

ANALISIS PERGERAKAN KEGIATAN DISTRIBUSI KOMODITAS NIKEL DI WILAYAH SULAWESI SELATAN, SULAWESI TENGAH, SULAWESI TENGGARA DAN MALUKU UTARA

Mardhiyyah Cahaya Chalia

Program Studi Teknik Logistik
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154
Mardhiyyahchalia@upi.edu

Juang Akbardin

Program Studi Teknik Logistik
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154
Akbardien@upi.edu

Zifron Siallagan

Program Studi Teknik Logistik
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154
Zifronsiallagan6@gmail.com

Dwi Novi Wulansari

Program Studi Teknik Logistik
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154
Dwinovi@upi.edu

Abstract

Indonesia is the world's largest nickel producer, with reserves of 72 million tons Ni or 52% of the world's total. Central Sulawesi, South Sulawesi, Southeast Sulawesi, and North Maluku are key regions for nickel transportation analysis. This study examines the efficiency of multimodal transportation to support nickel production and distribution in these zones. Using a quantitative descriptive and correlational approach with secondary data from the Geological Agency and the Central Statistics Agency, the study finds a strong correlation between nickel production volume, land area, and population. Operational vehicle costs for trailer trucks and ships are Rp545.45 per ton-kilometer and Rp822.64 per nautical mile, respectively. VISUM modeling identified optimal routes, showing North Maluku with the largest nickel movement and South Sulawesi with the smallest. Combining land and sea transportation modes can enhance cost efficiency in nickel distribution, supporting sustainable logistics planning for Indonesia's future.

Keywords: Nickel, Multimodal Transportation, Cost Efficiency, Nickel Production, PTV Visum

Abstrak

Indonesia adalah produsen nikel terbesar di dunia, dengan cadangan mencapai 72 juta ton Ni atau 52% dari total dunia. Wilayah Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara menjadi fokus utama analisis transportasi nikel. Penelitian ini menganalisis efisiensi transportasi multimoda untuk mendukung produksi dan distribusi nikel di empat zona utama tersebut. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif dan korelasional, dengan data sekunder dari Badan Geologi dan Badan Pusat Statistik. Hasilnya menunjukkan volume produksi nikel berkorelasi kuat dengan luas wilayah dan jumlah penduduk. Biaya operasional kendaraan (BOK) untuk truk trailer dan kapal masing-masing adalah Rp545,45 per ton-kilometer dan Rp822,64 per mil laut. Pemodelan transportasi dengan VISUM menunjukkan Maluku Utara memiliki pergerakan nikel terbesar, sementara Sulawesi Selatan terkecil. Kesimpulannya, kombinasi moda transportasi darat dan laut dapat meningkatkan efisiensi biaya distribusi nikel di Indonesia, mendukung perencanaan logistik yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Nikel, Transportasi Multimoda, Efisiensi Biaya, Produksi Nikel, PTV Visum

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai salah satu negara dengan potensi tambang terbesar di dunia, telah lama dikenal karena kekayaan alamnya yang melimpah. Salah satu komoditas yang sangat penting adalah nikel, yang memiliki peran vital dalam berbagai industri (Ambarwati, N., Suwitaningsih, D. A., Haisoo, C. V., Fikri, M. H., WB, K. T. & Enus, M. M, 2020). Nikel adalah salah satu logam transisi yang tergolong dalam kelompok besi. Komoditas nikel merujuk pada penggunaan nikel sebagai bahan baku dalam berbagai industri, terutama dalam produksi baja nirkarat (*stainless steel*) yang merupakan salah satu material paling penting dalam konstruksi, industri otomotif, dan manufaktur. Penggunaan nikel tidak terbatas pada industri baja saja (Aurora, S. A., 2024). Nikel juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain, termasuk baterai, katalis, permukaan logam, dan lain - lain. Nikel Indonesia merupakan terbesar dibandingkan negara lainnya. Indonesia memiliki cadangan nikel sebesar 72 juta ton Ni (nikel). Jumlah cadangan tersebut merupakan 52% dari total cadangan nikel dunia yang mencapai 139.419.000 ton Ni. Cadangan nikel sebanyak 90% tersebar di Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara (Chandra, D. A., 2017).

Indonesia, dengan posisinya sebagai produsen terbesar nikel di dunia, memiliki tanggung jawab besar dalam memastikan distribusi yang efisien dan berkelanjutan dari sumber daya alam hingga ke pengguna akhir (Syahputra, A. M., 2021). Wilayah-wilayah seperti Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara menjadi fokus utama dalam pemetaan dan analisis transportasi nikel, mengingat cadangan yang signifikan terdapat di wilayah tersebut (Goma, E. I., Sandy, A. T., & Zakaria, M., 2021). Industri pertambangan nikel juga menjadi salah satu pendorong utama pertumbuhan ekonomi di wilayah-wilayah tersebut. Dengan adanya investasi dan pengembangan infrastruktur yang mendukung, produksi dan ekspor nikel dari Indonesia terus meningkat (Haryadi, H., 2016). Namun, tantangan dalam hal distribusi yang efisien dan berkelanjutan tetap menjadi perhatian utama, mengingat kompleksitas infrastruktur transportasi dan perubahan dalam permintaan global (Indonesia, W. L. H., & Denpasar, I., 2008). Oleh karena itu, pemetaan yang cermat dan analisis transportasi yang komprehensif menjadi krusial dalam memastikan bahwa potensi tambang nikel Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal, sambil memperhatikan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dengan demikian, penelitian dalam hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika industri pertambangan nikel di Indonesia dan memberikan panduan bagi pengambilan keputusan yang berkelanjutan dan berwawasan masa depan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan korelasional untuk menganalisis transportasi multimoda di empat zona utama produksi nikel: Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara. Data yang digunakan berasal dari sumber sekunder, yaitu laporan produksi nikel dari Badan Geologi (Juni 2020) serta data luas wilayah, PDRB, dan jumlah penduduk dari Badan Pusat Statistik (BPS). Analisis data akan mencakup penghitungan korelasi antara volume produksi nikel dan kebutuhan transportasi serta perhitungan regresi untuk memprediksi kebutuhan

transportasi berdasarkan variabel produksi (Irwandi, I., Regina, R., Hasdiansa, I. W., Rahmizal, M. & Isma, A., 2023).

Untuk menghitung biaya operasional kendaraan (BOK), penelitian ini akan menggunakan data biaya operasional yang diambil dari laporan keuangan perusahaan transportasi. Data biaya transportasi akan diolah untuk mendapatkan BOK per kilometer yang kemudian dianalisis untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi biaya transportasi di setiap zona. Analisis *supply demand* dilakukan dengan membandingkan kapasitas transportasi yang tersedia dengan kebutuhan transportasi berdasarkan volume produksi nikel, menggunakan metode estimasi yang sesuai (Iskandar, A., & Saragih, R., 2018). Pemodelan transportasi akan dilakukan menggunakan pendekatan analisis sebaran pergerakan metode tanpa-batasan (*unconstrained-gravity*, UCGR) dan perangkat lunak VISUM untuk mengoptimalkan aliran transportasi dan mengidentifikasi jalur optimal. Data yang dimasukkan ke VISUM mencakup informasi tentang jaringan jalan, volume transportasi, dan titik-titik produksi serta distribusi nikel (Raivel, R., Hasrianto, H., & Amir, M. K., 2023). Hasil pemodelan ini akan memberikan gambaran tentang jalur transportasi yang paling efisien, mengurangi kemacetan, dan menurunkan biaya operasional (Malim, A. N. L. & Amsah, L. O. Y., 2023). Kesimpulan dari penelitian ini akan memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi transportasi multimoda dalam mendukung produksi dan distribusi komoditas nikel di keempat zona tersebut.

HASIL PEMBAHASAN

Pemetaan transportasi dilakukan, di mana nikel dari pelabuhan-pelabuhan di Maluku Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Tengah akan tiba di salah satu dari kedua pelabuhan ini sebelum dilanjutkan ke Cilegon (Purba, J. F., 2024). Dengan rute Pelabuhan Tanjung Priok/Pelabuhan Merak menuju Cilegon. Kemudian nikel yang tiba di Pelabuhan Tanjung Priok atau Pelabuhan Merak akan dipindahkan ke truk atau kereta api untuk perjalanan darat ke PT. Indonesia di Cilegon. Pemetaan transportasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan Transportasi

No	Zona Asal	Zona Tujuan	KM	Mill	Biaya	Jumlah
1	Maluku Utara	Sulawesi Selatan				
	Darat	Pulau Obi-Pelabuhan Tapaleo	78		Rp 42,545	Rp 323,685
	Laut	Pelabuhan Tapaleo-Pelabuhan Makassar	550	341.75405	Rp 281,140	
2	Maluku Utara	Sulawesi Tenggara				
	Darat	Pulau Obi-Pelabuhan Tapaleo	78		Rp 42,545	Rp 206,629
	Laut	Pelabuhan Tapaleo-Pelabuhan Kendari	321	199.460091	Rp 164,083	
3	Maluku Utara	Sulawesi Tengah				

No	Zona Asal	Zona Tujuan	KM	Mill	Biaya	Jumlah
4	Darat	Pulau Obi-Pelabuhan Tapaleo	78		Rp 42,545	Rp 333,448
	Laut	Pelabuhan Tapaleo-Pelabuhan Palu	353	353.62137	Rp 290,902	
	Sulawesi Selatan Sulawesi Tenggara					
	Darat	Kecamatan Kecamatan Luwu - Pelabuhan Makasar	120		Rp 65,454	Rp 264,297
5	Laut	Pelabuhan Makasar-Pelabuhan kendari	389	241.713319	Rp 198,843	
	Sulawesi Selatan Sulawesi Tengah					
	Darat	Kecamatan Luwu - Pelabuhan Makasar	120		Rp 65,454	Rp 406,400
	Laut	Pelabuhan Makasar-Pelabuhan Palu	667	414.454457	Rp 340,946	
6	Sulawesi Tenggara Sulawesi Tengah					
	Darat	Kecamatan Pomalaa-Pelabuhan Kendari	87		Rp 47,454	Rp 328,594
	Laut	Pelabuhan Kenadri-Pelabuhan Palu	550	341.75405	Rp 281,140	

Penentuan variabel dependen dan independen diperlukan untuk menentukan korelasi dari setiap variabel yang telah dipilih. Variabel dependent ialah variabel yg menjadi pembanding. Jumlah produksi nikel merupakan variabel yang dipengaruhi oleh luas area, PDRB, dan jumlah penduduk (Ulfa, R., 2021). Data yang diperoleh pada Tabel.2 merupakan jumlah produksi nikel di 4 wilayah yang ditinjau pada tahun 2020 sebagai berikut :

Tabel 2. Data Variabel Dependen

Zona	Nama Provinsi	Produksi (Y) (miliar)
1	Maluku Utara	1.400.000.000
2	Sulawesi Selatan	100.000.000
3	Sulawesi Tenggara	1.800.000.000
4	Sulawesi Tengah	1.000.000.000

Variabel independent ialah variabel yg menjadi peubah bebas yang bisa dibandingkan. Terdapat 3 variabel independent pada penelitian ini meliputi luas area, PDRB, dan jumlah penduduk yang mempengaruhi variabel produksi gula (Suciyanti, M. & Haryadi, H., 2018). Data yang diperoleh untuk ketiga variebel independen diambil dari Badan Pusat Statistik (BPS) untuk kelima zona yang ditinjau pada tahun 2020 yang ditampilkan pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Data Variabel Independen

Zona	Nama Provinsi	Luas Lahan(km ²) (X1)	Jumlah Penduduk (X2)	PDRB (X3)
1	Maluku Utara	31.982,00	12829	42.298,87
2	Sulawesi Selatan	46.717,48	90735	504.052,53
3	Sulawesi Tenggara	38.067,70	26249	130.107,27
4	Sulawesi Tengah	61.841,29	29857	197.440,78

Analisis korelasi dilakukan untuk mengeksplorasi tingkat hubungan antara dua variabel dalam pertimbangan. Koefisien korelasi digunakan sebagai ukuran untuk mengukur tingkat hubungan variabel tersebut (Senthilnathan, S., 2019). Pada dasarnya, koefisien korelasi R akan berkisar antara -1 dan +1, yaitu $-1 \leq R \leq +1$ (Gogtay, N. J., & Thatte, U. M., 2017). Berdasarkan hasil perhitungan korelasi, variabel jumlah produksi nikel (Oi) memiliki korelasi yang erat dengan variabel luas wilayah (X1) dan variabel jumlah penduduk (X2), dan variabel PDRB (X3) memiliki korelasi yang erat dengan variabel PDRB (X3) dikarenakan nilai koefisien kedua hubungan tersebut hampir mendekati nilai 1. Hasil matriks korelasi tersaji dalam Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Hasil Korelasi

	Oi	Luas Lahan	Jumlah Penduduk	PDRB
Oi	1			
Luas Lahan	-0,431	1		
Jumlah Penduduk	-0,892	0,271	1	
PDRB	-0,909	0,390	0,992	1

Analisis regresi adalah metode yang sering digunakan untuk menganalisis data yang melibatkan beberapa faktor. Metode ini populer karena menggunakan persamaan matematis untuk menggambarkan hubungan antara variabel yang ingin diteliti (*variabel respons*) dan serangkaian variabel prediktor terkait (Setiawan, K. N. S., Achmadi, T. & Lazuardi, S. D., 2018). Metode ini dapat digunakan untuk memahami sejauh mana variabel prediktor mempengaruhi variabel respons yang sedang diteliti. (Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G., 2021). Pemilihan hasil regresi yang digunakan, yaitu hasil regresi tahap 3 yang ditunjukkan pada Tabel 5 sehingga didapat persamaan $Y = 1794881706 + 3295 X_3$.

Tabel 5. Hasil *Multiple Regression*

No.	Peubah	Tanda yang diharapkan	Parameter model	Tahap		
				1	2	3
1	Intersep	+	C	590545672 01	19938358 30	17948817 06
2	Luas Lahan	+	X1	-1246668	-5081	-
3	Jumlah Penduduk	+	X2	-3398783	-	-
4	PDRB	+	X3	610403	-3167	3295
			R ²	1	0.833	0.826
			F stat	7.854	8.642	9.526

Hasil regresi ini akan diteruskan untuk perhitungan UCGR, setelah hasil regresi ditemukan selanjutnya menghitung estimasi supply dan demand dengan cara menganalisis *forecasting* Kebutuhan Produksi Komoditas 10 Tahun, 20 Tahun kedepan (data tahun 2020). Untuk mengasumsi perkiraan produksi nikel 10 dan 20 tahun ke depan di 4 wilayah yang ditinjau dengan rumus sebagai berikut :

Rumus Rasio : $= ((hasil\ 2020/hasil\ 2019)^1 - 2$

Rumus Proyeksi tahun 2030 = $hasil\ 2020 \times (1 - rasio)^{10}$

Rumus Proyeksi 2040 = $hasil\ 2020 \times (1 - rasio)^{20}$

Menghasilkan hasil forecasting Kebutuhan Produksi Komoditas 10 Tahun, 20 Tahun kedepan sebagai berikut :

Tabel 6. Data *Forecasting* Kebutuhan Produksi

Zona	2019	2020	Rasio	Proyeksi	
				2030	2040
Maluku Utara	1.250.000.000	1.400.000.000	0,12	4.348.187.492	13.504.810.331
Sulawesi Selatan	97.000.000	100.000.000	0,03	135.607.171	183.893.049
Sulawesi Tenggara	1.750.000.000	1.800.000.000	0,03	2.385.706.805	3.161.998.310
Sulawesi Tengah	965.000.000	1.000.000.000	0,04	1.427.995.591	2.039.171.408

Kemudian multimoda dari ke 4 zona tersebut dimulai dengan menggunakan truk menuju pelabuhan asal tujuan dan kemudian mendistribusikannya menggunakan kapal laut menuju pelabuhan tujuan namun perlu menggunakan truk kembali untuk sampai ke tempat tujuan. Jenis moda transportasi yang digunakan dalam pendistribusian yaitu Truk trailer dengan kapasitas alat angkut sekitar 20 ton, dan penggunaan moda kapal Penyebrangan *Bulk Carrier* laut di Sulawesi memang seringkali dipakai untuk pendistribusian nikel. Oleh karena itu, untuk mendistribusikan komoditas nikel di 4 zona yang kami tinjau menggunakan dua moda transportasi, yaitu truk dan kapal penyebrangan.

Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) bagi truk trailer dengan kapasitas angkut 20 ton merupakan elemen esensial dalam mengevaluasi efisiensi serta profitabilitas di sektor transportasi barang. BOK mencakup beragam komponen biaya, seperti pengeluaran untuk bahan bakar, pemeliharaan, upah pengemudi, biaya tol, asuransi, dan depresiasi kendaraan. Dalam konteks truk trailer ini, BOK dihitung dengan memperhitungkan semua biaya operasional harian, jarak yang ditempuh, serta kapasitas muatan maksimal yang dapat diangkut. Setelah proses perhitungan, biaya angkutan per ton-kilometer untuk truk ini ditemukan mencapai Rp545.45. Perhitungan biaya operasional kendaraan kapal melibatkan berbagai komponen, termasuk biaya bahan bakar, pemeliharaan kapal, gaji awak kapal, biaya pelabuhan, asuransi, dan penyusutan kapal (Putra, A. A. & Djalante, S., 2016). Satuan perhitungan biaya sering kali dinyatakan dalam SUP (*Standard Unit of Performance*) Mile, yang menjadi satuan standar untuk mengukur kinerja pengangkutan kapal per mil laut. Setelah dilakukan perhitungan, biaya operasional per SUP Mile untuk kapal ini adalah Rp822.6.

Dalam melakukan perhitungan *Unconstrained Gravity* (UCGR), diperlukan serangkaian perhitungan yang melibatkan beberapa komponen utama. Pertama, perlu dilakukan perhitungan matriks biaya yang didapatkan dari Analisis Biaya Operasional (BOK). Selanjutnya, digunakan matriks $\exp(-\beta C_{ij})$, di mana C_{ij} adalah biaya atau waktu perjalanan antara zona i dan zona j , dan β adalah parameter yang menunjukkan sensitivitas terhadap biaya perjalanan. Perhitungan matriks $\exp(-\beta C_{ij})$ ditunjukkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 7. Matriks Eksponensial

MATRIX EKP (- βC_{id})				
Zona	1	2	3	4
1	1	0.9999998933	0.9999999319	0.9999998901
2	0.00086536387	1	0.0654140550	0.4122391396

MATRIX EKP (-BCid)				
Zona	1	2	3	4
3	0.00000000022	0.00000000000	1	0.0000000252
4	0.00000000000	0.00000000000	0.00000000000	1

Tabel 9. Matriks Pergerakan

Zona	Maluku Utara	Sulawesi Selatan	Sulawesi Tenggara	Sulawesi Tengah	OI
Maluku Utara	0	706,382,937	482,593,389	211,023,674	1,400,000,00 0.00
Sulawesi Selatan	66,122,924	0	25,568,519	8,308,557	100,000,000. 00
Sulawesi Tenggara	208,630,193	1,427,334,119	0	164,035,688	1,800,000,00 0.00
Sulawesi Tengah	326,154,721	310,274,834	363,570,445	0	1,000,000,00 0.00
Dd	600907838	2443991890	871732353	383367919	4,300,000,00 0.00

Tabel 10. Hasil MAT Akhir Model UCGR Sebelum Dimodifikasi

Zo na	1	2	3	4	oi	Oi	Ei	A i
1	8.41271 E+17	8.41271 E+17	8.41271 E+17	8.41271 E+17	3.36508E+18	1,400,000,0 00.00	24036311 81	1
2	7.28006 E+14	8.41271 E+17	5.50309 E+16	3.46805 E+17	1.24383E+18	100,000,00 0.00	12438347 466	1
3	1824841 37.6	6.47279 E-49	8.41271 E+17	2122433 5087	8.41271E+17	1,800,000,0 00.00	46737277 4.8	1
4	656.9183 254	3573.260 816	12.14568 941	8.41271 E+17	8.41271E+17	1,000,000,0 00.00	84127097 3.2	1
dd	8.41999 E+17	1.68254 E+18	1.73757 E+18	2.02935 E+18	629146036774492 0000.00			
Dd	6009078 38	2443991 890	8717323 53	3833679 19		430000000 0		
Ed	1401211 510	6884400 32.7	1993241 193	5293470 311			0.000000 0007	
Bd	1	1	1	1				

Dari Tabel 10, terlihat bahwa total pergerakan yang berasal dari setiap zona asal dan total pergerakan yang tertarik ke setiap zona tujuan tidak sesuai dengan total pergerakan (bangkitan dan tarikan) yang diperkirakan dalam tahap bangkitan pergerakan. Agar memenuhi syarat, maka setiap sel T dimodifikasi dengan faktor sebesar :

$$\frac{6291460367}{4300000000} = 0.0000000007$$

Sehingga didapatkan matriks akhir, MAT hasil akhir model UCGR setelah modifikasi :

Tabel 11. Hasil MAT hasil akhir model UCGR Setelah Modifikasi

Zo na	1	2	3	4	oi	Oi	Ei	A i
1	57498020 7.03	57498014 5.70	57498016 7.88	57498014 3.85	22999206 64	1,400,000,00 0.00	1.642800 475	1
2	497567.10	57498020 7.03	37611786. 91	23702934 5.80	85011890 6.8	100,000,000. 00	8.501189 068	1
3	0.12	0.00	57498020 7.03	14.51	57498022 1.7	1,800,000,00 0.00	0.319433 456	1
4	0.00	0.00	0.00	57498020 7.03	57498020 7	1,000,000,00 0.00	0.574980 207	1
dd	57547777 4.3	11499603 53	11875721 62	13869897 11	43000000 00			
Dd	60090783 8	24439918 90	87173235 3	38336791 9		4300000000		
Ed	0.9576805 92	0.4705254 37	1.3623128 22	3.6179076 09			1	
Bd	1	1	1	1				

Berdasarkan perhitungan MAT, hasilnya divisualisasikan menggunakan *software* PTV Vissum untuk menghasilkan garis keinginan (*desire line*) pada Gambar 1 yang dihasilkan menunjukkan desire lines atau garis keinginan yang menggambarkan alur pergerakan komoditas nikel antara beberapa pelabuhan di Indonesia. Garis-garis tersebut menghubungkan titik-titik yang mewakili lokasi pelabuhan di Maluku Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Tengah, dengan ketebalan garis yang berbeda-beda sesuai dengan volume nikel yang dipindahkan di setiap jalur.

Secara spesifik, gambar tersebut memperlihatkan bahwa pergerakan terbesar terjadi antara Maluku Utara dan Sulawesi Selatan, ditunjukkan oleh garis paling tebal, yang merepresentasikan jumlah nikel sebesar 1.007.137 ton. Sebaliknya, pergerakan terkecil ditunjukkan oleh garis yang lebih tipis antara Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara, dengan volume nikel sebesar 251.519 ton. Visualisasi ini membantu mengidentifikasi jalur-jalur utama dan sekunder dalam rantai distribusi nikel, memberikan wawasan penting bagi perencanaan logistik dan pengelolaan transportasi komoditas. Namun, perlu diketahui bahwa PTV Vissum, dapat menjadi terlalu kompleks bagi pengguna yang belum terbiasa dengan pemodelan transportasi tingkat lanjut. Proses analisis dan visualisasi data memerlukan pemahaman teknis yang mendalam, sehingga mungkin memerlukan waktu pelatihan yang signifikan untuk bisa memanfaatkan semua fitur dengan optimal.



Gambar 1. Simulasi PTV Vissum

KESIMPULAN

Analisis korelasi dan regresi menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara volume produksi nikel dengan luas wilayah, PDRB, dan jumlah penduduk di empat zona utama: Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara. Koefisien korelasi menunjukkan bahwa luas wilayah dan jumlah penduduk memiliki korelasi yang kuat dengan volume produksi nikel, sedangkan PDRB juga memberikan kontribusi yang signifikan (Tribiani, E., Zaenal, Z. & Isniarno, N. F., 2021). Hubungan ini menegaskan bahwa peningkatan produksi nikel memerlukan dukungan infrastruktur dan transportasi yang memadai untuk mendukung kebutuhan logistik. Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) untuk truk dan kapal menunjukkan bahwa biaya operasional per ton-kilometer untuk truk trailer adalah Rp545.45, sedangkan untuk kapal penyeberangan adalah Rp822.64 per ton-mil laut. Analisis biaya ini menunjukkan bahwa penggunaan moda transportasi multimoda (truk dan kapal) dapat mengoptimalkan efisiensi biaya, terutama untuk jarak jauh. Kombinasi penggunaan truk untuk transportasi darat dan kapal untuk transportasi laut mampu mengurangi biaya total dan meningkatkan efisiensi distribusi komoditas nikel dari zona internal menuju PT Smelter Nikel Indonesia di Cilegon, Banten. Estimasi supply demand menunjukkan proyeksi kebutuhan produksi nikel dalam 10 dan 20 tahun ke depan berdasarkan data tahun 2020. Dengan menggunakan metode UCGR dan pemodelan transportasi dengan VISSUM, aliran transportasi dapat dioptimalkan untuk mengidentifikasi jalur optimal dan mengurangi beban jalur pengiriman. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa Maluku Utara memiliki pergerakan terbesar dalam distribusi nikel, sedangkan Sulawesi Selatan menunjukkan pergerakan terkecil. Visualisasi dengan PTV Vissum memberikan gambaran yang jelas tentang distribusi beban pada jalur pengiriman, memungkinkan perencanaan yang lebih baik untuk masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, N., Suwitaningsih, D. A., Haisoo, C. V., Fikri, M. H., WB, K. T. & Enus, M. M. (2020). Dampak usaha pertambangan nikel PT. Vale akibat pembangunan smelter di Provinsi Sulawesi. *In Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*, 2(1), 517-520.
- Aurora, S. A. (2024). Motivasi Indonesia menjalin kerja sama dengan Tiongkok dalam mengembangkan nikel di Sulawesi pada tahun 2014-2020. (*Doctoral dissertation, Universitas Satya Negara Indonesia*).
- Chandra, D. A. (2017). Pengaruh produk domestik regional bruto per kapita, investasi dan indeks pembangunan manusia terhadap ketimpangan pendapatan di Indonesia tahun 2013-2017.
- Gogtay, N. J., & Thatte, U. M. (2017). Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*, 65(3), 78-81.
- Goma, E. I., Sandy, A. T., & Zakaria, M. (2021). Analisis distribusi dan interpretasi data penduduk usia produktif indonesia tahun 2020. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 6(1), 20-27.
- Haryadi, H. (2016). Analisis dampak pembangunan smelter nikel terhadap perekonomian daerah di Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 11(1), 25-39.

- Indonesia, W. L. H., & Denpasar, I. (2008). Laporan tahunan. *Wahana Lingkungan Hidup Indonesia*.
- Irwandi, I., Regina, R., Hasdiansa, I. W., Rahmizal, M. & Isma, A. (2023). Pengaruh produksi nikel terhadap Indeks Pembangunan Manusia dan pertumbuhan PDRB di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmiah Edunomika*, 7(2).
- Iskandar, A., & Saragih, R. (2018). Analisis Kondisi Kesenjangan Ekonomi Daerah: Studi Kasus Kabupaten/Kota Di Sulawesi Selatan (Analysis of Economic Disparity Condition: Case Study From Regency/City of South Sulawesi Indonesia). *Jurnal Info Artha*, 2(1), 37-52.
- Malim, A. N. L. & Amsah, L. O. Y. (2023). Estimasi sumberdaya nikel laterit di Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Pertambangan*, 7(4), 159-161.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Purba, J. F. (2024). Perencanaan short-term tambang nikel di pit Kaorahai site Weda Bay Nickel PT Samudera Mulia Abadi Halmahera Tengah Maluku Utara. (*Doctoral dissertation, Universitas Bangka Belitung*).
- Putra, A. A. & Djalante, S. (2016). Pengembangan infrastruktur pelabuhan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 6(1).
- Raivel, R., Hasrianto, H., & Amir, M. K. (2023). Karakteristik Endapan Nikel Laterit Daerah Molawe Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. *Mining Science And Technology Journal*, 2(3), 178-191.
- Senthilnathan, S. (2019). Usefulness of correlation analysis. *Available at SSRN 3416918*.
- Setiawan, K. N. S., Achmadi, T. & Lazuardi, S. D. (2018). Analisis skala penambangan mineral dan pengangkutan: studi kasus angkutan nikel di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), E43-E48.
- Suciyanti, M. & Haryadi, H. (2018). Analisis SWOT pengembangan ekonomi khusus industri nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(2), 159-177.
- Syahputra, A. M. (2021). Pengaruh perubahan tutupan hutan dan lahan terhadap pertumbuhan di sektor perekonomian dan kesejahteraan masyarakat: Studi di Provinsi Lampung.
- Tribiani, E., Zaenal, Z. & Isniarno, N. F. (2021). Rancangan teknis penambangan bijih nikel di PT Tiran Indonesia Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 585-593.
- Ulfa, R. (2021). Variabel penelitian dalam penelitian pendidikan. *Al-Fathonah*, 1(1), 342-351.