Jurnal Pendidikan Matematika: Judika Education
Volume 9, Nomor 3, Mei-Juni 2026
e-ISSN : 2614-6088
p-ISSN : 2620-732X
DOI : https://doi.org/10.31539/fqbdyp69

OPTIMASI *SUPPLY CHAIN* ASBUTON NASIONAL PT PERTAMINA (PERSERO) BERBASIS *VEHICLE ROUTING PROBLEM* DAN *GENETIC ALGORITHM*

Hardika Adiyagsa[1], Machsus[2]
Sepuluh Nopember Institute of Technology[1,2]
hardika.adiyagsa@gmail.com[1]

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya pengiriman dan merancang sistem rantai pasok (*supply chain*) distribusi Aspal Buton (Asbuton) nasional PT Pertamina (Persero) menggunakan pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dan *Genetic Algorithm* (GA). Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif berbasis pemodelan optimasi dengan data sekunder berupa kebutuhan Asbuton tiap provinsi, kapasitas produsen, kapasitas distributor, dan biaya distribusi laut. Model VRP dibangun dan dioptimalkan menggunakan GA dengan mempertimbangkan kapasitas dan permintaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi jaringan distribusi menghasilkan rute yang lebih efisien dengan penurunan jarak sebesar 17% untuk Asbuton B5/20 dan 50% untuk Asbuton B50/30 dibandingkan kondisi eksisting. Simpulan, penerapan VRP dan GA meningkatkan efisiensi distribusi Asbuton nasional melalui penentuan rute, produsen, dan distributor yang lebih optimal.

Kata Kunci: Aspal Buton*; Genetic Algorithm; Supply Chain; Vehicle Routing Problem.*

ABSTRACT

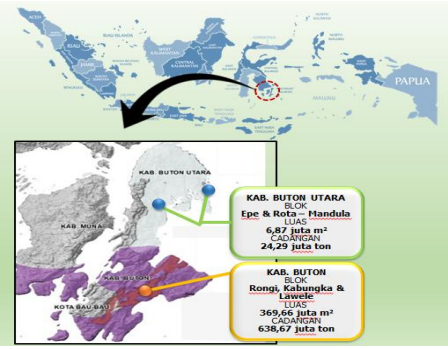
This study aims to optimize shipping costs and design the national Buton Asphalt (Asbuton) distribution supply chain system of PT Pertamina (Persero) using the Vehicle Routing Problem (VRP) and Genetic Algorithm (GA) approaches. The method used was quantitative research based on optimization modeling using secondary data consisting of provincial Asbuton demand, producer capacity, distributor capacity, and sea distribution costs. The VRP model was developed and optimized using GA by considering capacity and demand constraints. The results showed that distribution network optimization generated more efficient routes with distance reductions of 17% for Asbuton B5/20 and 50% for Asbuton B50/30 compared to the existing condition. In conclusion, the implementation of VRP and GA improved the efficiency of national Asbuton distribution through more optimal determination of routes, producers, and distributors, with lower distribution costs.

Keywords: *Asbuton; Genetic Algorithm; Supply Chain; Vehicle Routing Problem*

PENDAHULUAN

Aspal Buton (Asbuton) merupakan salah satu sumber daya alam strategis nasional yang berasal dari Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, dan memiliki cadangan yang sangat besar.

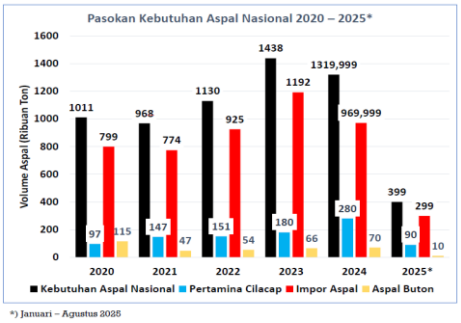
Sebagai aspal alam dengan tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) yang tinggi, Asbuton memiliki potensi untuk mendukung kemandirian industri konstruksi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap aspal impor. Pemanfaatan Asbuton juga sejalan dengan kebijakan pemerintah dalam meningkatkan penggunaan produk dalam negeri pada pembangunan infrastruktur jalan. Meskipun demikian, tingkat pemanfaatan Asbuton hingga saat ini masih belum optimal dibandingkan dengan potensi sumber daya yang dimiliki Indonesia.



Gambar 1.
Lokasi Sumber Daya Asbuton dan Dua Pulau Cadangan Utama

Besarnya cadangan Asbuton memberikan peluang bagi Indonesia untuk memenuhi sebagian kebutuhan aspal nasional melalui sumber daya dalam negeri. Asbuton telah dikembangkan dalam berbagai bentuk produk, seperti B5/20, B50/30, dan CPHMA yang digunakan sebagai bahan aditif maupun substitusi aspal minyak dalam campuran perkerasan jalan. Meskipun memiliki potensi yang besar, distribusi Asbuton masih menghadapi berbagai kendala sehingga tingkat penyerapannya belum mampu mencapai target yang ditetapkan pemerintah.

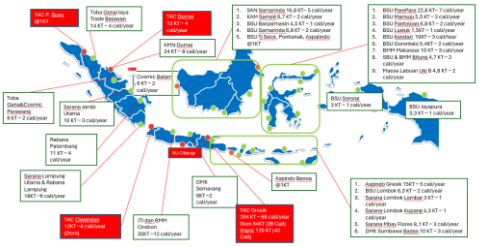
Kebutuhan aspal nasional terus meningkat seiring dengan pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan di berbagai wilayah Indonesia. Berdasarkan data kebutuhan aspal nasional periode 2020–2025, kebutuhan aspal Indonesia berada pada kisaran ratusan ribu hingga lebih dari satu juta ton per tahun. Pada tahun 2023, kebutuhan aspal nasional mencapai sekitar 1,438 juta ton, sedangkan kontribusi Asbuton terhadap pemenuhan kebutuhan tersebut masih relatif rendah. Persentase realisasi pasokan Asbuton selama periode 2020–2025 hanya berkisar antara 2%–5% dari total kebutuhan aspal nasional setiap tahunnya. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan yang cukup signifikan antara target pemanfaatan Asbuton dan realisasi yang dicapai di lapangan sehingga diperlukan upaya peningkatan efisiensi distribusi untuk mendukung peningkatan pemanfaatan Asbuton secara nasional.



Gambar 2.
Pasokan Volume Kebutuhan Aspal Nasional (dalam Ribuan Ton)

Salah satu faktor utama yang menyebabkan rendahnya tingkat pemanfaatan Asbuton adalah tingginya biaya distribusi dan kompleksitas sistem logistik. Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki karakteristik geografis yang menyebabkan proses distribusi material

konstruksi menjadi lebih kompleks dibandingkan negara kontinental. Distribusi Asbuton melibatkan produsen, distributor, dan wilayah tujuan yang tersebar di berbagai pulau sehingga memerlukan sistem rantai pasok (*supply chain*) yang terintegrasi. Kompleksitas tersebut mencakup penentuan produsen, distributor, kapasitas pengiriman, serta perancangan rute distribusi yang efisien untuk memenuhi kebutuhan setiap wilayah tujuan.



Gambar 3.
Jaringan Distributor Eksisting Pertamina

Dalam pengelolaan rantai pasok modern, optimasi distribusi menjadi salah satu faktor penting untuk meningkatkan efisiensi operasional dan menekan biaya logistik. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan distribusi adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu metode optimasi yang digunakan untuk menentukan rute distribusi yang lebih efisien sehingga jarak tempuh dan biaya operasional dapat diminimalkan. Untuk menyelesaikan permasalahan VRP yang kompleks, berbagai metode metaheuristik telah dikembangkan, salah satunya *Genetic Algorithm* (Algoritma Genetika/GA) yang banyak digunakan untuk memperoleh solusi distribusi yang mendekati optimal.

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan pendekatan VRP dan GA dalam optimasi sistem distribusi. Penerapan GA pada VRP terbukti mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih optimal dibandingkan rute eksisting (Ibrahim et al., 2021). Selain itu, pendekatan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) yang dikombinasikan dengan GA juga mampu meningkatkan efisiensi distribusi melalui pengurangan biaya operasional serta perbaikan rute pengiriman (Iskandar, 2024). Penerapan CVRP pada distribusi bahan bakar minyak turut menunjukkan peningkatan efisiensi rute dibandingkan sistem distribusi sebelumnya (Hartanti, 2024). Temuan serupa juga ditunjukkan oleh Cahyadi et al. (2025) yang menyatakan bahwa implementasi GA pada CVRP mampu menurunkan biaya operasional, jarak tempuh, dan waktu distribusi secara signifikan.

Penelitian lain menunjukkan bahwa kombinasi GA dan CVRP mampu meningkatkan kualitas solusi distribusi melalui proses pencarian rute yang lebih efektif pada permasalahan logistik yang kompleks (Putri et al., 2021). Selain itu, penerapan GA pada *Periodic Heterogeneous Vehicle Routing Problem* terbukti mampu menghasilkan solusi distribusi yang efisien dengan mempertimbangkan variasi karakteristik armada dan jadwal pengiriman (Khoidir & Garside, 2022). Pendekatan optimasi distribusi berbasis VRP juga tidak hanya berdampak pada penurunan biaya distribusi, tetapi mampu meningkatkan efisiensi jaringan logistik dan utilisasi kapasitas armada pada sistem distribusi berskala besar (Rahman & Siregar, 2022).

Perkembangan pendekatan optimasi distribusi saat ini juga mengarah pada integrasi konsep rantai pasok dan perencanaan rute untuk

meningkatkan efektivitas distribusi secara menyeluruh (Setiawan et al., 2024; Widodo & Permana, 2023). Selain itu, penerapan GA pada jaringan distribusi modern dinilai mampu menghasilkan solusi yang lebih adaptif terhadap perubahan pola permintaan dan kondisi operasional (Pratama & Kusuma, 2024). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa integrasi optimasi kapasitas distribusi dan perencanaan rute dapat meningkatkan efisiensi operasional serta mendukung efektivitas jaringan logistik pada sistem distribusi berskala besar (Nugraha & Maulana, 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada distribusi darat, distribusi perkotaan, maupun distribusi produk tertentu dengan cakupan wilayah yang relatif terbatas. Penelitian yang secara khusus mengkaji optimasi distribusi Asbuton pada skala nasional dengan mempertimbangkan karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya hanya menitikberatkan pada optimasi rute distribusi tanpa mengintegrasikan aspek pemilihan produsen, distributor, kapasitas distribusi, serta kebutuhan masing-masing wilayah tujuan dalam suatu model rantai pasok yang terpadu dan komprehensif.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan model optimasi distribusi Asbuton nasional yang mengintegrasikan pemilihan produsen, distributor, dan rute pengiriman menggunakan pendekatan VRP yang diselesaikan melalui GA. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada optimasi rute distribusi, penelitian ini mempertimbangkan kebutuhan masing-masing provinsi, kapasitas produsen, kapasitas distributor, serta karakteristik distribusi maritim Indonesia dalam satu kerangka optimasi yang terintegrasi.

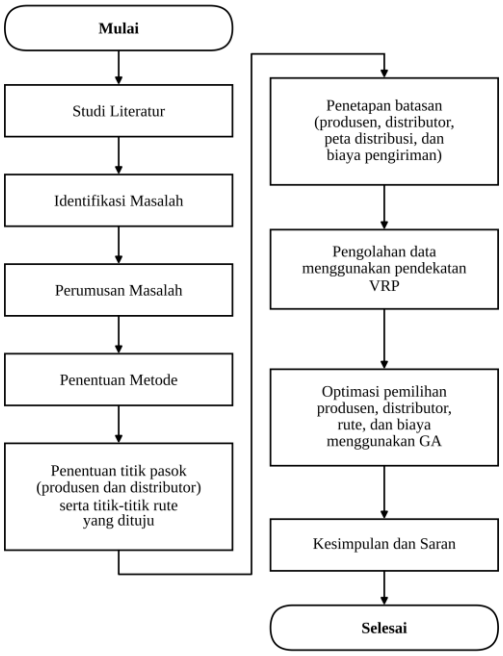
Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya pengiriman dan merancang sistem distribusi Asbuton nasional PT Pertamina (Persero) menggunakan pendekatan VRP dan GA. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan strategis dalam pengelolaan rantai pasok Asbuton nasional, meningkatkan efisiensi distribusi, menurunkan biaya logistik, serta mendukung peningkatan pemanfaatan Asbuton sebagai komoditas strategis nasional dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk mengoptimalkan biaya pengiriman dan merancang sistem distribusi Asbuton nasional PT Pertamina (Persero). Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT Pertamina (Persero), Surat Penugasan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), serta dokumen dan publikasi terkait. Data tersebut meliputi data permintaan Asbuton setiap provinsi, lokasi dan kapasitas produsen, lokasi dan kapasitas distributor, serta data jarak dan biaya pengiriman.

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi permasalahan, pengumpulan data, penentuan produsen, distributor, dan titik tujuan distribusi, serta penetapan batasan penelitian. Selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisis data untuk

memperoleh alternatif jaringan distribusi yang optimal berdasarkan biaya pengiriman, kapasitas distribusi, dan kebutuhan masing-masing wilayah tujuan. Hasil optimasi kemudian digunakan untuk menyusun rancangan sistem distribusi Asbuton nasional yang lebih efisien. Alur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Diagram Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN

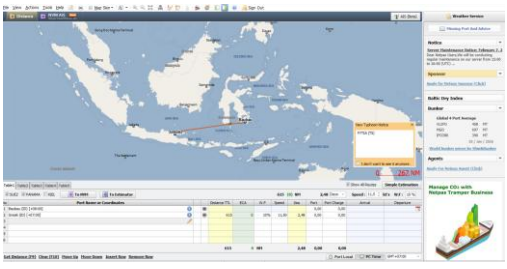
Kompleksitas Maritim Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau yang tersebar pada wilayah perairan yang luas. Karakteristik geografis tersebut menyebabkan transportasi laut menjadi komponen utama dalam sistem distribusi logistik nasional. Dalam distribusi Asbuton nasional, kondisi ini menimbulkan berbagai tantangan, antara lain panjangnya rute pelayaran, variasi waktu tempuh antarwilayah, perbedaan biaya operasional distribusi, serta kebutuhan integrasi antara transportasi laut dan darat untuk menjangkau seluruh wilayah tujuan.

Perhitungan Acuan Jarak dan Referensi Kapal

Perhitungan jarak pelayaran sebagai dasar estimasi biaya distribusi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Netpas Distance*. Perangkat lunak ini digunakan untuk menghitung jarak pelayaran laut dalam satuan *nautical mile* (NM) antara pelabuhan asal dan pelabuhan tujuan berdasarkan jalur pelayaran yang umum digunakan. Hasil perhitungan berupa total jarak pelayaran dan visualisasi rute yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan waktu tempuh dan biaya pengiriman.

Sebagai contoh, perhitungan dilakukan untuk rute pengiriman Asbuton dari Pelabuhan Bau-Bau menuju Pelabuhan Gresik dengan menggunakan parameter *vessel speed* sebesar 11,5 knot dan *weather factor* sebesar 11,5%. Tampilan hasil perhitungan menggunakan *Netpas Distance* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5.
Tampilan Aplikasi *Netpas Distance*

Dalam perhitungan jarak pelayaran, penelitian ini menggunakan dua parameter utama, yaitu *vessel speed* dan *weather factor*. Parameter *vessel speed* ditetapkan sebesar 11,5 knot

dengan mengacu pada spesifikasi kapal KM. ASIKE GLOBAL jenis *mini bulker* yang memiliki kapasitas angkut 5.000–6.000 ton. Sementara itu, *weather factor* digunakan untuk merepresentasikan pengaruh kondisi lingkungan dan cuaca terhadap operasional transportasi laut. Kedua parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan jarak tempuh dan estimasi biaya pengiriman pada setiap rute distribusi.

Untuk memudahkan proses kalkulasi, parameter yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi parameter konstan dan parameter dinamis. Pengelompokan parameter tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.
Perbedaan Parameter Konstan dan Dinamis

Parameter Konstan (Tetap)	Parameter Dinamis (berubah-ubah)
Charter Rate Per Day: 5.500 USD/day	Distance Laden & Ballast: Jarak tempuh dalam Nautical Mile (NM) dengan menggunakan single way, menggunakan angka yang didapat dari simulasi Netpas Distance
Speed Kapal: 11,5 knot	Loading Port Charge (USD) Discharge Port Charge (USD) Mengacu pada biaya di loading port dan discharge port dengan ref. Data Inapotnet Kemenhub
Konsumsi Bahan Bakar Fuel Cons: 10 MT/day MGO: 1 MT/day	Total Voyage Time (Days) waktu tempuh perjalanan.
Harga Bunker Acuan Fuel Price: 451,5 USD/MT MGO Price: 618,5 USD/MT	
Kapasitas Kapal: 5.000 ton	

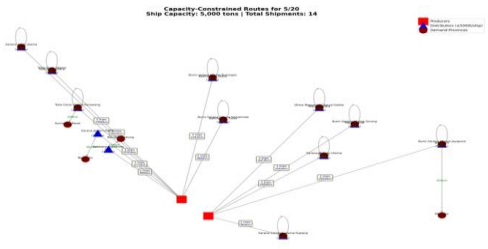
Visualisasi dan Analisis Hasil

Analisis dilakukan pada tiga jenis produk Asbuton, yaitu B5/20, B50/30, dan CPHMA. Hasil optimasi ditampilkan dalam bentuk visualisasi rute distribusi serta perhitungan estimasi biaya pengiriman untuk mengevaluasi efisiensi jaringan distribusi yang dihasilkan dibandingkan dengan kondisi eksisting.

Hasil Optimasi untuk Produk Aspal Buton B5/20

Tabel 2.
Parameter Kapal Acuan KM. ASIKE GLOBAL

Parameter	Nilai
Nama Kapal	KM. ASIKE GLOBAL
Kecepatan Kapal (knot)	11,5
Konsumsi *Fuel* (MT/hari)	10
Konsumsi MGO (MT/hari)	1
Harga Fuel (USD/MT)	452
Harga MGO (USD/MT)	619
Loading Port Charge (USD)	1.000
Discharge Port Charge (USD)	1.000
Weather Factor (%)	12
Kapasitas Kapal (ton)	5.000



Gambar 6.
Hasil Simulasi *Routing* Tipe Produk B5/20 Berdasarkan Kapasitas

Gambar tersebut menampilkan hasil optimasi jaringan distribusi Asbuton B5/20 menggunakan model VRP dengan batas kapasitas kapal sebesar 5.000 ton per perjalanan dan menghasilkan 14 rute pengiriman. Visualisasi jaringan menunjukkan bahwa distribusi Asbuton dioptimalkan melalui kombinasi rute langsung dan rute *multi-drop* dari produsen menuju distributor, kemudian dilanjutkan ke provinsi-provinsi tujuan.

Dua produsen utama yang ditunjukkan sebagai *node* merah berperan sebagai sumber pasokan, sedangkan distributor atau *hub* transit yang ditandai sebagai *node* biru digunakan sebagai titik konsolidasi sebelum distribusi ke wilayah tujuan. Keberadaan *hub* tersebut berperan dalam mengurangi jarak distribusi dan menjaga agar kapasitas angkut transportasi laut tetap berada dalam batas operasional yang ditetapkan. Setiap provinsi tujuan ditampilkan sebagai node coklat yang dihubungkan melalui rute berarah sebagai representasi solusi distribusi optimal berdasarkan jarak, kapasitas kapal, dan jumlah permintaan.

Secara keseluruhan, jaringan rute yang terbentuk menunjukkan konfigurasi rantai pasok yang efisien dan layak diterapkan pada kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, diperoleh hasil optimasi distribusi sebagai berikut:

Tabel 3.
Kalkulasi Simulasi Estimasi *Freight Cost* Tipe Produk B5/20

5/20					Prod–Dist (NM)	*Freight Cost*	Total FC
Province	Demand (ton)	Distributor	Producer	Lokasi Stock			
Maluku	1.274	Sarana Maluku Utama	PT Summitama Intinusa	Mojokerto/Sby	987	25,48	32.467,69
NTT	1.052	Sarana Lombok Utama Kupang	PT Summitama Intinusa	Mojokerto/Sby	756	23,28	24.490,56
Papua Barat	834	Bumi Sarana Utama Sorong	PT Summitama Intinusa	Mojokerto/Sby	1.236	27,62	23.035,08
Jayapura	700	Bumi Sarana Utama Jayapura	PT Summitama Intinusa	Mojokerto/Sby	1.844	32,19	22.533,00
Maluku Utara	637	Dhisa Manunggal Karya Galela	PT Summitama Intinusa	Mojokerto/Sby	1.203	26,71	17.014,27
Sumatera Barat	592	Toba Gena Utama Perawang	PT Aspindo Mutual	Gresik	941	25,11	14.865,12
Merauke	437	Bumi Sarana Utama Jayapura	PT Summitama Intinusa	Mojokerto/Sby	1.683	30,66	13.398,42

Aceh	201	Sarana Aceh Utama	PT Aspindo Mutual	Gresik	1.440	38,63	5.754,63
Sumatera Utara	166	Toba Gena Utama	PT Aspindo Mutual	Gresik	1.117	26,35	4.374,10
Kalimantan Timur	159	Bumi Sarana Utama Samarinda	PT Aspindo Mutual	Gresik	469	21,05	3.346,95
Bangka Belitung	145	Rabbana Aspalindo	PT Aspindo Mutual	Gresik	506	21,18	3.071,10
Bengkulu	99	Sarana Jambi Utama	PT Aspindo Mutual	Gresik	725	23,01	2.277,99
Kalimantan Utara	92	Bumi Sarana Utama Bulungan	PT Aspindo Mutual	Gresik	834	23,29	2.142,68
Riau	53	Toba Gena Utama Perawang	PT Aspindo Mutual	Gresik	934	25,12	1.331,36
			Total FC (USD)				**170.103**
			Total FC (IDR)				**2.806.698.754**

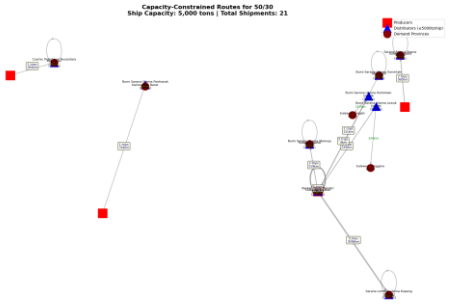
Hasil optimasi menunjukkan adanya perbaikan dibandingkan kondisi eksisting. Optimasi rute yang dilakukan mampu menurunkan jarak tempuh kumulatif distribusi Asbuton B5/20 sebesar 17%, yaitu dari 17.730 NM menjadi 14.684 NM. Penurunan jarak tempuh tersebut berdampak pada peningkatan efisiensi distribusi dengan estimasi penghematan biaya angkutan sebesar IDR 50.000.000.

Hasil Optimasi untuk Produk Aspal Buton B50/30

Optimasi distribusi produk Asbuton B50/30 dilakukan menggunakan parameter yang sama seperti pada produk Asbuton B5/20, dengan mempertahankan parameter konstan dan mempertimbangkan dua parameter dinamis, yaitu jarak dan *port charge*. Berdasarkan proses optimasi tersebut, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.
Perhitungan Biaya Pelayaran KM. ASIKE GLOBAL

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Ballast Leg (days)	0,00	*Loading Port Cost* (USD)	8.352,45	*Fuel Consumption Working* (MT/day)	1,50
Laden Leg (days)	3,59	*Discharge Port Cost* (USD)	6.400,09	*Fuel Consumption Idle* (MT/day)	1,00
Loadport Stay (days)	5,00	*Miscellaneous Cost* (USD)	5.000,00	*Fuel Cost Ballast* (USD)	0,00
TT Load (days)	0,50			*Fuel Cost Laden* (USD)	16.197,56
Discharge Stay (days)	5,00			MGO Laden (USD)	2.218,87
TT Discharge (days)	0,50			*Fuel Cost Loading* (USD)	3.386,25
Total Voyage Days (days)	14,59			*Fuel Cost Discharging* (USD)	3.386,25
				Fuel Cost Waiting (USD)	451,50
Cost of Hire (USD)	80.231,25	*Total Port Costs* (USD)	19.752,54	*Total Fuel Costs* (USD)	25.640,43



Gambar 7.
Hasil Simulasi *Routing* Tipe Produk B50/30 Berdasarkan Kapasitas

Hasil optimasi distribusi Asbuton tipe B50/30 menunjukkan skala pergerakan logistik yang lebih besar dibandingkan tipe produk lainnya. Hal ini tercermin dari total permintaan sebesar 291.309 ton yang didistribusikan ke sembilan provinsi melalui 21 *shipment* dan total 69 pelayaran pada segmen produsen–distributor. Sebanyak empat produsen dan sembilan distributor terlibat dalam jaringan distribusi tersebut, dengan konsentrasi distribusi terbesar terjadi pada Berkah Mulia Mandiri dan Sarana Lombok Utama Kupang yang masing-masing menangani permintaan sebesar 113.641 ton, membutuhkan lima kali pelayaran, dan menghasilkan tingkat utilisasi kapal sebesar 454,6% akibat tingginya akumulasi permintaan.

Selain itu, distributor Bumi Sarana Utama Luwuk, Sarana Bitung Utama, dan Bumi Sarana Utama Mamuju mencatat permintaan pada kisaran 15–20 ribu ton dengan kebutuhan dua kali perjalanan dan tingkat utilisasi sebesar 150–199%. Sebaliknya, distributor seperti Bumi Sarana Utama Pontianak dan Cosmic Petroleum Nusantara hanya melayani permintaan sebesar 111–135 ton dengan

utilisasi kapal sebesar 2–3%, yang menunjukkan adanya ketimpangan distribusi antardaerah. Sebagian besar provinsi tujuan, seperti Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Utara, memiliki permintaan lebih dari 5.000 ton sehingga memerlukan pengiriman bertahap antara dua hingga lima *shipment*.

Secara keseluruhan, total jarak distribusi mencapai 22.577 km dengan rata-rata utilisasi muatan sebesar 75%, yang menunjukkan tingkat efisiensi lebih baik dibandingkan skenario distribusi produk lainnya. Tingginya permintaan pada beberapa wilayah memungkinkan kapal beroperasi mendekati kapasitas optimal pada sebagian besar rute distribusi. Detail hasil optimasi distribusi disajikan pada Tabel 5.

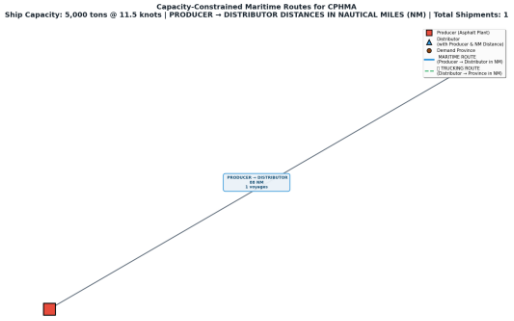
Tabel 5.
Kalkulasi Simulasi *Freight Cost* Tipe Produk B50/30

Province	Demand (ton)	Distributor	Producer	Lokasi Stock	Prod–Dist (NM)	Freight Cost	Total FC
Sulawesi Selatan	22.728	Berkah Mulia Mandiri	PT Asbuton Jaya Abadi	Makassar	0	0,00	0
Sulawesi Tenggara	9.944	Bumi Sarana Utama Luwuk	PT Buton Aspal Nasional	Kendari	197	17,88	177.847,63
Sulawesi Utara	7.860	Sarana Bitung Utama	PT Buton Aspal Nasional	Kendari	369	19,34	151.947,80
Sulawesi Barat	7.513	Bumi Sarana Utama Mamuju	PT Asbuton Jaya Abadi	Makassar	180	18,44	138.522,97
Sulawesi Tengah	5.385	Bumi Sarana Utama Pantoloan	PT Asbuton Jaya Abadi	Palu	0	0,00	0
Gorontalo	2.378	Bumi Sarana Utama Gorontalo	PT Buton Aspal Nasional	Kendari	196	17,81	42.356,89
Kalimantan Barat	135	Bumi Sarana Utama Pontianak	PT Mastic Utama Sarana	Jakarta	491	20,83	2.812,33
Kep. Riau	111	Cosmic Petroleum Nusantara	PT Bumi Mulya Perkasa	Jakarta	880	24,10	2.674,79
			Total FC (USD)				516.189,41
			Total FC (IDR)				8.517.125.236,63

Hasil optimasi ini menunjukkan perbaikan dibandingkan kondisi eksisting, di mana optimasi rute distribusi Asbuton B50/30 mampu menurunkan jarak tempuh secara kumulatif sebesar 50%, dari sebelumnya 4.630 NM menjadi 2.313 NM. Penurunan jarak distribusi tersebut menghasilkan efisiensi biaya distribusi sebesar IDR 9,5 miliar. Produk B50/30 memiliki tingkat permintaan terbesar dan cakupan distribusi paling luas sehingga total jarak distribusi menjadi sangat signifikan, terutama menuju wilayah Indonesia Timur seperti Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara Timur yang memiliki jarak suplai lebih dari 1.400–2.800 km dari lokasi produsen. Kondisi tersebut menyebabkan biaya logistik meningkat, waktu pengiriman menjadi lebih panjang, serta meningkatkan risiko keterlambatan distribusi.

Dari sisi manajerial, hasil ini menunjukkan perlunya strategi distribusi berbasis wilayah melalui pembentukan *regional hub* pada lokasi yang berdekatan untuk mempersingkat rute distribusi melalui konsolidasi muatan. Selain itu, perusahaan perlu memperkuat perencanaan armada melalui pemilihan kapal atau moda transportasi yang lebih efektif serta penyusunan jadwal distribusi berdasarkan pola permintaan tiap provinsi. Mengingat produk B50/30 berperan sebagai substitusi aspal minyak, peningkatan efisiensi distribusi menjadi faktor strategis dalam mendukung peningkatan pemanfaatan Asbuton secara nasional.

Hasil Optimasi untuk Produk Aspal Buton CPHMA



Gambar 8.
Hasil Simulasi Routing Tipe Produk CPHMA Berdasarkan Kapasitas

Distribusi Asbuton tipe CPHMA menunjukkan konfigurasi jaringan yang relatif sederhana karena hanya melibatkan satu provinsi tujuan, satu distributor, dan satu produsen, sehingga keseluruhan proses distribusi berlangsung dalam satu kali pengiriman yang masih berada dalam batas kapasitas kapal sebesar 5.000 ton. Distributor Sarana Lombok Utama menerima total permintaan sebesar 560 ton dengan kebutuhan satu kali pelayaran dan tingkat utilisasi kapal sebesar 11,2%, yang menunjukkan beban distribusi relatif kecil serta belum memerlukan konsolidasi muatan tambahan. Total tonase yang diangkut menempuh jarak distribusi sebesar 162 km termasuk perjalanan kembali, sehingga rute ini menjadi salah satu rute yang paling efisien dari sisi jarak, meskipun belum optimal dalam pemanfaatan kapasitas armada. Dengan hanya satu kali perjalanan pada segmen produsen–distributor, struktur distribusi CPHMA dapat dikategorikan sebagai rute berkapasitas rendah yang mudah dioperasikan dan memiliki kompleksitas distribusi yang rendah.

Tabel 6.
Kalkulasi Simulasi Estimasi *Freight Cost* Tipe Produk CPHMA

CPHMA				Prod – Dist (NM)	Freight Cost	Total FC
Province	Demand (ton)	Distributor	Producer			
NTB	560	Sarana Lombok Utama	PT Putindo Bintech	273	19,32	10.821,10
Total FC (IDR)						178.548.127

Dengan hanya satu trip yang diperlukan pada segmen produsen terhadap distributor, struktur distribusi CPHMA dapat dikategorikan sebagai rute berkapasitas rendah yang mudah dioperasikan dan bebas kompleksitas, namun berpotensi ditingkatkan melalui strategi penggabungan beban apabila dipandang perlu dalam konteks efisiensi operasional jangka panjang.

PEMBAHASAN

Hasil optimasi menunjukkan bahwa produk Asbuton B50/30 menghasilkan performa distribusi yang lebih baik dibandingkan produk B5/20, ditunjukkan oleh penurunan jarak distribusi yang lebih besar serta tingkat utilisasi armada yang lebih tinggi. Produk B50/30 mengalami penurunan jarak tempuh kumulatif sebesar 50%, sedangkan produk B5/20 hanya sebesar 17%. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh besarnya volume permintaan dan tingkat konsolidasi distribusi pada masing-masing produk. Semakin besar volume distribusi yang dapat dikonsolidasikan dalam satu rute, semakin tinggi utilisasi kapasitas kapal dan semakin rendah biaya distribusi per satuan produk. Temuan ini sejalan dengan penelitian Iskandar (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan utilisasi kapasitas transportasi merupakan salah satu faktor utama dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi.

Selain menghasilkan pengurangan jarak distribusi, produk B50/30 juga menunjukkan rata-rata utilisasi kapasitas armada sebesar 75%, jauh lebih tinggi dibandingkan produk B5/20 yang hanya mencapai 9,2%. Tingginya utilisasi tersebut menunjukkan bahwa pengalokasian muatan yang lebih terpusat mampu memaksimalkan penggunaan kapasitas kapal dan mengurangi frekuensi pelayaran yang kurang efisien. Kondisi ini sesuai dengan penelitian Hartanti (2024) yang menunjukkan bahwa optimalisasi kapasitas angkut berpengaruh terhadap penurunan biaya operasional distribusi dan peningkatan efisiensi rute pengiriman. Dari sisi jaringan distribusi, penerapan VRP dan GA mampu menghasilkan konfigurasi rute yang lebih efisien dibandingkan kondisi eksisting melalui identifikasi kombinasi produsen, distributor, dan wilayah tujuan yang memberikan biaya distribusi lebih rendah. Temuan ini mendukung penelitian Putri et al. (2021) yang menunjukkan bahwa penerapan GA pada sistem distribusi mampu menghasilkan solusi rute yang lebih optimal dibandingkan pendekatan konvensional.

Secara manajerial, hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi konsolidasi distribusi dan pemanfaatan distributor sebagai titik penghubung (*hub*) berperan penting dalam

meningkatkan efisiensi rantai pasok Asbuton nasional. Pengelompokan wilayah berdasarkan kedekatan geografis dan tingkat permintaan mampu mengurangi jarak tempuh distribusi serta meningkatkan utilisasi armada. Oleh karena itu, model yang dikembangkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan distribusi yang lebih efektif dan berkelanjutan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ikhwana et al. (2025) yang menunjukkan bahwa optimasi rute distribusi dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung pengambilan keputusan logistik. Selain itu, optimasi jaringan logistik juga berkontribusi terhadap penurunan biaya operasional dan peningkatan efisiensi sistem distribusi (Ramadhan et al., 2023). Pada konteks distribusi maritim, pemanfaatan kapasitas transportasi secara optimal menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi distribusi secara berkelanjutan (Saputra et al., 2024; Yuliana & Kurniawan, 2025).

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang model optimasi distribusi Asbuton nasional PT Pertamina (Persero) menggunakan pendekatan VRP dan GA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mampu menghasilkan jaringan distribusi yang lebih efisien melalui penentuan produsen, distributor, dan rute pengiriman yang optimal sesuai dengan kebutuhan masing-masing wilayah. Penerapan model ini berpotensi meningkatkan efisiensi sistem rantai pasok Asbuton nasional serta mendukung pengambilan keputusan distribusi yang lebih efektif, terintegrasi, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Cahyadi, U., Taptajani, D. S., & Mustika, L. (2025). Penentuan Rute Pengiriman pada Distribusi Produk dengan Pendekatan Capacitated Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Kalibrasi*, *23*(2). https://jurnal.itg.ac.id/index.php/kalibrasi/article/view/1978

Hartanti, S. (2024). Optimasi Rute Distribusi Pengiriman Bahan Bakar Minyak dengan Capacitated Vehicle Routing Problem. *Jurnal Aplikasi Ilmu Teknik Industri*, *5*(1), 14–23. https://journal.univetbantara.ac.id/index.php/japti/article/view/5129

Ibrahim, M. F., Putri, M. M., & Farista, D. (2021). An Improved Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem Pick-up and Delivery with Time Windows. *Jurnal Teknik Industri*, *22*(1), 1–17. https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol22.No1.1-17

Ikhwana, A., Pratama, R., & Kurniawan, D. (2025). Optimasi Rute Pendistribusian Bahan Bakar Minyak ke SPBU Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Kalibrasi*, *23*(2). https://jurnal.itg.ac.id/index.php/kalibrasi/article/view/2086

Iskandar, Y. (2024). Optimasi Rute Pendistribusian Produk Pelumas Kendaraan Menggunakan Capacitated Vehicle Routing Problem dan Genetic Algorithm. *Jurnal Logistik Indonesia*, *8*(1). https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/logistik/article/view/37329

Khoidir, A., & Garside, A. K. (2022). A Genetic Algorithm for Solving

Periodic Heterogeneous Vehicle Routing Problem. *Jurnal Teknik Industri*, *23*(2), 121–132. https://ejournal.umm.ac.id/index.php/industri/article/view/18453

Nugraha, P., & Maulana, A. (2023). Routing Optimization and Capacity Planning in Logistics Networks. *Operations Research Journal*, *7*(3), 140–152. https://journal.itb.ac.id

Pratama, D., & Kusuma, B. (2024). Genetic Algorithm Application for Transportation Cost Minimization. *Journal of Industrial Systems*, *9*(1), 55–69. https://journal.uii.ac.id

Putri, K. A., Rachmawati, N. L., Lusiani, M., & Redi, A. A. N. P. (2021). Genetic Algorithm with Cluster-first Route-second to Solve the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows: A Case Study. *Jurnal Teknik Industri*, *23*(1), 75–82. https://doi.org/10.9744/jti.23.1.75-82

Rahman, A., & Siregar, H. (2022). Vehicle Routing Problem Implementation in Distribution Planning. *Jurnal Teknik Industri*, *24*(2), 88–100. https://journal.ugm.ac.id

Ramadhan, F., Suryadi, A., & Hidayat, R. (2023). Supply Chain Optimization in Maritime Logistics Networks. *Journal of Maritime Logistics*, *10*(1), 44–57. https://journal.unair.ac.id

Saputra, M., Hidayat, F., & Nugroho, R. (2024). Maritime Supply Chain Optimization for Distribution Efficiency. *Journal of Maritime Studies*, *13*(1), 35–49. https://journal.its.ac.id

Setiawan, D., Nugroho, A., & Firmansyah, R. (2024). Optimization of Distribution Networks Using Vehicle Routing Problem Approach. *International Journal of Industrial Optimization*, *6*(2), 101–112. https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijio

Widodo, A., & Permana, D. (2023). Logistics Network Optimization Using Vehicle Routing Problem Approach. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *15*(2), 88–101. https://journal.uii.ac.id

Yuliana, T., & Kurniawan, M. (2025). Maritime Distribution Optimization Using Genetic Algorithm. *Journal of Logistics Engineering*, *11*(1), 1–15. https://journal.its.ac.id