

Rancangan Jalan Tol Untuk Pulau Kalimantan Menggunakan Konsep *Minimum Spanning Tree*

Rizky Ramadhana P. K. - 13520151¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13520151@std.stei.itb.ac.id

Abstract—*Dalam pemindahan Ibukota negara ke provinsi Kalimantan Timur, perlu diikuti dengan perancangan jalan tol yang tepat pula untuk mendukung kegiatan operasional yang efisien. Pada makalah ini akan dibahas perancangan jalan tol di sepanjang pulau Kalimantan dengan konsep minimum spanning tree. Minimum spanning tree ini dibangun menggunakan algoritma Kruskal yang sudah dimodifikasi untuk memenuhi beberapa persyaratan khusus yang harus dipenuhi oleh rancangan jalan tol ini. Algoritma Kruskal yang dimodifikasi tersebut akan menghasilkan pohon dengan bobot paling minimum yang memenuhi beberapa syarat yang diberikan dan dibahas di makalah ini. Pada rancangan ini, jalan tol akan menghubungkan 21 kota di pulau Kalimantan dengan 20 ruas jalan tol. Semua kota yang dihubungkan dalam rangkaian jalan tol ini masuk dalam pertimbangan karena berbagai faktor, di antaranya sebagai ibukota provinsi, memiliki bandara, memiliki potensi wisata, dan lain sebagainya.*

Keywords—Algoritma Kruskal, Ibukota, Jalan tol, Minimum spanning tree

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemerintah menargetkan pemindahan Ibukota negara ke Kalimantan Timur selesai sebelum pemilihan presiden 2024. Untuk mendukung rencana tersebut, perlu juga dirancang infrastruktur pendukung, salah satunya adalah jalan bebas hambatan atau tol. Perancangan jalan tol untuk pulau Kalimantan sebenarnya sudah pernah dilakukan di sebuah makalah yang ditulis oleh Joshua (2020). Namun pada makalah tersebut, rancangan jalan tol hanya terbatas pada provinsi Kalimantan Timur dan tidak mempertimbangkan persyaratan-persyaratan penunjang. Persyaratan penunjang yang dimaksud seperti Ibukota harus terhubung langsung ke kota X. Persyaratan penunjang ini bisa berbagai macam bentuknya dan sebetulnya tidak wajib ada. Bila dipandang dalam teori matematika diskrit, keberadaan syarat penunjang mungkin saja membuat jalan tol yang dibangun bukan merupakan jalan tol dengan biaya paling minimum. Tetapi, keberadaan syarat penunjang menurut keadaan geopolitik dan ekonomi bisa membuat berbagai perjalanan lebih efektif dan menguntungkan.

Makalah ini berada pada posisi untuk menyempurnakan makalah oleh Joshua (2020) tanpa mengubah tujuan utamanya, yaitu memperoleh rancangan jalan tol yang efektif dan efisien untuk pulau Kalimantan. Pada makalah ini, juga

dipertimbangkan berbagai faktor, yang akan disebut sebagai syarat penunjang, dalam pembangunan jalan tol ini. Diharapkan, makin realistis pendekatan yang digunakan dalam rancangan pembangunan tol ini, makin dapat digunakan pula rancangan ini. Sehingga rancangan tol yang dibuat bukan hanya rancangan terbaik menurut teori matematika diskrit, tapi juga mempertimbangkan berbagai faktor ekonomi dan geopolitik.

B. Tujuan Penelitian

1. Mencari syarat penunjang yang bisa mengoptimalkan keberadaan sebuah jalan tol
2. Membuat rancangan jalan tol yang menghubungkan seluruh kota yang memenuhi syarat di pulau Kalimantan

II. LANDASAN TEORI

A. Graf

Graf terdiri atas simpul-simpul dan sisi-sisi. Simpul disimbolkan sebagai titik dan dihubungkan oleh sisi. Sisi bisa saja menghubungkan dua buah simpul atau hanya menghubungkan sebuah simpul ke dirinya sendiri, disebut sisi gelang. Tiap pasang simpul bisa saja dihubungkan oleh lebih dari satu sisi, disebut sisi ganda. Terdapat satu jenis khusus dari graf yaitu graf sederhana. Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung sisi gelang dan sisi ganda. Jenis graf inilah yang akan dibahas secara mendalam di makalah ini.

Sebuah sisi pada graf sederhana bisa saja memiliki bobot tertentu. Bobot pada sisi-sisi graf tersebut bisa saja berbeda. Biasanya bobot menyatakan berapa harga yang harus ditempuh untuk berpindah dari simpul pertama ke simpul kedua.

Sisi pada sebuah graf juga bisa memiliki arah. Sisi dari A ke B akan berbeda dengan sisi dari B ke A. Hal ini tidak terjadi pada graf sederhana, dimana sisi-sisinya tidak memiliki arah. Graf yang sisinya memiliki arah disebut graf berarah. Namun, pada makalah ini tidak akan dibahas secara mendalam pengaplikasian dari graf berarah ini.

Ada sebuah istilah yang disebut sebagai graf lengkap. Setiap simpul pada graf lengkap memiliki sisi yang menghubungkan dirinya ke semua simpul lain selain dirinya. Graf yang seperti ini juga termasuk dalam graf teratur, dimana tiap simpul dihubungkan oleh jumlah sisi yang sama.

Setiap graf A memiliki upagraf B, yaitu graf lain sedemikian sehingga semua simpul dan semua sisi pada upagraf B merupakan simpul dan sisi graf A juga. Upagraf B dikatakan

sebagai upagraf merentang apabila semua simpul pada graf A juga merupakan simpul pada upagraf B.

B. Lintasan dan Sirkuit

Lintasan adalah urutan sisi-sisi yang menghubungkan simpul A dan simpul B. Urutan sisi-sisi tersebut analog dengan jalan dari A menuju B atau jalan dari B menuju A (dalam konteks graf sederhana, dua hal ini adalah sama). Jika ada lintasan yang menghubungkan simpul A dan B, maka simpul A dan simpul B disebut terhubung. Istilah berikutnya adalah sirkuit. Sirkuit adalah lintasan yang menghubungkan sebuah simpul ke dirinya sendiri. Bila setiap pasang simpul dalam sebuah graf terhubung oleh minimal satu lintasan, maka graf tersebut disebut sebagai graf terhubung. Selain itu maka disebut graf tak terhubung.

C. Pohon

Pohon sejatinya juga merupakan sebuah graf, hanya saja pohon memiliki sifat khusus. Pohon adalah graf sederhana yang terhubung tetapi tidak memiliki sirkuit. Karena sebuah pohon merupakan graf yang terhubung, maka selalu terdapat lintasan dari satu simpul ke simpul lainnya. Dalam artian, setiap simpul selalu dapat diakses dari manapun simpul asalnya. Sehingga sebuah pohon memiliki banyak pemanfaatan. Beberapa diantaranya adalah perancangan pipa air, kabel listrik, jalan tol, dsb. Karena pada rancangan-rancangan tersebut setiap simpul harus bisa diakses dari simpul manapun.

D. Minimum Spanning Tree

Minimum Spanning Tree atau pohon merentang minimum adalah upagraf merentang dari sebuah graf yang juga merupakan sebuah pohon (tidak memiliki sirkuit) yang total bobotnya minimum. Bobot yang dimaksud adalah total dari bobot sisi yang termasuk dalam upagraf tersebut. Istilah ini menjadi penting mengingat pohon sering dipakai dalam berbagai macam perancangan. *Minimum spanning tree* memastikan bahwa pohon yang didapat adalah pohon dengan bobot paling minimum. Bila bobotnya minimum, dapat diartikan bahwa sumber daya yang dibutuhkan minimum pula.

Telah disebutkan bahwa pohon merentang minimum merupakan upagraf merentang dari sebuah graf. Perlu diperhatikan bahwa tidak semua graf memiliki upagraf merentang yang berupa pohon, semua pasang simpul terhubung dan tidak memiliki sirkuit. Terdapat sebuah persyaratan supaya sebuah graf memiliki upagraf merentang yang juga berupa sebuah pohon. Sebuah graf haruslah merupakan graf terhubung supaya memiliki upagraf merentang yang berupa pohon. Jika memiliki upagraf merentang berupa pohon, maka dapat dicari *minimum spanning tree*-nya.

E. Algoritma Kruskal

Untuk mendapatkan *minimum spanning tree* dari sebuah graf sederhana yang terhubung, bisa digunakan beberapa algoritma. Salah satunya adalah algoritma Kruskal. Pada algoritma Kruskal, sisi-sisi sebuah graf diurutkan membesar berdasar bobotnya. Lalu, dibuat sebuah himpunan kosong yang nantinya akan diisi dengan sisi-sisi dari graf tersebut. Lalu iterasi sisi berdasar urutan membesar yang telah dibuat. Bila sisi tersebut tidak menimbulkan sirkuit, maka tambahkan ke himpunan yang telah dibuat. Ulangi sampai semua simpul terhubung. Setelah semua simpul terhubung, maka akan didapat sebuah graf terhubung yang tidak memiliki sirkuit dan bobot yang minimum, karena sisi yang dipilih dimulai dari yang terkecil.

III. ISI

A. Pemilihan Kota

Sebelum membuat rancangan jalan tol, perlu dipilih kota mana saja yang ingin dihubungkan dengan jalan tol. Di pulau Kalimantan terdapat puluhan kota dan kabupaten sehingga menghubungkan semua kota dan kabupaten tersebut dengan jalan tol bukanlah pendekatan yang efektif. Oleh karena itu, dipilihlah beberapa kota yang memenuhi salah satu persyaratan di bawah.

Yang pertama, wilayah yang dipilih untuk dihubungkan dengan jalan tol adalah Ibukota baru, kabupaten Penajam Paser Utara. Hal ini bersesuaian dengan latar belakang ditulisnya makalah ini yaitu perancangan jalan tol dalam rangka pemindahan Ibukota negara. Ibukota negara harus terhubung oleh jalan tol mengingat perannya yang vital. Banyak aktivitas keluar masuk yang terjadi dan dibutuhkan waktu tempuh yang singkat pula. Sehingga dirasa perlu untuk menghubungkan Ibukota negara dengan jaringan jalan tol.

Yang kedua adalah kota tersebut merupakan Ibukota provinsi. Alasan yang mendasari pemilihan ini kurang lebih sama dengan paragraph sebelumnya. Ibukota provinsi cenderung memiliki aktivitas keluar masuk yang cukup tinggi mengingat keberadaannya sebagai pusat administrasi dari sebuah provinsi. Berikut adalah kota yang termasuk dalam persyaratan kedua ini

Nama Kota	Ibukota dari provinsi
Banjarmasin	Kalimantan Selatan
Pontianak	Kalimantan Barat
Samarinda	Kalimantan Timur
Palangkaraya	Kalimantan Tengah
Tanjung Selor	Kalimantan Utara

Tabel 1 Daftar kota yang memenuhi persyaratan kedua

Yang ketiga, adalah sepuluh kota dengan kepadatan penduduk tertinggi di pulau Kalimantan. Kota dengan kepadatan penduduk lebih tinggi cenderung memiliki pergerakan ekonomi yang lebih tinggi pula. Hal itu menyebabkan kebutuhan mobilitas yang lebih tinggi pula. Dari sepuluh kota dengan kepadatan tertinggi tersebut, ternyata tiga kota diantaranya sudah termasuk dalam persyaratan sebelumnya. Tiga kota tersebut adalah Banjarmasin, Pontianak, dan Samarinda. Tujuh kota lainnya adalah sebagai berikut.

Nama Kota	Kepadatan Penduduk (Jiwa/km ²)
Balikpapan	1279.02
Bontang	1089.38
Tarakan	1080
Banjar Baru	708.13
Singkawang	442
Hulu Sungai Utara	266.33
Kabupaten Pontianak	207

Tabel 2 Daftar kota dan kabupaten yang memenuhi persyaratan ketiga

Yang keempat adalah kota yang memiliki bandara tetapi belum termasuk dalam ketiga persyaratan sebelumnya. Keberadaan bandara bisa saja memotong waktu perjalanan secara signifikan. Walaupun begitu, bila tidak didukung dengan

infrastruktur yang mendukung, keberadaannya menjadi tidak optimal. Dapat juga dilihat di berbagai kota, bandara biasanya dihubungkan langsung oleh jalan tol atau setidaknya jalan nasional yang menghubungkan ke beberapa kota besar lainnya. Adapun kota-kota yang memenuhi kriteria ini adalah sebagai berikut.

Nama Kota	Nama Bandara
Tanah Bumbu	Bandara Bersujud
Kotawaringin Barat	Bandara Iskandar
Sintang	Bandara Tebelian
Barito Selatan	Bandara Sanggu
Kapuas Hulu	Bandara Pangssuma

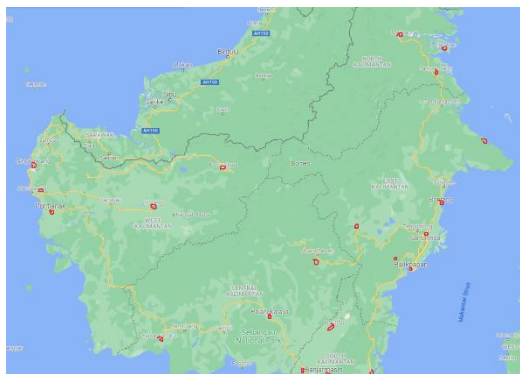
Tabel 3 Daftar kota yang memenuhi persyaratan keempat

Yang kelima adalah kota yang memiliki potensi wisata. Keberadaan jalan tol di dekat tempat wisata akan mempermudah akses ke tempat wisata tersebut. Kemudahan akses ke tempat wisata tentu akan mendatangkan pemasukan bagi masyarakat di daerah tersebut. Sehingga, keberadaan jalan tol dari dan menuju tempat yang memiliki potensi wisata dirasa penting. Terdapat tiga kota yang dinilai memiliki potensi wisata. Kota-kota tersebut adalah

Nama Kota	Nama Tempat Wisata
Kutai Barat	Kersik Luway
Berau	Labuan Cermin
Malinau	Taman Nasional Kayan Mentarang

Tabel 4 Daftar kota yang memiliki potensi wisata

Dari keempat kriteria tersebut, didapat 21 kota dan kabupaten yang akan dihubungkan dengan jalan tol. Kota dan kabupaten tersebut bila digambarkan letaknya pada peta kurang lebih menghasilkan gambar sebagai berikut.



Gambar 1 Visualisasi kota dan kabupaten yang ingin dihubungkan dengan jalan tol

B. Syarat yang Harus Dipenuhi Jalan Tol

Pada makalah ini diinginkan jalan tol yang menghubungkan semua kota yang ada pada daftar. Jalan tol yang akan dirancang juga diharapkan memiliki biaya seminimum mungkin. Dalam hal ini, diasumsikan biaya berbanding lurus dengan panjang tol yang dibangun. Sehingga tujuan ini analog dengan tujuan pembuatan *minimum spanning tree*.

Selain itu, sebuah Ibukota negara yang baik pasti memiliki konektivitas ke kota di sekitarnya yang baik pula. Sehingga pada makalah ini, diberikan syarat tambahan bahwa Ibukota negara

harus terhubung langsung oleh jalan tol ke empat kota terdekat di sekitarnya. Empat kota tersebut adalah Balikpapan, Samarinda, Kutai Barat, dan Hulu Sungai Utara.

Dari 21 kota yang akan dihubungkan oleh jalan tol, sebetulnya beberapa diantaranya sudah dihubungkan oleh jalan nasional. Jalan nasional tersebut terbentang di sepanjang pesisir pulau Kalimantan yang melewati kota Bontang, Samarinda, Balikpapan, Banjarmasin, Palangkaraya, dan Pontianak. Tetapi perlu diperhatikan bahwa ada kota yang benar-benar belum terhubung oleh jalan nasional sekalipun. Daerah tersebut cenderung terletak di tengah pulau Kalimantan. Sehingga, perlu prioritas pembangunan jalan tol pada ruas-ruas yang belum dihubungkan oleh jalan nasional seperti dari Kutai Barat ke Kapuas Hulu, dari Kapuas Hulu ke Malinau, dari Barito Selatan ke Sintang, dan dari Tarakan ke Tanjung Selor. Keempat ruas ini juga akan menjadi syarat yang harus dipenuhi oleh rancangan jalan tol yang akan dibuat nanti.

C. Pengukuran Jarak Antar Kota

Untuk mengukur jarak antar kota, mula-mula dikumpulkan data koordinat untuk masing-masing kota terlebih dahulu menggunakan layanan Google Maps. Lalu perhitungan jarak antara dua titik dihitung menggunakan rumus Haversine sebagai berikut. Pada rumus di bawah r adalah jari-jari bumi, Φ adalah latitude atau garis lintang, dan λ adalah longitude atau garis bujur. Sedangkan indeks 1 dan 2 menandakan lokasi satu dan kedua.

$$d = 2r \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{2} \right) + \cos(\Phi_1) \cos(\Phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Gambar 2 Rumus Haversine

Adapun data latitude dan longitude dari masing-masing kota yang akan dihubungkan oleh jalan tol adalah sebagai berikut.

Nama Kota	Latitude	Longitude
Banjarmasin	-3.3172208	114.559193
Pontianak	-0.0353948	109.2615098
Balikpapan	-1.1746021	116.7717073
Samarinda	-0.5014662	117.0973126
Bontang	0.1367564	117.435438
Tarakan	3.3551555	117.5076692
Kota Banjar Baru	-3.4593192	114.7301839
Singawang	0.8835104	108.892355
Hulu Sungai Utara	-2.4250247	114.992121
Kab. Pontianak	0.3437014	108.4220061
Palangka Raya	-2.2097019	113.8666455
Tanah Bumbu	-3.4449864	114.5489579
Penajam Paser Utara	-1.2001184	116.0861477
Kotawaringin Barat	-2.5557515	110.55901
Sintang	0.1808203	109.872695
Barito Selatan	-1.963654	113.8962706
Kutai Barat	-0.4711532	114.7557478
Berau	1.8038291	115.3610446
Tanjung Selor	2.8425554	114.7487173
Kapuas Hulu	0.8339369	110.6265421
Malinau	2.5803339	113.4468218

Tabel 5 Koordinat untuk masing-masing kota dan kabupaten

D. Pemodelan Peta Sebagai Sebuah Graf Berbobot

Untuk mengaitkan permasalahan perancangan jalan tol ini

dengan konsep *minimum spanning tree*, maka perlu diperjelas apa yang berperan sebagai simpul, sisi, dan bobotnya. Pada makalah ini, kota atau kabupaten yang ingin dihubungkan diibaratkan sebagai sebuah simpul. Jalan tol diibaratkan sebagai sebuah sisi yang bobotnya sama dengan jarak antara kedua kota yang ia hubungkan sesuai perhitungan menurut rumus Haversine. Dengan begitu, *minimum spanning tree* yang akan dihasilkan nanti akan menghubungkan seluruh kota yang termasuk dalam daftar tanpa mengandung sirkuit dan memiliki bobot yang minimum serta memenuhi kriteria tambahan yang sudah disebutkan.

E. Algoritma Kruskal Yang Dimodifikasi

Untuk menyelesaikan permasalahan perancangan tol ini, tidak dapat digunakan algoritma Kruskal pada umumnya. Algoritma Kruskal akan menghasilkan *minimum spanning tree*, artinya pohon yang menghubungkan seluruh kota dengan bobot paling minimum. Sedangkan, pada makalah ini terdapat beberapa syarat-syarat tambahan. Syarat tersebut di antaranya, Ibukota harus terhubung langsung ke Balikpapan, Samarinda, Kutai Barat, dan Hulu Sungai Utara. Algoritma Kruskal tidak menjamin sisi tersebut akan termasuk dalam hasil akhir *minimum spanning tree*. Resolusinya, pada makalah ini algoritma Kruskal akan dimodifikasi sedemikian hingga memenuhi persyaratan yang diberikan pada bagian III B.

Algoritma Kruskal seharusnya dimulai dari himpunan sisi yang kosong (tidak ada anggotanya), lalu dilanjutkan dengan pengisian himpunan tersebut mulai dari sisi dengan bobot paling kecil. Bila sisi tersebut tidak menimbulkan sirkuit, maka dimasukkan ke himpunan sisi yang akan membangun *minimum spanning tree*. Untuk memenuhi persyaratan yang diberikan, maka himpunan awal tadi tidak dimulai dari keadaan kosong. Melainkan dimulai dengan isi sisi-sisi yang harus ada dalam *minimum spanning tree* yang akan dibuat. Hasil akhir yang didapatkan bisa jadi bukanlah pohon yang paling minimum di antara seluruh kemungkinan, tetapi dapat dipastikan bahwa pohon yang akan didapatkan nanti merupakan pohon yang memenuhi syarat-syarat tambahan dengan bobot seminimum mungkin. Terdapat delapan sisi yang menjadi isi awal himpunan tersebut.

Kota Pertama	Kota Kedua
Penajam Paser Utara	Balikpapan
Penajam Paser Utara	Samarinda
Penajam Paser Utara	Kutai Barat
Penajam Paser Utara	Hulu Sungai Utara
Kutai Barat	Kapuas Hulu
Kapuas Hulu	Malinau
Barito Selatan	Sintang
Tarakan	Tanjung Selor

Tabel 6 Sisi yang menjadi anggota awal himpunan

IV. DISKUSI DAN PEMBAHASAN

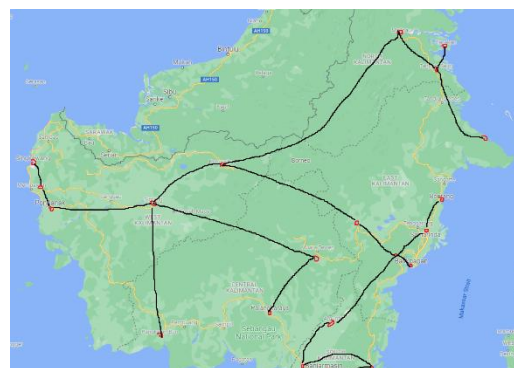
A. Hasil Dari Algoritma Kruskal Yang Dimodifikasi

Setelah jarak antar semua pasang kota dihitung menggunakan rumus Haversine maka telah dimiliki sebuah graf

lengkap dan teratur dimana sebuah simpul terhubung ke 20 simpul lainnya. Bobot dari sisi yang menghubungkan kedua simpul tersebut adalah jarak antara kedua kota yang dihubungkannya. Langkah-langkah penerapan algoritma Kruskal secara detail dapat dilihat di bawah ini. Perhatikan bahwa langkah ke nol adalah isi himpunan mula-mula atau syarat tambahan yang harus dipenuhi dalam perancangan tol ini.

Langkah ke	Kota 1	Kota 2	Bobot
0	Penajam Paser Utara	Balikpapan	76.26
0	Penajam Paser Utara	Samarinda	136.65
0	Penajam Paser Utara	Kutai Barat	168.67
0	Penajam Paser Utara	Hulu Sungai Utara	182.58
0	Kutai Barat	Kapuas Hulu	481.52
0	Kapuas Hulu	Malinau	368.73
0	Barito Selatan	Sintang	506.91
0	Tarakan	Tanjung Selor	311.59
1	Banjarmasin	Tanah bumbu	14.25
2	Banjar Baru	Tanahbumbu	20.18
3	Barito Selatan	Palangkaraya	27.56
4	Sintang	Pontianak	72.08
5	Kab. Pontianak	Singawang	79.61
6	Bontang	Samarinda	80.31
7	Kab. Pontianak	Pontianak	102.42
8	Hulu Sungai Utara	Banjarmasin	110.24
9	Kapuas Hulu	Sintang	110.90
10	Tanjung Selor	Berau	134.05
11	Malinau	Tanjung Selor	147.51
12	Kotawaringin Barat	Sintang	313.710

Tabel 7 Hasil eksekusi algoritma Kruskal yang dimodifikasi



Gambar 3 Rancangan jalan tol menurut algoritma Kruskal yang dimodifikasi

B. Diskusi Terhadap Hasil

Dapat diperhatikan beberapa temuan menarik dari hasil perancangan jalan tol ini. Yang pertama kota yang bersebelahan bisa saja tidak terhubung, contohnya seperti Kotawaringin Barat

dengan Palangkaraya (dua kota di pojok kiri bawah). Dua kota tersebut tidak terhubung karena masing-masing sudah terhubung ke dalam pohon. Penghubungan kedua kota tersebut akan menimbulkan sirkuit. Padahal dalam dunia nyata justru penghubungan kedua kota tersebut bisa saja dipandang lebih efektif. Hal ini mengindikasikan bahwa jaringan jalan tol bisa saja bukan berupa sebuah pohon, artinya boleh mengandung sirkuit. Namun, nantinya permasalahan perancangan jalan tol yang boleh mengandung sirkuit tidak bisa menggunakan konsep *minimum spanning tree*.

Berikutnya, bila dilihat kumpulan tiga kota di pojok kanan bawah yaitu Banjarmasin, Banjar Baru, dan Tanah Bumbu menunjukkan hubungan yang terlihat tidak minimum. Secara intuitif harusnya Banjarmasin (kiri) terhubung dengan Banjar Baru (tengah) lalu Banjar Baru (tengah) terhubung dengan Tanah Bumbu (kanan). Bagaimanapun, hasil yang terdapat pada gambar 3 menunjukkan konfigurasi dengan bobot minimum menurut perhitungan Haversine. Sehingga permasalahan ini lebih ke arah kurang telitinya penggambaran titik lokasi.

Rancangan jalan tol yang dibuat juga secara kualitatif meningkatkan konektivitas di pulau Kalimantan. Dapat dilihat ada beberapa pasang kota yang sebelumnya tidak terhubung langsung oleh jalan nasional namun di rancangan tersebut sudah terhubung oleh jalan tol. Utamanya dapat dilihat pada jalan tol yang merentang di tengah-tengah pulau Kalimantan. Sebelum adanya jalan ini, maka pergerakan harus dilakukan dengan memutar jalan lewat pesisir di sebelah selatan yang tentunya akan memakan waktu dan biaya yang lebih banyak.

Bagaimanapun, pembangunan jalan tol yang merentang di tengah pulau Kalimantan belum mempertimbangkan faktor lingkungan dan bentuk muka bumi nya. Bisa saja, pembangunan jalan tol sepanjang 100 kilometer di tengah hutan akan memakan biaya dan menimbulkan kerusakan yang jauh lebih besar ketimbang membangun jalan tol sepanjang 100 kilometer di pesisir. Ditambah lagi belum adanya jalan di tengah-tengah pulau Kalimantan tersebut, sehingga mungkin saja memakan biaya yang lebih besar lagi.

Ada yang menarik juga dari rancangan tol yang telah dibuat. Yaitu ada dua kota yang dihubungkan oleh banyak sisi, dalam hal ini empat sisi. Sebuah kota yang banyak terhubung dengan kota lainnya akan menjadikan kota itu sebagai pusat keluar masuknya warga kota di sekitarnya. Banyaknya mobilitas di sebuah kota tentunya akan menjadikan kota tersebut posisi yang strategis. Hal ini bisa dilihat dengan jelas dalam sejarah bahkan sampai saat ini sekalipun yaitu pelabuhan-pelabuhan terbesar di dunia, seperti Singapura, terletak di posisi yang sering dilewati. Kedua kota itu adalah Penajam Paser Utara dan Sintang. Penajam Paser Utara memang sengaja didesain terhubung dengan empat kota di sekitarnya di awal perancangan jalan tol ini. Namun, Sintang yang terhubung dengan empat kota lainnya merupakan hal yang tidak disengaja. Hal ini terjadi karena Sintang memiliki jarak yang cukup dekat dengan empat kota di sekitarnya. Hal ini bisa jadi potensi yang bisa dikembangkan oleh kota Sintang. Apalagi saat ini Sintang bukan termasuk ibukota provinsi ataupun kota dengan kepadatan penduduk tinggi. Sehingga bila rancangan jalan tol ini diterapkan, kemungkinan perkembangan kota Sintang akan melejit jauh lebih tinggi.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Syarat penunjang yang harus dipenuhi oleh rancangan tol di pulau Kalimantan seperti yang dijelaskan di bagian III B. Syarat-syarat tersebut adalah Ibukota negara harus terhubung langsung dengan empat kota terdekat dan prioritas empat ruas jalan dari Kutai Barat ke Kapuas Hulu, dari Kapuas Hulu ke Malinau, dari Barito Selatan ke Sintang, dan dari Tarakan ke Tanjung Selor.
2. Rancangan jalan tol yang memenuhi syarat seperti dapat dilihat pada bagian IV A, tepatnya pada tabel 7 dan gambar 3. Hasil tersebut didapat dari algoritma Kruskal yang dimodifikasi sehingga selalu pohon yang dihasilkan selalu memenuhi syarat-syarat tambahan yang diberikan.

B. Saran

1. Perlu dipertimbangkan rancangan tol yang tidak berupa pohon. Karena mungkin saja sebuah jalan tol / sejenis mengandung sirkuit. Sirkuit tersebut mungkin saja membuat biaya pembangunan lebih tinggi tetapi mempersingkat waktu perjalanan secara signifikan. Seperti yang sering dilihat pada jalan lingkar luar di berbagai kota seperti Jakarta, Yogyakarta, ataupun Surabaya.
2. Perlu dipertimbangkan penggambaran titik koordinat pada peta yang lebih presisi dengan alat bantu, tidak hanya mengandalkan kemampuan visual.
3. Pada perhitungan bobot untuk setiap sisi, baru didasarkan hanya pada jarak antar kota. Beberapa faktor lain yang mungkin bisa ikut diperhitungkan adalah bentuk muka bumi, kondisi jalan terkini, dan kerusakan lingkungan yang mungkin diakibatkan. Karena faktor-faktor tersebut
4. Pengembangan di kota-kota yang terhubung ke banyak kota lainnya, contohnya Sintang, dapat ditingkatkan. Mengingat kota yang sering dilewati akan menjadi posisi yang strategis dan posisi tersebut berpotensi mendatangkan keuntungan ekonomis yang tinggi.

VI. REFERENSI

- [1] Joshua, J. D. Aplikasi Pohon Merentang Minimum Dalam Pembuatan Jalan Tol di Kalimantan Timur. [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Makalah/Makalah-Matdis-2020%20\(95\).pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Makalah/Makalah-Matdis-2020%20(95).pdf), Diakses pada 4 Desember 2021 pukul 20.00
- [2] <https://kalbar.bps.go.id/statictable/2018/03/19/127/kepadatan-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-kalimantan-barat-2000-2020.html>, Diakses pada 6 Desember 2021 pukul 20.00
- [3] https://satudata.kalteng.go.id/tabel/index/72/back_2, Diakses pada 6 Desember 2021 pukul 20.15
- [4] <https://kaltim.bps.go.id/indicator/12/455/1/kepadatan-penduduk-menurut-kabupaten-kota.html>, Diakses pada 6 Desember 2021 pukul 20.20
- [5] <https://kalsel.bps.go.id/indicator/12/91/1/jumlah-penduduk-menurut-jenis-kelamin.html>, Diakses pada 6 Desember 2021 pukul 20.35
- [6] <https://kalsel.bps.go.id/statictable/2017/02/07/771/luas-wilayah-kalimantan-selatan-menurut-kabupaten-kota-tahun-2011.html>, Diakses pada 6 Desember 2021 pukul 20.40
- [7] <https://kaltara.bps.go.id/indicator/12/87/1/kepadatan-penduduk-menurut-kabupaten-kota.html>, Diakses pada 6 Desember 2021 pukul 20.50

- [8] Haversine formula to find distance between two points on a sphere.
<https://www.geeksforgeeks.org/haversine-formula-to-find-distance-between-two-points-on-a-sphere/>, Diakses pada 8 Desember 2021 pukul 20.30
- [9] <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2021-2022/matdis21-22.htm>, Diakses pada 10 Desember 2021 pukul 20.00

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Surabaya, 12 Desember 2021



Rizky Ramadhana P. K.
13520151

LAMPIRAN

	Banjarmasin	Pontianak	Balikpapan	Samarinda	Bontang	Tarakan	Banjar Baru
Banjarmasin							
Pontianak	692.67						
Balikpapan	342.33	844.59					
Samarinda	421.40	872.83	83.14				
Bontang	499.68	909.10	163.43	80.31			
Tarakan	811.07	990.93	510.28	431.26	357.96		
Banjar Baru	24.70	717.12	340.56	421.14	500.27	818.19	
Singkawang	784.14	110.11	905.49	925.23	953.53	995.92	808.80
Hulu Sungai Utara	110.24	690.22	241.76	317.02	393.59	700.90	118.63
Kab Pontianak	794.32	102.42	943.62	969.21	1,002.50	1,063.72	818.71
Palangka Raya	145.20	566.16	342.78	406.26	474.85	739.37	168.83
Tanah Bumbu	14.25	699.28	353.15	432.79	511.39	824.54	20.18
Penajam Paser Utara	290.17	769.78	76.27	136.65	211.20	530.59	292.92
Kotawaringin Barat	452.21	315.19	707.31	761.78	820.92	1,014.12	473.94
Sintang	650.05	72.09	781.75	806.91	840.95	918.95	674.71
Barito Selatan	167.56	558.09	331.44	391.23	457.56	714.77	190.36
Kutai Barat	317.22	612.84	237.40	260.38	305.54	523.99	332.28
Berau	576.37	708.30	366.45	320.89	295.89	294.30	589.42
Tanjung Selor	685.26	688.76	500.10	454.33	423.91	311.59	700.74
Kapuas Hulu	635.70	179.95	718.85	734.66	761.04	814.35	660.23
Malinau	667.33	548.67	557.63	531.13	519.99	459.09	686.56

Tabel 8 Jarak antar kota menggunakan rumus Haversine bagian 1

	Singkawang	Hulu Sungai Utara	Kota Pontianak	Palangka Raya	Tanah Bumbu	Penajam Paser Utara	Kotawaringin E
Banjarmasin							
Pontianak							
Balikpapan							
Samarinda							
Bontang							
Tarakan							
Banjar Baru							
Singkawang							
Hulu Sungai Utara	771.48						
Kab Pontianak	79.61	792.61					
Palangka Raya	651.25	127.32	668.57				
Tanah Bumbu	791.77	123.63	800.70	156.87			
Penajam Paser Utara	832.75	182.58	869.28	271.03	302.45		
Kotawaringin Barat	424.95	492.69	400.47	369.48	453.95	632.47	
Sintang	134.12	638.61	162.32	517.49	657.73	707.72	313.71
Barito Selatan	640.10	132.13	660.48	27.56	179.96	257.79	376.60
Kutai Barat	669.14	218.84	710.08	217.12	331.47	168.67	520.89
Berau	726.33	472.01	788.33	476.20	590.58	343.61	721.08
Tanjung Selor	686.31	586.35	756.08	570.28	699.50	473.47	759.73
Kapuas Hulu	192.89	605.68	251.11	494.26	645.31	647.81	376.99
Malinau	540.20	582.48	611.39	534.67	681.09	512.64	655.14

Tabel 9 Jarak antar kota menggunakan rumus Haversine bagian 2

	Sintang	Barito Selatan	Kutai Barat	Berau	Tanjung Selor	Kapuas Hulu	Malinau
Banjarmasin							
Pontianak							
Balikpapan							
Samarinda							
Bontang							
Tarakan							
Banjar Baru							
Singkawang							
Hulu Sungai Utara							
Kab Pontianak							
Palangka Raya							
Tanah Bumbu							
Penajam Paser Utara							
Kotawaringin Barat							
Sintang							
Barito Selatan	506.91						
Kutai Barat	547.78	191.50					
Berau	636.29	449.46	261.77				
Tanjung Selor	617.50	542.76	368.47	134.05			
Kapuas Hulu	110.91	478.45	481.52	537.24	509.65		
Malinau	478.56	507.73	369.19	229.55	147.51	368.73	

Tabel 10 Jarak antar kota menggunakan rumus Haversine bagian 3