

BAB I

PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi gambaran topik penelitian yang terdiri atas latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah.

1. 1 Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan global yang memberikan dampak signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan kehidupan sosial. Fenomena ini ditandai dengan meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat akumulasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), peningkatan konsentrasi gas rumah kaca terutama disebabkan oleh aktivitas manusia, khususnya penggunaan bahan bakar fosil pada sektor energi, industri, dan transportasi. Kondisi tersebut menyebabkan meningkatnya emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O), yang menjadi penyebab utama terjadinya pemanasan global. Oleh karena itu, berbagai negara mulai menerapkan strategi mitigasi melalui pengurangan emisi gas rumah kaca, peningkatan efisiensi energi, serta pengembangan sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan sebagai upaya mendukung pembangunan berkelanjutan (Calvin et al., 2023).

Sejalan dengan kondisi global tersebut, Indonesia juga menghadapi tantangan dalam menekan peningkatan emisi gas rumah kaca, khususnya pada sektor energi dan transportasi. Pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan aktivitas ekonomi, serta tingginya kebutuhan distribusi barang dan energi menyebabkan konsumsi bahan bakar fosil terus mengalami peningkatan. Berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020), sektor energi merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar di Indonesia, sedangkan sektor transportasi memberikan kontribusi yang signifikan karena masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar minyak. Oleh sebab itu, pemerintah terus mendorong peningkatan efisiensi sistem transportasi dan distribusi sebagai bagian dari upaya mendukung target *Net Zero Emission* (NZE) 2060. Dalam konteks tersebut, sistem distribusi yang efisien tidak

hanya mampu menekan biaya operasional perusahaan, tetapi juga berkontribusi terhadap penurunan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca.

PT Pertamina Patra Niaga Region V merupakan salah satu perusahaan yang memiliki peran strategis dalam menjamin ketersediaan pasokan bahan bakar minyak (BBM) di wilayah Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara. Aktivitas distribusi dilakukan menggunakan armada mobil tangki yang menghubungkan terminal BBM dengan stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU). Berdasarkan hasil observasi di PT Pertamina Patra Niaga Region V Integrated Terminal Surabaya, perusahaan mengoperasikan sekitar 340-unit mobil tangki untuk keseluruhan wilayah dengan kapasitas angkut yang bervariasi, yaitu 16 KL, 24 KL, 32 KL, dan 40 KL. Khusus wilayah Surabaya, aktivitas distribusi melayani sekitar 90 SPBU dengan frekuensi pengiriman yang tinggi setiap hari. Tingginya intensitas distribusi tersebut menunjukkan bahwa aktivitas operasional perusahaan memerlukan konsumsi energi yang besar sehingga berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca dalam jumlah yang signifikan.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, proses penentuan rute distribusi BBM pada kondisi eksisting masih dilakukan berdasarkan pengalaman operator serta kedekatan lokasi SPBU tanpa menggunakan pendekatan optimasi secara matematis. Pendekatan tersebut menyebabkan beberapa kendaraan masih melakukan pola perjalanan *backtracking*, yaitu kendaraan kembali melewati jalur yang sama atau mengunjungi SPBU yang tidak berada pada urutan perjalanan paling efisien. Kondisi tersebut mengakibatkan total jarak tempuh kendaraan menjadi lebih panjang dibandingkan jarak minimum yang seharusnya dapat dicapai. Selain meningkatkan waktu distribusi, pola perjalanan yang kurang optimal juga menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar kendaraan operasional sehingga berdampak pada meningkatnya biaya distribusi dan emisi gas rumah kaca.

Untuk menggambarkan kondisi tersebut, perusahaan memiliki pola rute distribusi eksisting yang menunjukkan bahwa beberapa kendaraan masih melayani titik distribusi dengan urutan yang kurang efisien. Pola pelayanan tersebut mengindikasikan bahwa proses penentuan rute belum mempertimbangkan pendekatan optimasi yang mampu meminimalkan jarak tempuh kendaraan. Akibatnya, kendaraan memerlukan perjalanan yang lebih panjang dibandingkan

kondisi optimal sehingga konsumsi bahan bakar dan emisi karbon yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Tabel 1.1 Rute *Eksisting*

Rute	Rute Pengiriman	Jarak Tempuh (km)
1	DEPOT – 5160177 – 5460272 – 54601101 – 5460105 – 5160165 – 5460199 – 5460195 – DEPOT	83,4
2	DEPOT – 53601125 – 54601102 – 54601109 – DEPOT	35,3
3	DEPOT – 53601125 – 5460269 – 5460120 – 5460195 – 5160165 – 5160177 – 5 460245 – DEPOT	73,5
4	DEPOT – 5460134 – 5460135 – 5460194 – DEPOT	31,7
5	DEPOT – 54601115 – 5460252 – DEPOT	48,9

(Sumber : PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Surabaya)

Besarnya jarak tempuh kendaraan distribusi berpengaruh langsung terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan operasional. Semakin panjang jarak yang ditempuh, semakin besar volume bahan bakar solar yang digunakan selama proses distribusi. Berdasarkan data operasional PT Pertamina Patra Niaga Region V tahun 2025, total konsumsi bahan bakar solar armada distribusi mencapai 7.773.947 liter, dengan rata-rata penggunaan lebih dari 600.000 liter setiap bulan. Tingginya konsumsi bahan bakar tersebut menunjukkan bahwa aktivitas distribusi BBM merupakan salah satu sumber penggunaan energi terbesar pada kegiatan operasional perusahaan. Dalam kerangka *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol), pembakaran bahan bakar kendaraan operasional termasuk dalam kategori *Scope 1*, yaitu emisi langsung (*direct emissions*) yang berasal dari sumber yang dimiliki atau dikendalikan perusahaan (WRI & WBCSD, 2004). Dengan demikian, peningkatan jarak tempuh kendaraan tidak hanya berdampak terhadap biaya operasional, tetapi juga meningkatkan jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama proses distribusi.

Tabel 1.2 Penggunaan Bahan Bakar Minyak

	LOKASI	Bulan	Jumlah (Liter)
1	TBBM Surabaya	January 2025	625.338,58
2	TBBM Surabaya	February 2025	575.560,50
3	TBBM Surabaya	March 2025	630.401,14
4	TBBM Surabaya	April 2025	628.210,00
5	TBBM Surabaya	May 2025	626.184,00
6	TBBM Surabaya	June 2025	626.394,04
7	TBBM Surabaya	July 2025	673.964,70
8	TBBM Surabaya	August 2025	736.725,03
9	TBBM Surabaya	September 2025	645.648,95
10	TBBM Surabaya	October 2025	679.109,96
11	TBBM Surabaya	November 2025	640.025,10
12	TBBM Surabaya	December 2025	686.385,00
TOTAL			7.773.947,00

(Sumber : PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Surabaya)

Besarnya konsumsi bahan bakar kendaraan distribusi yang berdampak pada peningkatan emisi gas rumah kaca menunjukkan bahwa perusahaan memerlukan sistem distribusi yang lebih efisien. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengoptimalkan rute distribusi sehingga total jarak tempuh kendaraan dapat diminimalkan. Dalam bidang logistik, permasalahan tersebut dikenal sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu permasalahan optimasi yang bertujuan menentukan rute terbaik bagi sejumlah kendaraan untuk melayani seluruh pelanggan dengan mempertimbangkan berbagai kendala, seperti kapasitas kendaraan, permintaan pelanggan, dan jarak tempuh. Optimasi rute yang berhasil menurunkan total jarak perjalanan secara langsung akan mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan sehingga emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama proses distribusi juga dapat ditekan (Toth & Vigo, 2021).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP), salah satunya adalah Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*). Algoritma Genetika merupakan metode optimasi berbasis metaheuristik yang bekerja melalui mekanisme seleksi, *crossover*, dan mutasi untuk memperoleh solusi terbaik dari sejumlah alternatif solusi yang dibangkitkan secara iteratif. Metode ini banyak digunakan pada permasalahan optimasi kombinatorial karena mampu mengeksplorasi ruang solusi yang luas dan menghasilkan solusi yang mendekati optimum dalam waktu komputasi yang relatif

efisien. Oleh karena itu, Algoritma Genetika dinilai sesuai untuk diterapkan pada optimasi rute distribusi BBM yang memiliki karakteristik jaringan distribusi cukup kompleks dengan banyak titik pelayanan SPBU.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas optimasi rute distribusi menggunakan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dan Algoritma Genetika untuk meningkatkan efisiensi distribusi (Indrianti et al., 2025). Penelitian lain juga telah mengkaji pengukuran emisi karbon pada aktivitas distribusi menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) maupun *Greenhouse Gas Protocol* (Alqindy et al., 2024). Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada aspek optimasi rute atau pengukuran emisi secara terpisah. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan perhitungan emisi *Scope 1* menggunakan *Greenhouse Gas Protocol* dengan optimasi rute distribusi BBM menggunakan Algoritma Genetika. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut sehingga diperoleh sistem distribusi yang lebih efisien sekaligus mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca.

Berdasarkan kondisi eksisting perusahaan, tingginya konsumsi bahan bakar kendaraan distribusi serta belum optimalnya penentuan rute menyebabkan perlunya upaya peningkatan efisiensi operasional sekaligus pengurangan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung besarnya emisi gas rumah kaca *Scope 1* pada aktivitas distribusi BBM menggunakan *Greenhouse Gas Protocol*, mengoptimalkan alokasi kendaraan dan rute distribusi menggunakan Algoritma Genetika, serta menganalisis penurunan emisi yang dihasilkan setelah penerapan rute usulan dibandingkan dengan kondisi eksisting.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi secara teoritis dan praktis. Secara teoritis, penelitian ini memperkaya kajian mengenai integrasi *Greenhouse Gas Protocol* dan Algoritma Genetika dalam optimasi sistem distribusi BBM yang berorientasi pada efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan. Secara praktis, hasil penelitian dapat menjadi rekomendasi bagi PT Pertamina Patra Niaga Region V Integrated Terminal Surabaya dalam menyusun rute distribusi yang lebih efisien sehingga mampu menurunkan konsumsi bahan bakar emisi gas rumah kaca.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat dalam penelitian ini berdasarkan latar belakang di atas yaitu sebagai berikut:

1. Berapa besar emisi gas rumah kaca *Scope 1* yang dihasilkan dari aktivitas distribusi BBM pada kondisi eksisting?
2. Bagaimana hasil optimasi alokasi dan rute distribusi BBM menggunakan metode Algoritma Genetika?
3. Berapa besar penurunan emisi gas rumah kaca yang diperoleh setelah penerapan hasil optimasi dibandingkan kondisi eksisting?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini terdiri dari beberapa tujuan antara lain sebagai berikut:

1. Menghitung emisi GRK *Scope 1* menggunakan *GHG Protocol* pada aktivitas distribusi BBM di PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Surabaya.
2. Menentukan alokasi dan rute distribusi optimal menggunakan metode Algoritma Genetika pada PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Surabaya.
3. Menganalisis penurunan emisi sebelum dan sesudah optimasi distribusi pada PT Pertamina Patra Niaga Integrated Terminal Surabaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan beberapa manfaat, baik secara akademik maupun praktis, antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan dasar ilmiah dalam penerapan *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)* untuk pengukuran dan pengelolaan emisi karbon di sektor distribusi energi, khususnya di Pertamina Patra Niaga Region V *Integrated Terminal* Surabaya.
2. Menyediakan data kuantitatif terkait besarnya emisi gas rumah kaca (*Scope 1*) yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perumusan strategi efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon.
3. Mendukung kebijakan pemerintah dalam pencapaian target *Net Zero Emission (NZE) 2060* melalui peningkatan akurasi pengukuran dan transparansi pelaporan emisi di sektor energi.

4. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik industri, khususnya dalam kajian manajemen rantai pasok berkelanjutan dan analisis jejak karbon berbasis data.
5. Memberikan solusi optimasi terintegrasi antara alokasi kendaraan dan rute distribusi menggunakan pendekatan Algoritma Genetika dalam sistem distribusi BBM.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini tersusun atas beberapa batasan antara lain sebagai berikut:

1. Pengukuran emisi GRK hanya mencakup *Scope 1* sesuai *GHG Protocol*.
2. Fokus penelitian pada distribusi BBM di wilayah kerja Pertamina Region V *Integrated Terminal* wilayah Surabaya.
3. Data penggunaan BBM yang digunakan berasal dari periode operasional tahun 2025.
4. Optimasi distribusi dilakukan dengan mempertimbangkan alokasi kendaraan dan rute distribusi menggunakan Algoritma Genetika berdasarkan parameter yang ditentukan dalam penelitian.

1.6 Asumsi Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa asumsi yang digunakan agar proses analisis dan pengolahan data dapat berjalan secara terarah dan konsisten, antara lain sebagai berikut:

1. Data aktivitas operasional distribusi BBM (seperti konsumsi bahan bakar, jarak tempuh) yang diperoleh dari Pertamina Patra Niaga Region V *Integrated Terminal* Surabaya pada bulan Oktober 2025 dianggap mewakili kondisi aktual selama periode penelitian.
2. Seluruh kendaraan tangki BBM yang beroperasi diasumsikan memiliki kondisi mesin dan efisiensi bahan bakar yang relatif sama, sehingga perbedaan performa kendaraan tidak memengaruhi hasil perhitungan emisi secara signifikan.
3. Tidak terdapat gangguan operasional besar (seperti pemadaman listrik, bencana alam, atau perubahan sistem logistik) selama periode penelitian yang dapat memengaruhi data aktivitas distribusi dan hasil estimasi emisi karbon.

4. Parameter dalam Algoritma Genetika seperti ukuran populasi, probabilitas *crossover*, probabilitas mutasi, dan jumlah iterasi diasumsikan tetap selama proses optimasi.