

# Perancangan Jejaring Distribusi Darat di Pulau Kalimantan dengan Model *Hub and Spoke* Alokasi Tunggal

Valentino Edric, Sofitra Mohamad, Anggela Pepy

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak 78124

e-mail: edricvalentino@outlook.com

## ABSTRAK

Pulau Kalimantan adalah pulau ketiga terbesar didunia. Wilayah Kalimantan ditempati oleh tiga negara, yaitu Indonesia, Malaysia, dan Brunei Darussalam. Diantisipasi bahwa di masa depan lalu lintas komoditas di pulau ini baik *inbound* maupun *outbound logistic* akan semakin tinggi. Untuk memperoleh ongkos total transportasi yang lebih efisien bagi aktivitas *inbound* dan *outbound logistic* di dalam Pulau Kalimantan itu sendiri, struktur jaringan *hub and spoke* dapat diterapkan. Penelitian tentang HLP dimulai sejak lebih dari 2 dekade yang lalu. Namun disayangkan penelitian mengenai rancangan penerapan HLP di Indonesia masih minim. Dalam *p-hub location problem* diskrit, seluruh kota dan distrik berinteraksi dengan saling mengirimkan muatan. Ditentukan kota sejumlah  $p$  dari seluruh kota yang tersedia untuk menjadi hub yang terkoneksi secara penuh satu sama lain. Selain itu, kota yang tidak terpilih menjadi hub dialokasikan pada salah satu hub yang terpilih sehingga setiap kota dapat mengirimkan muatan pada kota lain dengan hub sebagai titik *transshipment/consolidation*. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan total ongkos transportasi dan ongkos pembangunan hub pada setiap kota terpilih.

Pada penelitian ini digunakan metode solusi metaheuristik tabu search untuk menyelesaikan permasalahan *p-hub location*. Metaheuristik tersebut dapat menemukan solusi yang baik dari permasalahan kombinatorial dengan mengevaluasi setiap solusi optimal lokal yang ditemui. Hasil komputasi menunjukkan lokasi-lokasi hub dengan ongkos minimum yang ditemukan oleh *tabu search*. Hasil tersebut dipengaruhi oleh algoritma alokasi *service nodes* pada hub. Terdapat dua jenis algoritma yang digunakan. Pertama *nearest neighbor* yang mengalokasikan kota pada hub terdekat. Kedua *least cost* yang mengalokasikan kota pada hub dengan ongkos transportasi terkecil. Dalam penelitian ini dibuat empat skenario untuk melihat pengaruh interaksi dan ongkos kirim terhadap total ongkos transportasi dari jejaring yang diperoleh. Berdasarkan hasil pencarian dengan metode solusi yang diusulkan, skenario 1 menghasilkan jejaring *hub and spoke* untuk Pulau Kalimantan dengan total ongkos transportasi terkecil.

## KATA KUNCI

*Hub Location Problem*, Jejaring Distribusi, Kalimantan, Logistik, *Tabu Search*

### 1. Pendahuluan

Dalam era persaingan industri yang sangat ketat, perlu adanya perbaikan strategi yang mampu membantu perusahaan untuk bersaing. Salah satu upaya perusahaan untuk mampu bersaing di pasar yaitu dengan menekan total ongkos yang dikeluarkan dalam memproduksi barang atau jasa yang ditawarkan sehingga perusahaan dapat menurunkan harga atau memperoleh margin keuntungan yang lebih besar. Pada perusahaan logistik, permasalahan ongkos yang tinggi dalam distribusi memiliki banyak solusi alternatif. Alternatif yang populer untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memusatkan rute atau lintasan angkut dari beberapa pasangan titik asal dan tujuan dengan menggunakan fasilitas konsolidasi yang dinamai hub. Hub merupakan fasilitas yang berguna sebagai titik peralihan, *transshipment*, dan penyortiran dalam sistem *many-to-many distribution* [3]. Fasilitas ini memusatkan aliran distribusi untuk mendapatkan skala ekonomi yang lebih baik. Komoditas kiriman dikumpulkan pada fasilitas ini, di mana sumber daya administrasi dan teknis terkumpul. Dengan melakukan hal ini, distribusi komoditas menjadi lebih efisien dibandingkan dengan sumber daya tersebut tersebar di seluruh titik logistik. Topologi jaringan yang dihasilkan dikenal dengan nama *hub-and-spoke* yang mencapai skala ekonomis dengan penggunaan kendaraan yang efisien untuk mengkonsolidasi rute dan penggunaan

kendaraan yang besar dan hemat ongkos pada rute-rute yang banyak digunakan [8].

Konsep jaringan hub pertama kali dikenalkan oleh Goldman pada tahun 1969 dalam publikasinya yang berjudul "*Optimal location for centers in a network*". Kemudian O'Kelly pada tahun 1987 berhasil menyajikan model matematis dalam publikasi penelitiannya yang berjudul "*A quadratic integer program from the location of interacting hub facilities*" yang mempelajari jaringan maskapai penerbangan komersial. Setelah dipopulerkan oleh O'Kelly, studi mengenai *hub location problem* (HLP) dilanjutkan oleh banyak peneliti. Sayangnya, sedikit penelitian yang dapat penulis temukan yang membahas mengenai penentuan lokasi hub di Indonesia. Sedikitnya, hanya dua publikasi penelitian mengenai *hub location problem* yang dapat penulis temukan. Yunianto (2014) melakukan penelitian tentang pemilihan lokasi pelabuhan pengumpul sebagai pusat konsolidasi peti kemas dan *general cargo*. Sebagai hasil penelitian yang telah dilakukan, Yunianto menentukan lokasi portal hub dan gambaran rute pada pelabuhan yang berada pada wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Faisal dan Rudiansyah (2017) melakukan penelitian untuk membangun model hub median. Penelitian berfokus pada menghilangkan batasan jumlah hub yang akan dibangun. Sebagai hasil, Faisal dan Rudiansyah membangun model *median hub problem* tanpa batasan

jumlah hub yang dibangun dengan fungsi tujuan jumlah hub yang dibangun. Model yang dibuat juga dapat digunakan untuk menentukan lokasi pembangunan hub dan alokasi *node* non-hub pada hub tersebut.

Secara umum, publikasi penelitian mengenai HLP di Indonesia memperoleh solusi dengan metode eksakta. Sedangkan perkembangan HLP tidak terbatas dalam solusi eksak saja. Terdapat banyak metode heuristik yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi yang berkualitas baik dengan waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan metode eksak. Contohnya adalah metaheuristik *tabu search* (TS). TS merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang mencari solusi dengan dua strategi, yaitu intensifikasi dan diversifikasi. TS merupakan salah satu metode heuristik yang diimplementasikan oleh Klincewicz dalam penelitiannya yang berjudul ‘*Avoiding local optima in the p-hub location problem using tabu search and GRASP*’ pada tahun 1992. Strategi TS mirip dengan strategi eksploitasi dan eksplorasi. Algoritma *tabu search* dimulai dengan mencari solusi optimal dari solusi awal. Apabila *tabu search* sudah mencapai *terminating point*, maka *tabu search* akan memulai pencarian kembali dengan merekayasa solusi baru yang belum pernah ditemukan selama algoritma berjalan. Kemungkinan algoritma terjebak dalam satu area solusi diminimalkan dengan dikenalkannya *tabu list* yang mencegah algoritma menghasilkan solusi yang sudah diperoleh sebelumnya. Algoritma metaheuristik ini memungkinkan untuk mencari seluruh area solusi sehingga diperoleh solusi optimal yang berkualitas.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Hub Location Problem

*Hub location problem* (HLP) merupakan permasalahan optimasi kombinatorial klasik yang muncul dalam jaringan telekomunikasi dan transportasi di mana titik (*node*) mengirim dan menerima komoditas seperti transmisi data, penumpang, surat, dan sebagainya melalui fasilitas khusus yang disebut dengan hub [9]. Fasilitas hub mengkonsolidasi arus komoditas dari titik asal dan merekayasa jalur kiriman menuju titik tujuan melalui satu atau dua fasilitas hub. Titik asal dan titik tujuan dalam jaringan tersebut disebut dengan istilah *spokes* sehingga jaringan tersebut juga dinamakan *hub-spoke network*. Asumsi dalam jaringan hub-spoke adalah seluruh hub terkoneksi penuh melalui jalur dengan volume tinggi dan ongkos yang rendah sehingga memungkinkan adanya faktor diskon untuk ongkos transportasi pada jalur tersebut. Asumsi lainnya adalah seluruh jalur yang dilewati oleh arus komoditas harus melalui sekurang-kurangnya satu fasilitas hub atau maksimal melalui 2 fasilitas hub. Secara keseluruhan, HLP fokus dengan penentuan lokasi hub pada jaringan dan alokasi *spokes* pada hub untuk meminimalkan ongkos total transportasi.

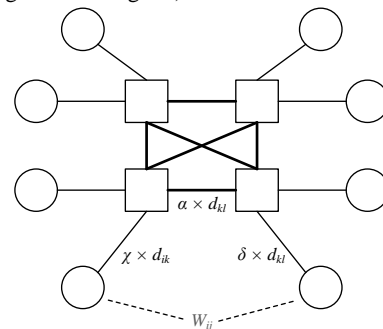
Tujuan dari *hub location problem* yang paling mendasar adalah untuk menemukan dan menentukan lokasi terbaik untuk hub dan penugasan setiap titik *demand* untuk hub tersebut. Penugasan sebuah titik permintaan pada hub terdekat belum tentu memberikan solusi optimal walaupun pada permasalahan lokasi klasik hal tersebut dapat menjadi

solusi optimal. Maka dari itu, penugasan titik permintaan yang optimal harus ikut ditentukan dalam *hub location problem* [3]

### 2.2 Uncapacitated Single Allocation Hub Location Problem (U-SA-p-HLP)

*Uncapacitated single allocation hub location* merupakan tipe khusus dari HLP yang mana sebuah *service node* hanya dapat dialokasikan pada sebuah hub tunggal yang kapasitasnya tidak dibatasi. Selain itu ongkos pembangunan hub juga terlibat dalam perhitungan ongkos total transportasi. Jejaring *hub-spoke* alokasi tunggal dapat dilihat pada gambar 1. Permasalahan tersebut melibatkan keputusan-keputusan berikut ini:

- Lokasi hub (Pada jaringan tersebut di mana sebaiknya hub dibangun?)
- Alokasi *service node* pada hub (Bagaimana prosedur alokasi *service node* pada hub?)
- Jumlah hub yang dibangun (Bagaimana penentuan jumlah hub yang akan dibangun?)



Gambar 1 Jejaring Hub and Spoke Alokasi Tunggal

Tujuan dari U-SA-p-HLP adalah untuk meminimalkan ongkos pembangunan hub dan ongkos transportasi. Tujuan ini dibatasi dengan alokasi *service node* hanya dapat dilakukan pada satu hub tunggal, rute transportasi harus melewati minimal 1 dan maksimal 2 hub. Ongkos transportasi pada U-SA-p-HLP terdiri dari tiga komponen, yaitu:

- Ongkos pengumpulan,  $\chi$ , adalah ongkos yang ditimbulkan oleh aktivitas pengiriman komoditas oleh *service node* menuju hub.
- Ongkos transfer,  $\alpha$ , adalah ongkos yang ditimbulkan oleh aktivitas pengiriman komoditas antar hub. Pada ongkos ini diberikan faktor diskon karena pengiriman dilakukan dalam skala besar sehingga mendukung tercapainya *economy-of-scale*.
- Ongkos distribusi,  $\delta$ , adalah ongkos yang ditimbulkan oleh aktivitas pengiriman atau distribusi komoditas dari hub menuju *service node*.

### 2.3 Metaheuristik Tabu Search

*Tabu search* (TS) dikenalkan oleh Glover dan McMillan, yang pertama kali menggunakan istilah “metaheuristik”. Larangan dalam TS disebut dengan tabu. Hal ini melarang algoritma mencari solusi pada area yang sudah dikunjungi sebelumnya untuk mendukung strategi diversifikasi. Hal ini bertujuan untuk menjelajahi ruang solusi dan menghindari

dari terjebak pada lokal optimal dengan cara mengaplikasikan prosedur pencarian lokal secara intensif [1].

*Tabu search* dapat menemukan solusi yang sangat baik (<1% *optimality gaps*) untuk *p-Hub Median Problem* yang ditunjukkan oleh Skorin-Kapov dkk., pada tahun 1996 dalam jurnalnya yang berjudul “*Tight Linear Programming Relaxations of Uncapacitated p-Hub Median Problems*” dibandingkan dengan metaheuristik lainnya seperti *Simulated Annealing* yang dilakukan oleh Abdinnour-Helm pada tahun 2001 dalam jurnalnya yang berjudul “*Using Simulated Annealing to Solve The p-Hub Median Problem*”.

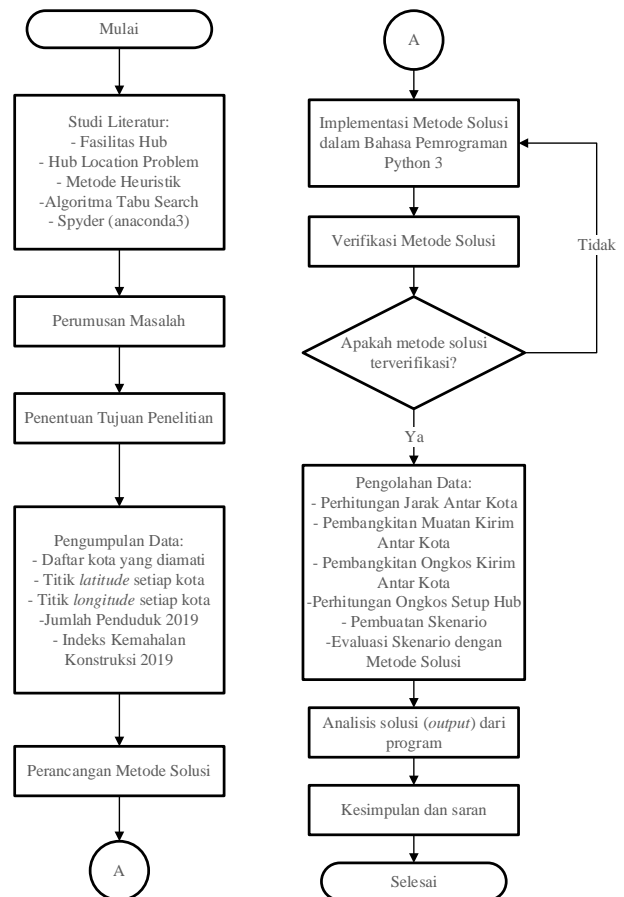
*Tabu search* bekerja dalam konteks prosedur pencarian yang mana pada setiap iterasi, satu *move* dari satu solusi *feasible* ke solusi *feasible* lainnya. Dalam kasus *p-hub location problem*, sebuah solusi yang *feasible* terdiri dari set *K* hub, dan diasumsikan semua *service nodes* dialokasikan pada hub terdekat. Tidak seperti algoritma lainnya, *tabu search* tidak berhenti ketika menemukan solusi optimum lokal. Algoritma ini dapat terus bekerja mencari solusi lain meskipun *move* yang dilakukan tidak menghasilkan solusi yang lebih baik.

Algoritma *tabu search* mengandung beberapa komponen sebagai aturan, perintah, dan batasan saat algoritma beroperasi. Komponen tersebut meliputi:

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| a. <i>Move</i>             | e. <i>Aspiration Criteria</i> |
| b. <i>Tabu list</i>        | f. <i>Stopping rule</i>       |
| c. <i>Tabu restriction</i> | g. Fase Intensifikasi         |
| d. <i>Tabu tenure</i>      | h. Fase Diversifikasi         |

### 3. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan perancangan metode solusi untuk U-SA-p-HLP dan perancangan jejaring distribusi jalur darat pada Pulau Kalimantan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2. Penelitian dilakukan pada 3 negara yang berada dalam Pulau Kalimantan, yaitu Indonesia, Malaysia, dan Brunei Darussalam. Wilayah yang dicakup yaitu Provinsi Kalimantan Utara, Provinsi Kalimantan Timur, Provinsi Kalimantan Selatan, Provinsi Kalimantan Tengah, Provinsi Kalimantan Timur, Negeri Bagian Sabah, Negeri Bagian Sarawak, dan Brunei Darussalam.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara daring dari situs resmi GoogleMaps (maps.google.com), BPS Indonesia (bps.go.id) dan situs lainnya. Berikut merupakan hasil pengumpulan data yang telah dilakukan.

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk penelitian. Adapun data-data yang dibutuhkan peneliti adalah sebagai berikut:

1. Daftar kota/kabupaten/bagian yang diamati dalam lingkup Pulau Kalimantan
2. Lokasi setiap kota/kabupaten/bagian yang dicatat dalam format koordinat *latitude* dan *longitude*.
3. Jumlah penduduk setiap kota/kabupaten/bagian yang diamati.
4. Indeks kemahalan konstruksi setiap kota/kabupaten/bagian yang diamati.

Daftar kota yang diamati dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1**  
Daftar Kota yang Diamati

Provinsi/Negara/ Negara Bagian	ID	Kota/Kabupaten/ Divisi
Provinsi Kalimantan Barat - Indonesia	0	Kab. Bengkayang
	1	Kab. Kapuas Hulu
	2	Kab. Kayong Utara
	3	Kab. Ketapang
	4	Kab. Kubu Raya
	5	Kab. Landak
	6	Kab. Melawi
	7	Kab. Mempawah
	8	Kab. Sambas
	9	Kab. Sanggau
	10	Kab. Sekadau
	11	Kab. Sintang
	12	Kota Pontianak
13	Kota Singkawang	
Provinsi Kalimantan Selatan - Indonesia	14	Kab. Balangan
	15	Kab. Banjar
	16	Kab. Barito Kuala
	17	Kab. Hulu Sungai Selatan
	18	Kab. Hulu Sungai Tengah
	19	Kab. Hulu Sungai Utara
	20	Kab. Kotabaru
	21	Kab. Tabalong
	22	Kab. Tanah Bumbu
	23	Kab. Tanah Laut
	24	Kab. Tapin
	25	Kota Banjarbaru
	26	Kota Banjarmasin
Provinsi Kalimantan Tengah - Indonesia	27	Kab. Barito Selatan
	28	Kab. Barito Timur
	29	Kab. Barito Utara
	30	Kab. Gunung Mas
	31	Kab. Kapuas
	32	Kab. Katingan
	33	Kab. Kotawaringin Barat
	34	Kab. Kotawaringin Timur
	35	Kab. Lamandau
	36	Kab. Murung Raya
	37	Kab. Pulang Pisau
	38	Kab. Sukamara
	39	Kab. Seruyan
40	Kota Palangka Raya	
Provinsi Kalimantan Timur - Indonesia	41	Kab. Berau
	42	Kab. Kutai Barat
	43	Kab. Kutai Kartanegara
	44	Kab. Kutai Timur
	45	Kab. Mahakam Ulu
	46	Kab. Paser

**Tabel 1**  
Daftar Kota yang Diamati (lanjutan)

Provinsi/Negara/ Negara Bagian	ID	Kota/Kabupaten/ Divisi
	47	Kab. Penajam Paser Utara
	48	Kota Balikpapan
	49	Kota Bontang
	50	Kota Samarinda
	51	Kab. Bulungan
Provinsi Kalimantan Utara - Indonesia	52	Kab. Malinau
	53	Kab. Nunukan
	54	Kab. Tana Tidung
	55	Kota Tarakan
	56	Bagian Kudat
Sabah - Malaysia	57	Bagian Pantai Barat
	58	Bagian Pedalaman
	59	Bagian Sandakan
	60	Bagian Tawau
	61	Bagian Betong
Serawak - Malaysia	62	Bagian Bintulu
	63	Bagian Kuching
	64	Bagian Limbang
	65	Bagian Miri
	66	Bagian Mukah
	67	Bagian Samarahan
	68	Bagian Sarikei
	69	Bagian Sibul
	70	Bagian Sri Aman
	71	Bagian Kapit
	Brunei Darussalam	72
73		Bagian Tutong
74		Bagian Brunei-Muara
75		Bagian Temburong

#### 4.2 Formulasi Matematis

Model matematis dalam penelitian ini diadopsi dari formulasi oleh Faharani et. al. (2013). Dilakukan penyesuaian formulasi model dengan menambahkan variabel ongkos pembangunan hub. Formulasi berikut merupakan hasil penyesuaian fungsi tujuan dari U-SA-p-HLP yang digunakan dalam penelitian.

Minimasi total ongkos untuk setiap O/D pair  $(i, j)$  yang melewati hub  $k$  dan  $m$  dan ongkos pembangunan hub pada node  $k$  dan  $m$ .

$$\sum_i \sum_k C_{ik} Y_{ik} \left( \sum_j W_{ij} \right) + \alpha \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l W_{ij} C_{kl} Y_{ik} Y_{jm} + \sum_j \sum_m C_{jm} Y_{jm} \left( \sum_i W_{ij} \right) + \sum_i \sum_k F_k Y_{ik} + \sum_j \sum_m F_m Y_{jm}$$

Dengan batasan:

- $\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i$
- $\sum_j Y_{jj} = p$
- $Y_{ij} - Y_{jj} \leq 0 \quad \forall i, j$
- $Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j$

Dimana:

$W_{ij}$  = komoditas yang perlu dikirim dari *node i* menuju *node j* (kg)

$C_{ik}$  = ongkos transportasi dari *node i* menuju *node k*

$Y_{ik}$  = bernilai 1 apabila *node k* merupakan hub, 0 jika sebaliknya

$F_k$  = ongkos pembangunan hub pada *node k*

$\alpha$  = faktor diskon yang diberikan untuk transportasi antar hub

$p$  = jumlah hub yang dibangun dalam jaringan

#### 4.3 Perancangan Metode Solusi

Dikembangkan algoritma penyelesaian dengan heuristik *tabu search* untuk menentukan konfigurasi hub terpilih. Algoritma penugasan *service nodes* pada setiap hub dilakukan dengan dua metode heuristik, yaitu *nearest neighbor* dan *least cost*. Hal ini dilakukan untuk menurunkan waktu komputasi namun tetap memperoleh solusi dengan kualitas yang baik.

Berikut merupakan parameter dalam metode solusi.

1. Jumlah hub : 10 hub
2. Intensifikasi : 150 iterasi
3. Diversifikasi : 10 *restart*
4. *Tabu tenure* : 20 iterasi

Algoritma yang dirancang kemudian diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Python 3. Penulisan dilakukan menggunakan Spyder (anaconda3) yang merupakan aplikasi penyuntingan kode program Python. Model solusi dijalankan menggunakan IDE Spyder (anaconda3) dalam komputer Windows 10 yang ditenagai AMD Ryzen 3 2,6 GHz dengan RAM sebesar 8 GB.

#### 4.4 Pengolahan Data

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, data tersebut diolah dengan penjelasan sebagai berikut.

##### 1. Perhitungan Jarak Antar Kota

Berdasarkan lokasi tiap kota yang terdiri dari titik *latitude* dan *longitude*, jarak antar kota dihitung dengan menggunakan fungsi geodesi pada modul Python. Teorema geodesi merupakan teori yang menghitung jarak geometri antar dua titik di bumi.

##### 2. Pembangkitan Muatan Kirim Antar Kota

Jumlah muatan yang perlu dikirim antar kota dibangkitkan berdasarkan jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten/bagian. Setiap kota asal mengirimkan muatan pada kota tujuan maksimal sejumlah penduduk kota asal, dan menerima maksimal sejumlah penduduk kota asal.

##### 3. Pembangkitan Biaya Kirim Antar Kota

##### 4. Perhitungan Biaya Pembangunan Hub

Biaya pembangunan hub tiap kota dibangkitkan berdasarkan indeks kemahalan konstruksi. Indeks tersebut kemudian menjadi bobot penentuan biaya pembangunan hub untuk setiap kota. Konstanta yang digunakan sebesar sebesar Rp 25.000.000.000,00

$$\text{setup cost} = \frac{IKK \text{ kota}}{\text{Total IKK}} \times \text{konstanta}$$

##### 5. Pembuatan Skenario

Berdasarkan data muatan kirim dan biaya kirim, dibuat empat jenis skenario. Skenario pertama adalah seluruh

kota/kabupaten/bagian berinteraksi penuh dengan saling mengirimkan muatan. Skenario kedua adalah seluruh kota berinteraksi penuh, namun untuk level kabupaten dibatasi interaksinya hingga 50%. Skenario ketiga dan keempat sama seperti skenario pertama dan kedua namun dengan ongkos kirim yang menyesuaikan lintas negara. Skema skenario dibuat dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh variabel (interaksi dan biaya kirim) konfigurasi jejaring hub and spoke.
- b. Mengetahui respon algoritma terhadap perbedaan variabel pada setiap skema skenario.
- c. Menentukan strategi terbaik pada setiap skema skenario untuk memperoleh jejaring distribusi dengan ongkos minimal.

Skema kenario dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2**

Skema Skenario

Skema	Interaksi	Biaya Kirim
Skenario 1	Penuh	Seragam
Skenario 2	Terbatas	Seragam
Skenario 3	Penuh	Menyesuaikan batas negara
Skenario 4	Terbatas	Menyesuaikan batas negara

##### 6. Evaluasi Skenario dengan Metode Solusi

Setiap skenario dievaluasi menggunakan metode solusi dengan dua algoritma alokasi *service node* yang berbeda. Pertama metode solusi mengalokasikan *service node* berdasarkan jarak hub terdekat, dan yang kedua metode solusi mengalokasikan *service node* berdasarkan ongkos transportasi terendah. Hasil evaluasi skenario 1, 2, 3, dan 4 dapat dilihat berturut-turut pada tabel 3, 4, 5 dan 6.

**Tabel 3**

Evaluasi Skenario 1

	Hub	Service Nodes
		3
Nearest Neighbor	7	[0, 4, 5, 7, 8, 12, 13]
	11	[6, 9, 10, 11]
	17	[14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 46]
	40	[27, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 40]
	43	[42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50]
	51	[41, 51, 52, 53, 54, 55, 60]
	58	[56, 57, 58, 59]
	61	[1, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 71]
	74	[64, 65, 72, 73, 74, 75]
	OFV	Rp 4.300.265.928.445,67
Least Cost	Hub	Service Nodes
	3	[2, 3, 33, 35, 38]
	5	[0, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 67]
	9	[1, 9, 10, 11, 63, 70]
	16	[14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]
	40	[20, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 40, 45, 46]
	50	[29, 42, 43, 47, 48, 49, 50]
	51	[41, 44, 51, 52, 53, 54, 55, 59, 60]
	58	[56, 57, 58, 74]
	65	[64, 65, 72, 73, 75]
69	[61, 62, 66, 68, 69, 71]	
OFV	Rp 4.412.367.050.848,34	

**Tabel 4**  
Evaluasi Skenario 2

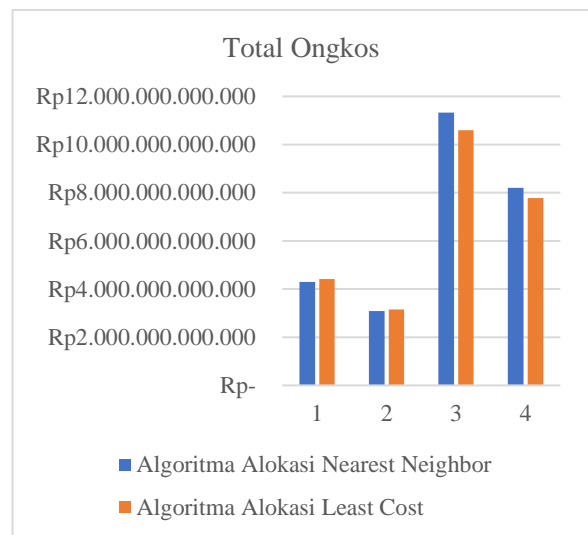
Skenario 2	Nearest Neighbor	Hub	Service Nodes
		3	[2, 3, 33, 35, 38]
		7	[0, 4, 5, 7, 8, 12, 13]
		11	[6, 9, 10, 11]
		17	[14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 46]
		40	[27, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 40]
		43	[42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50]
		51	[41, 51, 52, 53, 54, 55, 60]
	Least Cost	Hub	Service Nodes
		9	[0, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 63, 70]
		11	[1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 36]
		17	[14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 28, 46]
		25	[15, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 38]
		40	[30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 39, 40]
		43	[41, 42, 43, 45, 47, 48, 49, 50]
		51	[44, 51, 52, 53, 54, 55, 60]
58	[56, 57, 58]		
69	[61, 62, 66, 67, 68, 69, 71]		
74	[59, 64, 65, 72, 73, 74, 75]		
OFV	Rp 3.086.058.332.324,86		

**Tabel 6**  
Evaluasi Skenario 4

Skenario 4	Nearest Neighbor	Hub	Service Nodes
		0	[0, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 63]
		1	[1, 45, 61]
		31	[14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 36, 37, 40, 46]
		3	[2, 3, 33, 35, 38]
		55	[41, 51, 54, 55, 60]
		43	[42, 43, 44, 47, 48, 49, 50]
		53	[52, 53, 56, 57, 58, 59, 64, 72, 73, 74, 75]
	32	[6, 30, 32, 34, 39]	
	Least Cost	Hub	Service Nodes
		0	[0, 4, 5, 7, 8, 12, 13]
		10	[3, 9, 10]
		11	[2, 6, 11]
		31	[17, 19, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 37, 40, 46, 47]
		32	[14, 15, 16, 18, 20, 26, 30, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 41]
		36	[1, 21, 22, 29, 36, 42, 43, 45, 48, 49, 50]
51		[44, 51, 52, 53, 54, 55]	
70	[56, 59, 60, 61, 63, 67, 68, 70]		
71	[57, 58, 62, 64, 65, 66, 69, 71]		
72	[72, 73, 74, 75]		
OFV	Rp 8.205.332.712.652,17		

**Tabel 5**  
Evaluasi Skenario 3

Skenario 3	Nearest Neighbor	Hub	Service Nodes
		0	[0, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 63]
		1	[1, 45, 61]
		3	[2, 3, 33, 35, 38]
		9	[9, 10, 11, 67, 70]
		31	[14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 36, 37, 40, 46]
		32	[6, 30, 32, 34, 39]
		43	[42, 43, 44, 47, 48, 49, 50]
	53	[52, 53, 56, 57, 58, 59, 64, 72, 73, 74, 75]	
	Least Cost	Hub	Service Nodes
		0	[0, 4, 5, 7, 8, 12, 13]
		1	[1, 28]
		10	[3, 9, 10]
		11	[2, 6, 11]
		32	[14, 17, 18, 26, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40]
		36	[15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 31, 36, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50]
51		[41, 44, 51, 52, 53, 54, 55]	
70	[56, 59, 60, 61, 63, 67, 68, 70]		
71	[57, 58, 62, 64, 65, 66, 69, 71]		
72	[72, 73, 74, 75]		
OFV	Rp 10.602.411.849.518,7		



**Gambar 3** Perbandingan Ongkos

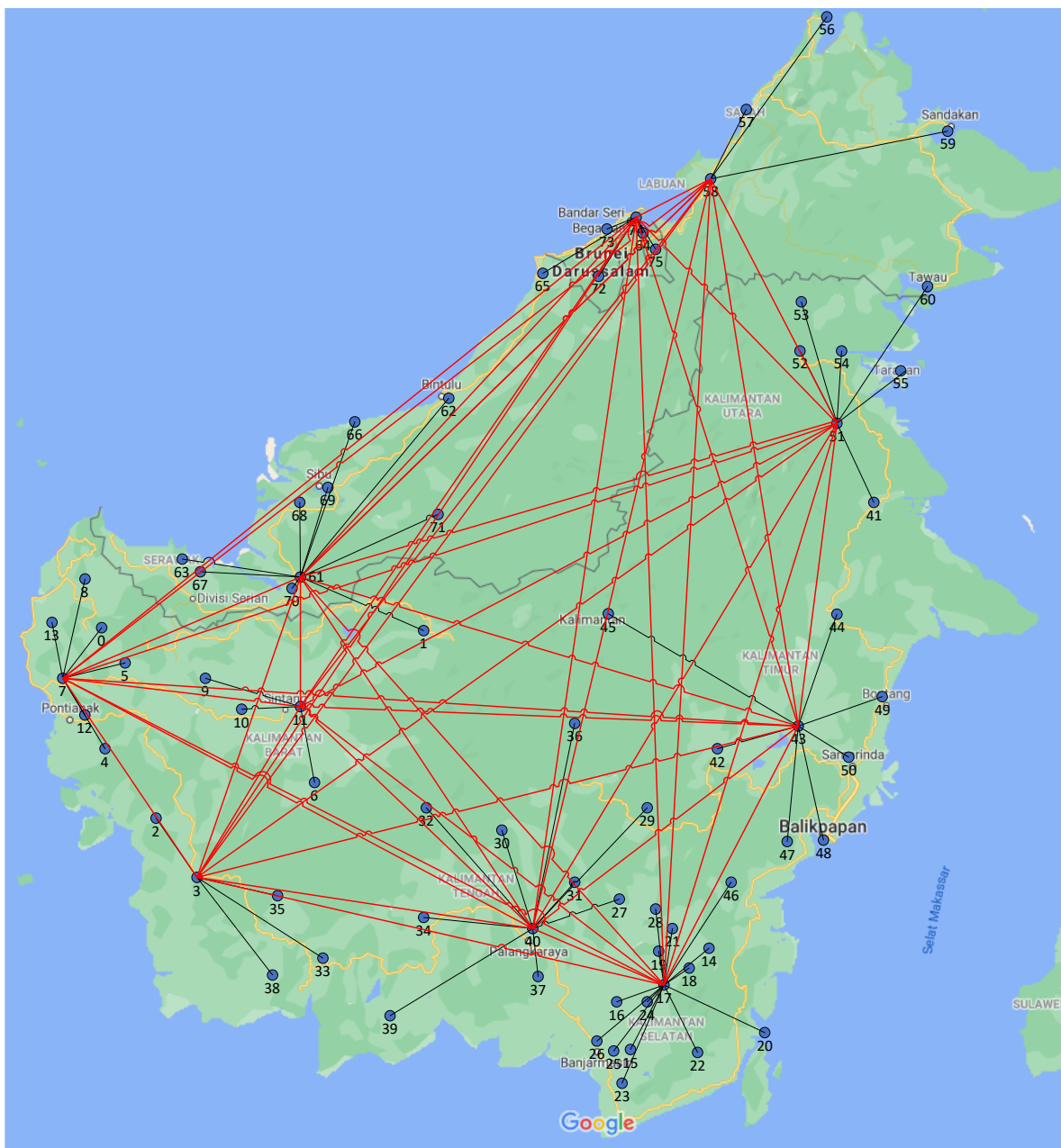
Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa algoritma *nearest neighbor* menghasilkan solusi dengan ongkos yang lebih kecil dibandingkan algoritma *least cost* pada skenario 1 dan 2. Namun pada skenario 3 dan 4, terjadi hal sebaliknya. Hal ini dikarenakan perbedaan karakteristik pada setiap skenario sehingga pendekatan yang digunakan harus menyesuaikan karakteristik tersebut agar mendapatkan hasil yang baik. Pada skenario 1 dan 2, ongkos kirim antar kota dan antar negara tidak berbeda. Dengan karakteristik ini, maka variabel yang sangat berpengaruh pada total ongkos adalah jarak. Maka dari itu, algoritma alokasi dengan menggunakan *nearest neighbor* menghasilkan solusi yang lebih baik. Pada skenario 3 dan 4, hal sebaliknya justru terjadi. Pada skenario 3 dan 4, digunakan ongkos kirim yang menyesuaikan negara, yaitu ongkos kirim antar negara lebih tinggi dibandingkan ongkos kirim domestik. Dengan menggunakan algoritma *least cost*,

ongkos yang tinggi ini menimbulkan efek *barrier*, sehingga *service node* dialokasikan pada hub dalam negaranya masing-masing dengan total ongkos yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma ini responsif terhadap perbedaan ongkos kirim. Meskipun menghasilkan solusi dengan total ongkos yang cukup baik, namun jaringan yang dihasilkan tidak praktis. Hal ini dapat dicegah dengan melakukan *clustering* pada kelompok kota sehingga jaringan yang dihasilkan lebih baik.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dengan menggunakan skenario 1 yang ideal dimana seluruh kota/kabupaten/bagian berinteraksi penuh dengan saling mengirimkan muatan dan biaya kirim yang seragam, diperoleh rancangan jejaring distribusi dengan model *hub and spoke* dengan total biaya

sebesar Rp 4.300.265.928.446. Pada Provinsi Kalimantan Barat, hub dibangun pada Kab. Ketapang, Kab. Mempawah, dan Kab. Sintang. Pada Provinsi Kalimantan Selatan hub dibangun pada Kab. Hulu Sungai Kapuas. Untuk Provinsi Kalimantan Tengah hub dibangun pada Kota Palangka Raya. Untuk Provinsi Kalimantan Timur hub dibangun pada Kab. Kutai Kartanegara. Untuk Provinsi Kalimantan Utara hub dibangun pada Kab. Bulungan. Untuk Sabah Malaysia, hub dibangun pada Bagian Pedalaman. Untuk Sarawak-Malaysia, hub dibangun pada Bagian Betong. Untuk Brunei Darussalam hub dibangun pada Bagian Brunei Muara. Kota yang tidak terpilih menjadi hub dialokasikan pada hub terdekat. Rancangan jejaring distribusi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Rancangan Jejaring Distribusi Pulau Kalimantan dengan Model *Hub and Spoke*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdel-Basset, M., Abdel-Fatah, L., & Sangaiah, A. K. (2018). Metaheuristic Algorithms: A Comprehensive Review. In A. K. Sangaiah, M. Sheng, Z. Zhang, & F. Xhafa, *Computational Intelligence for Multimedia Big Data in the Cloud with Engineering Applications* (pp. 185-231). New York: Academic Press.
- [2] Abdinnour-Helm. (2001). Using simulated annealing to solve the p-hub median problem. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 31 (3), 203-220.
- [3] Alumur, S., & Kara, B. Y. (2008). Network hub location problems: The state of the art. *European Journal of Operational Research* 190, 1-21.
- [4] Faharani, R. Z., Hekmatfar, M., Arabani, A. B., & Nikbakhsh, E. (2013). Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 64, 1096-1109.
- [5] Faisal, I. M., & Rudiansyah, A. (2017). Model hub median problem dengan batasan travel time. *Jurnal Teknik Industri* 18, 1-8.
- [6] Goldman, A. (1969). Optimal location for centers in a network. *Transportation Science* 3, 352-360.
- [7] Klincewicz, J. G. (1992). Avoiding local optima in the p-hub location problem using tabu search and GRASP. *Annals of Operation Research* 40, 283-302.
- [8] Luer-Villagra, A., Eiselt, H., & Marianor, V. (2019). A single allocation p-hub median problem with general piecewise-linear costs in arcs. *Computers & Industrial Engineering* 128, 477-491.
- [9] Naeem, M. (2009). *Using Genetic Algorithm for the Single Allocation Hub Location Problem*. M. Sc. Thesis, Brock University: unpublished.
- [10] O'Kelly, M. (1987). A quadratic integer program for the location of interacting hubs. *European Journal of Operational Research* 32, 393-404.
- [11] Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., & O'Kelly, M. E. (1996). Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hub median problems. *European Journal of Operational Research*, 94 (3), 582-583.
- [12] Yunianto, I. T. (2014). Model pemilihan lokasi pelabuhan pengumpul sebagai pusat konsolidasi petikemas dan general cargo. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XX* (pp. D-8-1 - D-8-6). Surabaya: Program Studi MMT-ITS.

## BIOGRAFI PENULIS

**Edric Valentino**, lahir di Sungai Asam, 7 Februari 1999. Penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2016 dan menyelesaikan studi program sarjana dengan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tahun 2020.

**Mohamad Sofitra**, lahir di Jakarta, 16 Juni 1974. Beliau memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta pada tahun 1997 dengan bidang keahlian Teknik Industri. Kemudian melanjutkan studi di Institut Teknologi Bandung dan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada tahun 2002 dengan bidang keahlian Sistem Manufaktur. Kemudian beliau memperoleh gelar *Doctor of Engineering* (Dr.Eng.) dari Hiroshima University pada tahun 2015 di bidang manajemen rantai pasok. Sejak tahun 1999 hingga saat ini beliau mengajar di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.

**Pepy Anggela** lahir di Serukam, 26 Februari 1988. Beliau memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) pada tahun 2010 dengan bidang keahlian Teknik Industri. Kemudian memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) di Universitas Indonesia (UI) pada tahun 2012 dengan bidang keahlian Teknik Industri. Sejak tahun 2014 hingga saat ini beliau mengajar di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.