quad \forall r \in R \;, i \in N^r, j \in N' \tag{8}$$

$\Upsilon_r(i,j,N')$: waktu minimum yang dibutuhkan oleh tim-*r* untuk memobilisasi dari depo-*i* menuju simpul terdampak-*j* dengan menghindari simpul yang tidak beroperasi.

δ_i : nilai fraksi dari simpul-*i*

N^r : set dari simpul depot

<u>*Langkah 2*</u>

Gunakan Algoritma Hungarian untuk menyelesaikan permasalahan optimasi (Kuhn, 1955; Munkres, 1957). Algoritma Hungarian merupakan metode untuk menyelesaikan permasalahan penugasan dengan tujuan untuk meminimumkan total biaya penugasan. Pada makalah ini, biaya dianggap sebagai waktu yang dibutuhkan untuk merestorasi jaringan serta waktu mobilisasinya dengan mengkonsiderasikan peranan konektivitas simpul (lihat persamaan (8)). Sehingga algoritma ini akan menetapkan secara sistematis tim yang akan ditugaskan pada simpul yang terdampak. Penugasan tim dianggap optimum total biaya penugasan mencapai nilai terkecil. Hasil dari Algoritma Hungarian digunakan untuk menugaskan tim-*r* pada simpul-*i* hingga akhir dari proses restorasi (lihat Persamaan (5) dan (6)).

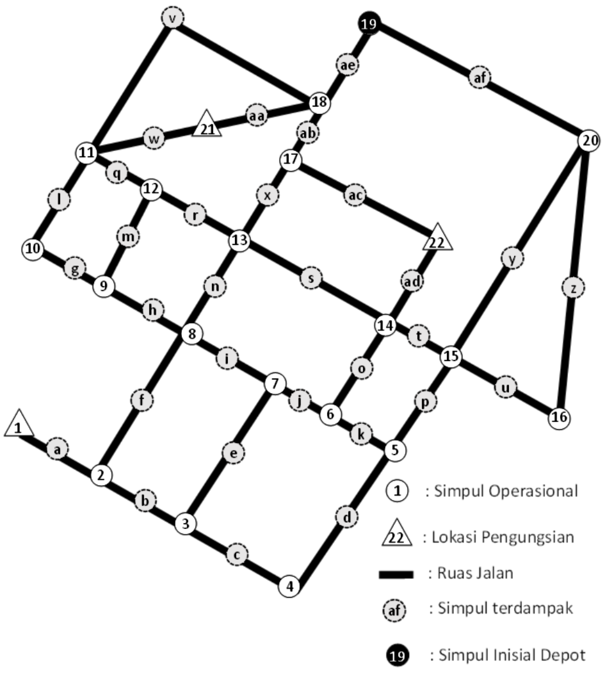
<u>*Langkah 3*</u>

Perbaharui jumlah tim yang tersedia dan kandidat simpul. Atur *t*=*t*+1, jika *t* kurang dari τ lanjut ke langkah 1, jika tidak proses berakhir.

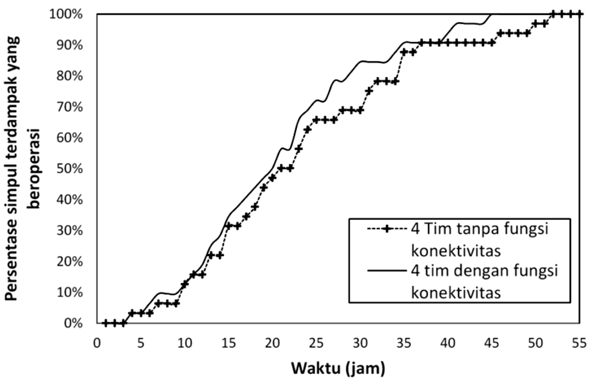
3. Eksperimen Numerikal

Untuk menyelidiki penerapan model, makalah ini kemudian menggunakan jaringan jalan sederhana yang

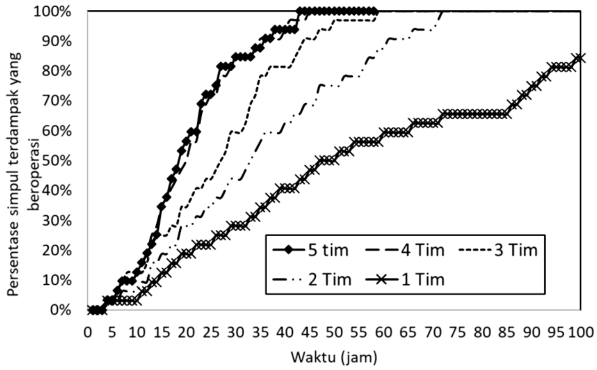
Diterima 17 Januari 2020, Direvisi 18 November 2020, Diterima untuk dipublikasikan 2 Desember 2020



Gambar 2. Jaringan yang di ujicoba



Gambar 3. Perbandingan waktu restorasi untuk model dengan dan tanpa fungsi konektivitas



Gambar 4. Perbandingan waktu restorasi dengan variasi jumlah tim

terdampak bencana. Jaringan jalan tersebut dilengkapi oleh 20 simpul dan 32 ruas. Anggap bahwa jaringan jalan tersebut terdampak puing-puing (i.e, debris) akibat tsunami yang memaksa tim restorasi untuk membersihkan puing-puing tersebut. Kondisi ini kemudian diwakili oleh simpul-*a* hingga simpul-*af* (lihat **Gambar 2**). Simpul terdampak memiliki volume debris yang beragam mulai dari 182 m3 hingga 460 m3 yang di-*generate* secara acak pada rentang volume tersebut. Kemampuan tim untuk menyingkirkan debris dari jalan didasarkan kepada kapasitas produksi per unit tim restorasi, yang dihitung dengan menggunakan kapasitas alat berat dalam menangani debris. Dalam contoh pada makalah ini, dianggap kapasitas tim restorasi setara dengan alat berat dengan produktifitas 75 m3 per jam. Nilai produktifitas ini dapat disesuaikan dengan ketersediaan alat berat yang ada saat proses restorasi.

Berdasarkan kepada jaringan ujicoba, kinerja dari model yang diusulkan kemudian diinvestigasi. Tahap pertama adalah membandingkan kinerja model dengan dan tanpa memasukkan fungsi konektivitas yang diwakili oleh nilai fraksi pada **Persamaan (8)**. **Gambar 3** memberikan ilustrasi bahwa dengan menggunakan jumlah tim restorasi yang sama (i.e., 4 tim), model yang memasukkan fungsi konektivitas mampu merestorasi seluruh simpul terdampak lebih cepat (i.e., 45 jam) dibandingkan dengan model tanpa fungsi konektivitas (i.e., 52 jam). Secara spesifik, integrasi fungsi konektivitas mampu mempercepat waktu terbuka akses hingga 16 % lebih cepat. Kondisi ini memberikan ilustrasi manfaat penggabungan fungsi konektivitas dalam model restorasi jalan.

Eksperimen numerikal selanjutnya dilakukan dengan menginvestigasi jumlah tim optimal untuk merestorasi jaringan jalan tersebut. Terdapat 5 alternatif utama dalam proses evaluasi ini, yaitu menugaskan 1 tim, 2 tim, 3 tim, 4 tim, dan 5 tim secara bersamaan untuk merestorasi seluruh jaringan jalan terdampak.

Gambar 4 memberikan ilustrasi waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan semua simpul terdampak berdasarkan jumlah tim restorasi yang ditugaskan. Berdasarkan kepada **Gambar 4** dapat diketahui penugasan 5 tim dapat memberikan waktu restorasi yang lebih baik dibandingkan alternatif lainnya. Meskipun dalam konteks efisiensi kerja dan biaya penugasan, penugasan 4 tim untuk merestorasi jaringan jalan terlihat lebih baik dibandingkan lainnya. Penugasan dengan jumlah 4 tim dapat merestorasi semua simpul terdampak dalam waktu 45 jam, sedikit lebih lama dibandingkan penugasan 5 tim secara bersamaan (i.e., 42 jam).

Selain itu dengan menganggap bahwa unit biaya tim restorasi adalah Rp. 1,000,000 per jam. Biaya ini

Tabel 2. Biaya penugasan tim restorasi dengan variasi jumlah tim

Jumlah Tim	Waktu Kerja Tim ke- (jam)						Biaya Tim (Juta Rp.)
	1	2	3	4	5	Total	
5	33	42	38	32	32	177	17,700
4	39	34	37	41	0	151	15,100
3	49	58	43	0	0	150	15,000
2	70	71	0	0	0	141	14,100

Diterima 17 Januari 2020, Direvisi 18 November 2020, Diterima untuk dipublikasikan 2 Desember 2020

Tabel 3. Jadwal tim dan durasi restorasi simpul

Keterangan		Urutan ke-										
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Tim 1	Simpul	ae	ab	x	ac	ad	o	s	t	p	d	c
	Durasi	3	2	5	2	2	2	3	2	2	4	10
Tim 2	Simpul	af	y	z	u	j						
	Durasi	6	4	5	4	10						
Tim 3	Simpul	v	l	q	m	g	h	f	i	e	b	
	Durasi	8	2	2	2	2	3	4	3	4	7	
Tim 4	Simpul	aa	w	r	n	k	a					
	Durasi	6	5	6	2	1	18					

Tabel 4. Waktu terbuka akses dari depot ke shelter

Pasangan Simpul	Waktu terhubung (jam ke-)
Depot 19 dan Shelter-1	45
Depot 19 dan Shelter -21	10
Depot 19 dan Shelter -22	13

mencakup biaya honor pekerja, sewa alat berat, bahan bakar dan asuransi kesehatan, yang dapat disesuaikan dengan karakteristik biaya di saat bencana pada kondisi aktual. Oleh karenanya, jika melihat secara total biaya, penugasan tim berjumlah 4 dapat memberikan biaya yang jauh lebih sedikit dibandingkan penugasan 5 tim secara bersamaan (lihat **Tabel 2**). Secara spesifik, pada contoh kasus yang ditangani, solusi yang diberikan dengan menggunakan tim berjumlah 4 mampu menurunkan biaya restorasi hingga 11 % dengan waktu restorasi 6% lebih lama dibandingkan penugasan 5 tim.

Model restorasi ini dapat pula digunakan untuk menyusun jadwal tim restorasi untuk memulihkan simpul terdampak. **Tabel 3** memberikan ilustrasi dari penjadwalan urutan simpul yang harus diperbaiki oleh masing-masing tim restorasi.

Evaluasi kinerja tim restorasi dapat pula dilakukan dengan melakukan elaborasi waktu yang dibutuhkan untuk menghubungkan depot dengan shelter. Shelter-1 terhubung dengan depot pada jam ke-45, sementara shelter-21 dan 22 terhubung pada jam ke-10 dan ke-13. Pada saat shelter-21 terhubung, jumlah simpul yang diperbaiki baru mencapai 13% dari jumlah simpul yang terdampak. Kondisi ini memberikan gambaran bahwa penggunaan konsep nilai fraksi untuk meranking simpul prioritas memberikan dampak positif terhadap terbukanya akses ke shelter.

4. Kesimpulan

Makalah ini membahas model optimasi untuk restorasi jaringan jalan yang terdampak bencana, adapun beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh adalah:

1. Model yang diusulkan mencakup proses pengambilan keputusan atas tiga level keputusan yang berbeda, yaitu, pemilihan simpul terdampak prioritas yang harus diperbaiki, penugasan tim perbaikan ke simpul jalan terdampak, dan keputusan pemilihan rute terpendek yang akan dikunjungi oleh tim perbaikan.
2. Konsep konektivitas digabungkan dalam model restorasi untuk memilih simpul prioritas, dimana Algoritma Hungarian turut diintegrasikan untuk menugaskan tim restorasi secara efisien.
3. Hasil eksperimen numerikal menunjukkan bahwa model restorasi yang diusulkan mampu menyelesaikan permasalahan restorasi jaringan jalan secara efisien yang terlihat dari waktu yang lebih cepat dengan biaya yang lebih murah.
4. Penggunaan konsep konektivitas di dalam secara spesifik berhasil dalam memandu tim restorasi untuk menentukan simpul prioritas, sementara Algoritma Hungarian berperan dalam mengalokasikan tim secara efisien. Integrasi kedua pendekatan ini kedalam satu model restrorasi yang berperan dalam menurunkan waktu dan biaya restorasi selain mempercepat pembukaan akses ke lokasi terdampak.
5. Usulan metode yang dapat memberikan hasil yang lebih efisien, memiliki potensi untuk diterapkan dalam distribusi barang bantuan bencana melalui percepatan pembukaan akses ke wilayah terdampak. Pada rencana penelitian selanjutnya, metode ini akan diterapkan kepada jaringan aktual dengan menggunakan input hasil data lapangan dalam rangka menguji aplikabilitas maupun performa dari model pada kondisi nyata.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Hibah Penelitian ITB 2020 yang didanai melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat ITB

6. Daftar Pustaka

Ahmadi, M., Seifi, A., & Tootooni, B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *75*, 145 –163. https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.01.008

Akbari, V., & Salman, F. S. (2017). Multi-vehicle synchronized arc routing problem to restore post -disaster network connectivity. *European Journal of Operational Research*, *257*(2), 625–640. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.043

Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, *175*(1), 475–493. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016

Çelik, M. (2016). Network restoration and recovery in humanitarian operations: Framework, literature review, and research directions. *Surveys in Operations Research and Management Science*, *21*(2), 47–61. https://doi.org/10.1016/j.sorms.2016.12.001

Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*,

Diterima 17 Januari 2020, Direvisi 18 November 2020, Diterima untuk dipublikasikan 2 Desember 2020

1(1), 269–271. https://doi.org/10.1016/0042-6989(66)90039-3

Hadas, Y., & Ranjitkar, P. (2012). Modeling public-transit connectivity with spatial quality-of-transfer measurements. *Journal of Transport Geography*, *22*, 137–147. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.003

Kuhn, H. W. (1955). The Hungarian Method for the Assignment Problem. *Naval Research Logistics Quarterly Banner*, *2*(1–2), 83–97. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Matisziw, T. C., Murray, A. T., Nolz, P. C., Semet, F., Doerner, K. F., Lu, C. C., Ying, K. C., Chen, H. J., Maya Duque, P. A., Dolinskaya, I. S., Sörensen, K., Iloglu, S., Albert, L. A., Morshedlou, N., González, A. D., Barker, K., Hu, S., Han, C., Dong, Z. S., … Mohaymany, A. S. (2019). Optimal scheduling of emergency roadway repair and subsequent relief distribution. *European Journal of Operational Research*, *5*(1), 56–67. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.051

Munkres, J. (1957). Algorithms for the assignment and transportation problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, *5*(1), 32–38.

Nagae, T., Fujihara, T., & Asakura, Y. (2012). Anti-seismic reinforcement strategy for an urban road network. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *46*(5), 813–827. https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.02.005

Peeta, S., Sibel Salman, F., Gunnec, D., & Viswanath, K. (2010). Pre-disaster investment decisions for strengthening a highway network. *Computers and Operations Research*, *37*(10), 1708–1719. https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.12.006

Rabta, B., Wankmüller, C., & Reiner, G. (2018). A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *28*(August 2017), 107–112. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.02.020

Ryu, S., Chen, A., & Choi, K. (2016). Solving the stochastic multi-class traffic assignment problem with asymmetric interactions, route overlapping, and vehicle restrictions. In *Journal of Advanced Transportation* (Vol. 50, Issue 2, pp. 255–270). https://doi.org/10.1002/atr.1313

Wei, P., Chen, L., & Sun, D. (2014). Algebraic connectivity maximization of an air transportation network: The flight routes' addition/deletion problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *61*, 13–27. https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.10.008

Zhen, L., Xu, Z., Wang, K., & Ding, Y. (2016). Multi-period yard template planning in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological*, *93*, 700–719. https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.12.006

Zhou, Y., Wang, J., & Sheu, J. B. (2019). On connectivity of post-earthquake road networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *123*(December 2018), 1–16. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.01.009

Diterima 17 Januari 2020, Direvisi 18 November 2020, Diterima untuk dipublikasikan 2 Desember 2020