

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Angkutan barang di Indonesia didominasi oleh penggunaan truk sebagai moda transportasi utama. Truk menawarkan fleksibilitas tinggi dalam distribusi barang, khususnya untuk rute jarak menengah hingga pendek yang menghubungkan pusat produksi, pelabuhan, dan pasar. Sebagai tulang punggung distribusi logistik, truk mencakup sekitar 90% dari total volume angkutan barang di Indonesia. Namun, dominasi ini juga menimbulkan tantangan signifikan, terutama pada koridor-koridor logistik utama seperti Makassar-Parepare, yang menjadi jalur strategis untuk distribusi barang di Sulawesi Selatan.

Permasalahan yang dihadapi dalam angkutan barang menggunakan truk mencakup aspek teknis dan non-teknis. Secara teknis, kondisi infrastruktur jalan yang terbatas dan sering mengalami kerusakan memperlambat waktu tempuh dan meningkatkan biaya operasional. Selain itu, penggunaan truk berkapasitas besar sering kali menyebabkan kelebihan beban, yang tidak hanya merusak jalan tetapi juga berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan. Secara non-teknis, tantangan seperti kemacetan, emisi gas rumah kaca, dan ketidakpastian biaya bahan bakar menjadi faktor utama yang mempengaruhi efisiensi dan keberlanjutan moda ini.

Dalam konteks ini, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengintegrasikan moda transportasi yang lebih efisien, andal, dan ramah lingkungan. Sistem *Rollende Landstarsse / Rolling Highway* (ROLA), yang menggabungkan moda kereta api dan truk, dapat menjadi solusi inovatif. Sistem ini memungkinkan truk untuk diangkut menggunakan kereta api pada bagian tertentu dari rute, sehingga mengurangi beban jalan dan meningkatkan efisiensi operasional. Meskipun telah diimplementasikan di beberapa negara, studi mengenai kelayakan dan penerapan ROLA dalam konteks Indonesia, khususnya pada koridor Makassar-Parepare, masih sangat terbatas. Kesenjangan penelitian inilah yang penting untuk teliti.

Transisi transportasi truk ke sistem kereta api, khususnya melalui ROLA, menghadirkan peluang signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan transportasi barang. Pergeseran ini didorong oleh keunggulan komparatif transportasi kereta api, termasuk emisi karbon yang lebih rendah dan kapasitas yang lebih tinggi untuk angkutan massal, yang sangat penting dalam mengatasi tantangan lingkungan yang terkait dengan transportasi jalan raya.

Transportasi kereta api dikenal karena efisiensi energinya dan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan transportasi jalan raya. Liu mengungkapkan bahwa mengalihkan angkutan dari jalan raya ke kereta api dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon, karena kereta api dapat menangani volume barang yang lebih besar dengan konsumsi energi yang lebih sedikit per ton-mil (Liu et al., 2017). Pernyataan ini didukung oleh Gao, yang menekankan bahwa transportasi kereta api memiliki keunggulan komparatif dalam konservasi energi dan

perlindungan lingkungan, khususnya melalui penggunaan sumber energi terbarukan (Gao, 2019). Lebih jauh, studi empiris telah menunjukkan bahwa transportasi multimoda, yang mencakup integrasi sistem kereta api dan jalan raya, dapat menghasilkan penghematan biaya yang substansial dan manfaat lingkungan (Sun & Lang, 2015). Temuan dari studi ini menggarisbawahi perlunya pengembangan sistem intermodal yang memanfaatkan kekuatan transportasi kereta api dan jalan raya.

Sistem ROLA merupakan contoh pendekatan inovatif untuk transportasi barang intermodal, yang memfasilitasi pemindahan truk gandeng ke kereta api tanpa hambatan. Sistem ini tidak hanya mengurangi kemacetan jalan raya tetapi juga meningkatkan kecepatan dan keandalan pengiriman barang jarak jauh. Liang dkk. mencatat bahwa meningkatnya kemacetan di jaringan jalan raya memerlukan solusi transportasi alternatif, seperti kereta api berkecepatan tinggi, yang dapat menangani barang secara efisien sekaligus meminimalkan konsumsi energi (Liang et al., 2016). Selain itu, integrasi transportasi barang perkotaan dengan jaringan kereta api penumpang telah terbukti mengoptimalkan logistik dan mengurangi jejak karbon keseluruhan dari operasi pengiriman barang (Behiri et al., 2018). Dengan demikian, sistem ROLA dapat dilihat sebagai respons strategis terhadap meningkatnya permintaan akan solusi transportasi barang yang efisien.

Selain itu, penerapan ROLA dapat didukung lebih lanjut oleh kemajuan dalam teknologi informasi dan komunikasi (TIK), yang dapat memperlancar operasi dan meningkatkan pemberian layanan di sektor pengiriman barang. Evangelista dan Sweeney membahas bagaimana adopsi TIK dalam industri logistik dapat meningkatkan efisiensi operasional dan layanan pelanggan, sehingga memberikan keunggulan kompetitif (Evangelista & Sweeney, 2014). Integrasi analisis big data dalam jaringan transportasi multimoda, seperti yang dieksplorasi oleh Wang dan Fu, juga dapat memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih baik terkait perencanaan rute dan alokasi sumber daya (Wang & Fu, 2022). Kemajuan teknologi ini penting untuk mengoptimalkan kinerja sistem intermoda seperti ROLA. Penelitian-penelitian ini menjadi dasar untuk mengeksplorasi implementasi sistem serupa di Indonesia, khususnya pada koridor logistik strategis seperti Makassar-Parepare. Namun, sejauh ini, studi yang mengkaji prospek penerapan ROLA dari perspektif operator truk masih sangat terbatas.

Saat ini telah dibangun jalur kereta api Trans Sulawesi, khususnya segmen Makassar-Parepare, merupakan proyek strategis yang bertujuan meningkatkan konektivitas wilayah dan mendorong efisiensi logistik. Dengan panjang jalur 145 kilometer, proyek ini dirancang untuk mendukung pengangkutan penumpang dan barang. Dalam konteks angkutan barang, jalur kereta api ini memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada moda truk, mengurangi emisi karbon, dan meningkatkan kapasitas angkut. Dampak positif ini akan semakin signifikan jika sistem ROLA dapat diintegrasikan, yang memungkinkan pengangkutan barang yang lebih cepat dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prospek pengalihan angkutan barang dari truk ke kereta api dengan sistem ROLA pada koridor Makassar-

Parepare. Fokus utama penelitian adalah mengevaluasi kelayakan sistem ROLA dari perspektif operator truk. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan wawasan teoretis, tetapi juga menawarkan panduan praktis bagi para pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan strategis.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk mengatasi permasalahan transportasi barang di Sulawesi Selatan, yang merupakan salah satu pusat pertumbuhan ekonomi di Indonesia bagian timur. Dengan meningkatnya volume barang yang diangkut seiring pertumbuhan ekonomi, koridor Makassar-Parepare menghadapi tekanan besar dalam hal kapasitas dan keberlanjutan infrastruktur transportasi. Implementasi sistem ROLA tidak hanya akan mengurangi beban jalan dan meningkatkan efisiensi logistik, tetapi juga memberikan solusi jangka panjang untuk mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Sulawesi Selatan, sebagai salah satu provinsi yang sedang berkembang pesat, menghadapi tantangan signifikan dalam sektor logistik dan transportasi, terutama pada rute Makassar-Parepare. Rute ini berfungsi sebagai jalur utama untuk angkutan barang, namun tingginya volume truk yang melintas menyebabkan beban jalan yang berlebih. Hal ini berimplikasi pada kerusakan infrastruktur jalan, kemacetan, dan peningkatan emisi karbon, yang menjadi masalah serius bagi pemerintah dan masyarakat (Mansyur, 2021; Yunita, 2022). Dalam upaya mengatasi masalah ini, pemerintah menginisiasi sistem *Rollende Landstrasse / Rolling Highway* (ROLA) sebagai solusi untuk memindahkan angkutan barang dari jalan raya ke jalur kereta api. Sistem ROLA diharapkan dapat mengurangi beban jalan, meningkatkan efisiensi distribusi, dan mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh transportasi darat yang berlebihan. Penelitian menunjukkan bahwa pemindahan angkutan barang ke sistem kereta api, seperti yang diusulkan dalam ROLA, dapat mengurangi emisi karbon secara signifikan dan memperbaiki kondisi infrastruktur jalan (Alfi, 2023; Mansyur, 2021). Urgensi penelitian ini muncul dari kebutuhan untuk mengeksplorasi potensi pemindahan angkutan truk ke sistem kereta api, seiring dengan pengembangan infrastruktur transportasi yang sedang berlangsung di Sulawesi Selatan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan infrastruktur transportasi, termasuk pengembangan jalur kereta api, dapat berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi regional dan mengurangi ketimpangan pembangunan. Dengan demikian, implementasi sistem ROLA tidak hanya akan mengatasi masalah transportasi, tetapi juga berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi yang lebih merata di Sulawesi Selatan. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pertanyaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik kendaraan, pola distribusi, dan dampak kendaraan ODOL pada angkutan barang pada rute Makassar – Parepare?
2. Bagaimana potensi penerapan sistem ROLA berdasarkan persepsi operator truk terhadap faktor biaya operasional, waktu perjalanan, fleksibilitas, keamanan dan

keselamatan, dukungan kebijakan, kemudahan bongkar-muat, dan dampak lingkungan?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bermaksud untuk menganalisis prospek penerapan sistem ROLA dalam mengalihkan angkutan barang dari truk ke kereta api pada koridor Makassar-Parepare guna meningkatkan efisiensi logistik dan keberlanjutan transportasi di Sulawesi Selatan. Sedangkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik kendaraan, pola distribusi, dan dampak kendaraan ODOL pada angkutan barang pada rute Makassar – Parepare.
2. Menganalisis prospek penerapan sistem ROLA pada rute Makassar – Parepare berdasarkan persepsi operator truk.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat teoritis penelitian ini antara lain:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang transportasi barang dengan menawarkan pendekatan integrasi moda menggunakan sistem ROLA.
2. Mengisi kesenjangan penelitian mengenai implementasi ROLA di Indonesia, khususnya dalam konteks transportasi barang pada koridor strategis seperti Makassar-Parepare.

Sedangkan manfaat praktis sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi bagi pemangku kepentingan terkait kebijakan transportasi barang untuk mengoptimalkan infrastruktur kereta api yang telah dibangun di Sulawesi Selatan.
2. Membantu operator truk memahami manfaat, tantangan, dan peluang dalam beralih ke sistem transportasi yang terintegrasi dengan kereta api melalui ROLA.
3. Menawarkan solusi untuk mengurangi tekanan terhadap infrastruktur jalan, mengurangi biaya logistik, dan meningkatkan efisiensi operasional transportasi barang di koridor Makassar-Parepare.

1.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk menjawab dua tujuan penelitian yang saling melengkapi dan mendukung untuk memberikan gambaran komprehensif terkait potensi penerapan sistem ROLA pada rute Makassar–Parepare. Setiap tujuan dirancang untuk menjawab isu yang diteliti secara terstruktur. Proses analisis dilakukan secara bertahap, dimulai dari identifikasi karakteristik kendaraan, pola distribusi, serta dampak kendaraan ODOL terhadap angkutan barang pada rute Makassar–Parepare. Tahapan ini dilanjutkan dengan eksplorasi persepsi operator truk terhadap potensi penerapan sistem ROLA.

Tahapan penelitian terdiri dari input, proses, output, dan outcome. Setiap langkah penelitian disusun secara sistematis, mulai dari pengembangan latar belakang dan perumusan tujuan, penentuan variabel serta indikator yang relevan, hingga penyusunan metode analisis yang tepat. Dengan pendekatan ini, penelitian dapat menjawab setiap tujuan secara akurat dan menghasilkan keluaran yang relevan. Secara keseluruhan, setiap tahapan penelitian memberikan kontribusi sebagai dasar dalam mencapai tujuan akhir secara menyeluruh. Struktur tahapan ini dirangkum dalam Tabel 1.1 untuk memastikan penelitian dilakukan secara terarah, menghasilkan temuan yang signifikan, dan memberikan rekomendasi yang relevan bagi pengembangan sistem transportasi barang di Sulawesi Selatan khususnya pada rute Makassar–Parepare.

Tabel 1.1 Tahapan Penelitian

No	Tujuan Penelitian	Indikator	Input (Data)	Proses (Analisis)	Output (Hasil)	Outcome
1	Menganalisis karakteristik kendaraan dan pola distribusi barang pada rute Makassar – Parepare.	Jenis kendaraan, distribusi muatan, kondisi ODOL,	Data sekunder dari UPPKB Maccopa, (Februari 2023 – Januari 2024).	Analisis deskriptif kuantitatif	Karakteristik kendaraan (ODOL & non-ODOL), pola distribusi barang, dan dampak aktivitas kendaraan ODOL.	Rekomendasi adopsi moda transportasi alternatif seperti kereta api (sistem ROLA) dalam distribusi barang
2	Menganalisis potensi penerapan sistem ROLA di rute Makassar-Parepare.	Biaya operasional, waktu perjalanan, fleksibilitas, keamanan dan keselamatan, dukungan kebijakan, kemudahan bongkar-muat, dan dampak lingkungan	Data survei persepsi operator truk terhadap potensi penerapan ROLA	Analisis persepsi dan regresi linier berganda	Potensi perpindahan operator truk dari angkutan jalan ke sistem ROLA.	Rekomendasi kebijakan untuk mempercepat penerapan sistem ROLA antara lain subsidi dan investasi infrastruktur ROLA.

1.6 Batasan Penelitian

Beberapa batasan penelitian yang ada pada penelitian ini antara lain:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada periode Februari 2023 hingga Januari 2024.
2. Penelitian hanya fokus pada kendaraan angkutan barang yang ditimbang pada UPPKB Maccopa Maros, ada beberapa jenis kendaraan yang tidak tercatat misalnya kendaraan kontainer karena kendaraan tersebut tidak masuk jembatan timbang. Padahal kendaraan kontainer juga terlibat dalam proses distribusi barang.
3. Data yang diperoleh di UPPKB Maccopa terbatas pada kendaraan dari arah Makassar ke arah Parepare, sedangkan arah sebaliknya (Parepare ke Makassar) datanya tidak ada.
4. Penelitian ini terbatas pada analisis persepsi operator truk. Penelitian tidak mencakup persepsi atau pandangan dari pihak lain, seperti pemerintah daerah, penyedia infrastruktur, atau masyarakat yang terdampak, yang mungkin juga mempengaruhi keberhasilan penerapan sistem ROLA.

1.7 Sistematika Penulisan

Tesis ini terdiri dari 5 (lima) bagian meliputi pendahuluan umum, temuan dari topik 1, dan 2, pembahasan umum, serta kesimpulan.

Bagian pertama terdiri dari latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, tahapan penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

Bagian kedua merupakan temuan topik penelitian 1 yang menganalisis karakteristik dan pola distribusi barang di rute Makassar-Parepare, dengan fokus pada identifikasi variabel-variabel yang memengaruhi distribusi barang, seperti jenis komoditas, tipe kendaraan, dan pola distribusi pergerakan, serta dampak dari aktivitas kendaraan ODOL yang cukup banyak beroperasi.

Bagian ketiga merupakan temuan topik penelitian 2 yang menganalisis kemungkinan peralihan moda angkutan truk ke kereta api dengan penerapan sistem ROLA pada angkutan barang di rute Makassar–Parepare. Penelitian ini fokus pada bagaimana perspektif operator truk karena mereka adalah subjek yang menentukan keberhasilan implementasi sistem ROLA melalui keputusan untuk beralih dari moda jalan.

Bagian keempat merupakan pembahasan umum yang menjelaskan secara umum temuan yang dilakukan pada setiap topik penelitian.

Bagian kelima berisikan kesimpulan dan implikasi penelitian, yang merangkum kesimpulan umum berdasarkan kesimpulan dari setiap topik pada bab 2 dan 3.

BAB II

KARAKTERISTIK KENDARAAN, POLA DISTRIBUSI, DAN DAMPAK ANGKUTAN OVER DIMENSION OVER LOAD (ODOL)

2.1 Abstrak

Tingginya ketergantungan pada transportasi jalan pada distribusi barang di Sulawesi Selatan, khususnya pada rute Makassar–Parepare, telah memicu berbagai tantangan, seperti kerusakan infrastruktur jalan, efisiensi logistik yang rendah, dan dampak lingkungan yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kendaraan dan pola distribusi barang pada rute Makassar – Parepare guna mendukung formulasi kebijakan transportasi yang lebih berkelanjutan. Data sekunder dari UPPKB Maccopa, Maros, digunakan untuk mengevaluasi jenis kendaraan, kondisi Over Dimension Over Load (ODOL), dan distribusi muatan selama Februari 2023–Januari 2024. Hasil penelitian menunjukkan dominasi kendaraan tidak ODOL dengan konfigurasi sumbu sederhana (1-1 dan 1-2), yang merepresentasikan 94,51% dari total kendaraan. Namun, kendaraan ODOL dengan konfigurasi kompleks tetap signifikan dalam pengangkutan barang berat, meskipun berdampak buruk pada infrastruktur jalan dan efisiensi logistik. Distribusi barang didominasi oleh barang campuran (47,8%) dan pupuk/racun (11,2%), mencerminkan kebutuhan pasar regional dan pola musiman. Kabupaten Maros, Bone, Pangkep, Parepare dan Palopo menjadi tujuan utama logistik lokal, sementara kendaraan ODOL mendominasi distribusi lintas provinsi. Berdasarkan temuan ini, maka perlu regulasi lebih ketat terhadap kendaraan ODOL dan adopsi moda transportasi alternatif seperti kereta api untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem distribusi barang.

Kata kunci: ODOL, angkutan truk, tipe kendaraan.

2.2 Pendahuluan

Sistem angkutan barang di Indonesia berperan strategis dalam mendukung kegiatan ekonomi nasional, terutama dalam mendistribusikan barang dari pusat produksi ke wilayah konsumsi. Namun, kinerja sistem angkutan barang masih menghadapi berbagai permasalahan, termasuk ketergantungan yang tinggi pada moda transportasi jalan. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa pada tahun 2019, angkutan barang yang menggunakan jalan darat mendominasi dengan angka 87,5%, disusul oleh angkutan laut 12,16%, kereta api 0,26%, dan angkutan udara 0,005% (Kemenhub, 2019). Ketergantungan ini diperparah oleh infrastruktur jalan yang terbatas di beberapa wilayah, sehingga mengakibatkan tingginya tingkat kemacetan, kerusakan jalan, dan biaya logistik yang mencapai 14,29% dari PDB pada tahun 2023, masih lebih tinggi dibandingkan negara-negara maju (Pelindo, 2023).

Di Provinsi Sulawesi Selatan, distribusi barang masih didominasi oleh angkutan truk dalam mendukung aktivitas ekonomi, khususnya dari Kota Makassar sebagai pusat distribusi utama. Jalur Makassar-Parepare menjadi salah satu rute utama yang

menghubungkan pelabuhan Makassar dan kawasan industri Makassar (KIMA) dengan daerah-daerah lain di Sulawesi Selatan bahkan ke Sulawesi Barat dan Tenggara. Meski memiliki peran strategis, kinerja angkutan barang di rute Makassar-Parepare masih jauh dari optimal. Infrastruktur jalan yang digunakan sering mengalami beban berlebih akibat intensitas kendaraan barang, sementara efisiensi distribusi barang seringkali terhambat oleh kurangnya integrasi antarmoda dan minimnya fasilitas pendukung seperti dry port atau terminal barang.

Permasalahan mendasar pada sistem angkutan barang di Sulawesi Selatan meliputi biaya logistik yang tinggi akibat tingginya biaya operasional kendaraan dan ketidakseimbangan muatan antara perjalanan pergi dan pulang. Penggunaan kendaraan dengan kapasitas rendah serta dominasi kendaraan *over-dimension and overloading* (ODOL) memperburuk kondisi infrastruktur jalan, meningkatkan biaya perawatan jalan dan risiko kecelakaan. Data menunjukkan bahwa kecelakaan yang melibatkan kendaraan berat di rute Makassar-Parepare cukup signifikan, menunjukkan kurangnya pengawasan terhadap keselamatan operasional. Selain itu, rendahnya tingkat adopsi teknologi logistik modern menghambat upaya peningkatan efisiensi dan transparansi dalam sistem distribusi barang.

Dampak lingkungan dari sistem angkutan barang juga menjadi perhatian utama, terutama emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan oleh kendaraan berbasis bahan bakar fosil. Jalur Makassar-Parepare yang padat dengan kendaraan barang menyumbang emisi karbon yang cukup besar, yang bertentangan dengan target pemerintah untuk menurunkan emisi GRK sebesar 31,89% pada tahun 2030. Selain itu, tingginya tingkat konsumsi bahan bakar oleh kendaraan berat memperparah beban ekonomi dan lingkungan. Masalah lingkungan semakin mendesak mengingat pentingnya menjaga keberlanjutan transportasi dalam mendukung pembangunan ekonomi yang ramah lingkungan.

Idealnya, sistem angkutan barang di Sulawesi Selatan harus mampu memberikan layanan yang efisien, aman, dan berkelanjutan. Hal ini mencakup penggunaan moda transportasi yang lebih ramah lingkungan, seperti kereta api atau transportasi multimoda, yang dapat mengurangi beban jalan dan meningkatkan efisiensi biaya. Pengembangan infrastruktur pendukung seperti terminal barang modern dan integrasi antarmoda juga diperlukan untuk mengoptimalkan pola distribusi barang. Selain itu, regulasi yang ketat terhadap kendaraan ODOL dan implementasi teknologi digital dalam manajemen logistik dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi barang.

Penelitian ini penting dilakukan mengingat tingginya permintaan terhadap angkutan barang di rute Makassar-Parepare yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi regional. Ketergantungan pada angkutan truk tidak lagi efisien, mengingat kapasitas angkut yang terbatas dan tingginya biaya operasional. Perlu alternatif moda transportasi yang dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut, khususnya dalam mendukung transportasi yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, sebagai langkah awal, perlu dilakukan identifikasi terhadap karakteristik dan pola distribusi angkutan barang di rute Makassar-

Parepare yang akan memberikan dasar untuk pengembangan kebijakan transportasi barang yang lebih efektif dan efisien di masa yang akan datang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik dan pola distribusi barang di rute Makassar-Parepare, dengan fokus pada identifikasi variabel-variabel yang memengaruhi distribusi barang, seperti jenis komoditas, tipe kendaraan, dan pola distribusi pergerakan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem angkutan barang di Sulawesi Selatan, sekaligus mendukung pengembangan infrastruktur transportasi yang lebih baik.

2.3 Literatur Review

2.3.1. Permintaan dan Dampak Penggunaan Truk untuk Angkutan Barang

Permintaan tinggi terhadap transportasi truk di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi geografis, ekonomi, dan infrastruktur. Transportasi darat, terutama truk, menjadi andalan utama dalam mendistribusikan barang ke berbagai wilayah. Meskipun pembangunan infrastruktur terus berjalan, masalah seperti kemacetan dan sistem kereta api yang belum optimal masih menjadi penghambat diversifikasi moda transportasi barang (Anas et al., 2022; Aulia, 2021).

Dari sisi ekonomi, keberagaman komoditas yang dihasilkan Indonesia, khususnya dari Pulau Jawa sebagai pusat kegiatan ekonomi, menunjukkan pentingnya transportasi truk dalam menjaga stabilitas dan kompetisi pasar. Biaya pengiriman memiliki pengaruh besar terhadap harga barang, sehingga efisiensi logistik truk menjadi kunci dalam menjaga daya saing harga (Nofandi, 2023). Selain itu, biaya operasional seperti konsumsi bahan bakar, pemeliharaan, dan hambatan akibat kemacetan menjadi tantangan utama bagi sektor logistik. Faktor-faktor ini diperparah oleh kondisi geografis Indonesia, jarak perjalanan yang bervariasi, serta kemacetan di area perkotaan, yang menuntut adanya jaringan transportasi truk yang tangguh dan fleksibel untuk menjamin kelancaran pengiriman barang (Anas et al., 2022; Yulfadli, 2023).

Penggunaan truk secara masif di Indonesia membawa dampak yang kompleks, meliputi aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Di satu sisi, truk berperan besar dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dengan memperlancar perdagangan dan menjaga kesinambungan rantai pasok. Namun di sisi lain, dampak lingkungan yang ditimbulkan cukup serius. Emisi dari kendaraan truk berkontribusi pada menurunnya kualitas udara serta peningkatan gas rumah kaca, terutama di kawasan perkotaan (Han, 2023). Ketidakefisienan operasional, seperti konsumsi bahan bakar yang tinggi dan kebutuhan perawatan yang sering, juga meningkatkan biaya operasional yang pada akhirnya membebani konsumen (Anas et al., 2022; Shamyayirra, 2023).

Di samping itu, aspek manusia dalam transportasi truk juga menghadirkan tantangan signifikan. Profesi pengemudi truk yang menuntut jam kerja panjang, jadwal tidak teratur, serta tekanan tinggi sering kali dikaitkan dengan berbagai masalah kesehatan seperti stres dan penyakit kronis (Lemke et al., 2020; Sieber et al., 2014). Kondisi ini diperburuk oleh minimnya dukungan yang memadai, seperti

akses layanan kesehatan untuk para pengemudi, yang semakin memengaruhi kesejahteraan mereka (Sieber et al., 2014).

Dengan demikian, meskipun transportasi truk memegang peranan penting dalam sistem logistik barang di Indonesia, tantangan yang ada memerlukan perhatian serius melalui intervensi strategis. Kebijakan yang berfokus pada peningkatan infrastruktur, diversifikasi moda transportasi, serta penanganan isu lingkungan dan kesehatan manusia sangat diperlukan untuk menciptakan sistem logistik yang lebih berkelanjutan dan efisien.

2.3.2. Faktor Yang Mempengaruhi Distribusi Barang

Distribusi barang menggunakan truk dipengaruhi oleh berbagai faktor yang meliputi aspek ekonomi, logistik, teknologi, dan regulasi. Pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor ini sangat penting untuk mengoptimalkan operasi logistik dan meningkatkan efisiensi dalam rantai pasok.

Dari aspek ekonomi, biaya transportasi yang mencakup harga bahan bakar, pemeliharaan, dan upah tenaga kerja, secara langsung memengaruhi keputusan logistik. Misalnya, fluktuasi harga bahan bakar sering kali memaksa perusahaan logistik untuk menyesuaikan strategi mereka agar tetap menguntungkan, seperti dengan mengevaluasi ulang rute truk dan mengoptimalkan muatan (Elangovan et al., 2021). Selain itu, meningkatnya permintaan akan layanan pengiriman cepat, terutama di kawasan perkotaan, memberikan tekanan pada perusahaan truk untuk meningkatkan efisiensi operasional mereka sambil tetap mengelola biaya (Enthoven et al., 2020). Tren e-commerce yang terus berkembang juga memperburuk tekanan tersebut, sehingga memerlukan opsi pengiriman yang lebih cepat dan fleksibel (Cao et al., 2021).

Pertimbangan logistik juga menjadi aspek penting dalam distribusi dengan truk. Efisiensi infrastruktur barang, termasuk ketersediaan zona pemuatan dan kondisi jaringan jalan, sangat memengaruhi bagaimana barang didistribusikan. Kemacetan di kawasan perkotaan dapat menyebabkan penundaan dan peningkatan biaya operasional, yang mendorong perusahaan logistik untuk mencari metode pengiriman alternatif atau menyesuaikan rute mereka guna mengurangi dampak masalah (Sheth et al., 2019). Lebih jauh lagi, integrasi teknologi seperti pelacakan GPS dan algoritma optimasi rute telah mengubah cara perusahaan truk merencanakan dan melaksanakan pengiriman. Teknologi ini memungkinkan pemantauan lokasi truk secara real-time dan penyesuaian rute secara dinamis, yang dapat meningkatkan efisiensi pengiriman (Bachmann et al., 2018; Chen et al., 2015).

Kemajuan teknologi juga mengubah sistem distribusi barang dengan truk. Dibeberapa negara maju, munculnya drone sebagai kendaraan pendukung pengiriman merupakan salah satu inovasi yang bertujuan mengatasi tantangan pengiriman jarak dekat (last-mile delivery). Dengan memanfaatkan drone bersamaan dengan truk, perusahaan dapat mengoptimalkan rute pengiriman dan mengurangi kemacetan lalu lintas, terutama di kawasan padat penduduk (Boysen et al., 2018). Pendekatan hibrid ini tidak hanya meningkatkan waktu pengiriman tetapi juga

meningkatkan kepuasan pelanggan dengan memastikan layanan yang cepat dan efisien (Cao et al., 2021). Selain itu, adopsi sistem otomatis untuk proses pemuatan dan pembongkaran barang dapat meminimalkan kesalahan manusia dan meningkatkan keselamatan, sehingga memperlancar proses distribusi (Yanwari & Enriko, 2022).

Faktor regulasi juga memainkan peranan penting dalam distribusi dengan truk. Kepatuhan terhadap peraturan transportasi, termasuk batasan berat muatan dan standar lingkungan, sangat penting bagi perusahaan truk. Overloading atau kelebihan muatan dapat menyebabkan denda yang signifikan dan kerusakan infrastruktur, sehingga mendorong perusahaan untuk berinvestasi dalam teknologi yang memantau berat muatan dan memastikan kepatuhan (J. Sun, 2023). Selain itu, regulasi perkotaan yang bertujuan mengurangi emisi dan kemacetan lalu lintas dapat mengharuskan perusahaan truk untuk menyesuaikan operasinya, seperti dengan menggunakan kendaraan listrik atau mengoptimalkan jadwal pengiriman agar menghindari jam sibuk (Enthoven et al., 2020).

2.3.3. Multimodal Transportasi untuk distribusi barang

Efisiensi dan efektivitas distribusi barang adalah tujuan utama dalam aktivitas rantai pasok. Salah satu strategi yang sering diusulkan untuk meningkatkan performa distribusi barang adalah integrasi moda transportasi alternatif melalui sistem intermodal dan multimodal. Pendekatan ini tidak hanya mengoptimalkan operasi logistik tetapi juga mendukung keberlanjutan dengan mengurangi emisi karbon dari transportasi barang.

Sistem transportasi intermodal menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk mendukung distribusi barang. Dalam sistem ini, barang diangkut menggunakan kontainer standar yang dapat dipindahkan dengan mudah antar moda transportasi, seperti jalan, kereta api, dan laut. Pendekatan ini meningkatkan koordinasi dan fleksibilitas operasi logistik, memungkinkan perusahaan untuk merespons gangguan dan mengoptimalkan rute berdasarkan data waktu nyata (Demir et al., 2015). Meskipun sistem intermodal memerlukan koordinasi lebih lanjut dan dapat terlihat kurang andal dibandingkan transportasi moda tunggal, kemajuan teknologi dan metodologi perencanaan telah membantu mengatasi tantangan ini. Rencana transportasi yang matang dapat dirancang untuk mengantisipasi potensi gangguan, memastikan pengiriman barang tetap efisien meskipun terjadi kejadian tak terduga (Demir et al., 2015).

Teknologi juga berperan penting dalam meningkatkan performa sistem transportasi multimodal. Penggunaan sistem pelacakan canggih, analitik data, dan kecerdasan buatan terbukti dapat meningkatkan optimasi rute dan manajemen muatan. Misalnya, penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknik pembelajaran mesin dan optimasi dapat menghasilkan keputusan yang lebih baik dalam transportasi barang, sehingga mengoptimalkan sumber daya dan mengurangi biaya operasional (Mavi et al., 2022). Selain itu, integrasi teknologi berbasis smartphone

telah terbukti meningkatkan kemungkinan penggunaan berbagai moda transportasi, sehingga memperbaiki efisiensi keseluruhan proses distribusi (Astroza et al., 2017).

Strategi lainnya mencakup upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari transportasi barang. Perpindahan menuju rute multimoda yang lebih ramah lingkungan, yang mengombinasikan layanan kereta api dengan transportasi jalan, dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon. Penelitian menunjukkan bahwa menggabungkan fleksibilitas transportasi jalan untuk jarak pendek dengan kapasitas dan keandalan kereta api untuk jarak jauh dapat mengoptimalkan logistik sekaligus meminimalkan jejak lingkungan (Y. Sun et al., 2018, 2019). Penerapan metode pengisian emisi dan strategi optimasi berbasis dua tujuan juga mampu meningkatkan keberlanjutan jaringan transportasi (Y. Sun et al., 2018).

Selain itu, ketahanan sistem transportasi multimodal dapat ditingkatkan melalui solusi perutean dinamis yang beradaptasi dengan kondisi waktu nyata. Eksperimen komputasi menunjukkan bahwa solusi synchromodal dinamis dapat secara efektif merespons gangguan, sehingga menjaga tingkat layanan dan mengurangi keterlambatan (Ambra et al., 2019). Adaptabilitas ini sangat penting dalam lingkungan logistik yang bergerak cepat saat ini, di mana pengiriman tepat waktu sering menjadi keunggulan kompetitif.

2.4 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Data yang digunakan adalah data kendaraan angkutan barang yang wajib timbang, pada periode Bulan Februari 2023 – Januari 2024. Data tersebut merupakan data sekunder yang diambil dari Unit Pelaksana Penimbangan Kendaraan Bermotor (UPPKB) Maccopa Kab. Maros - Sulawesi Selatan. Sesuai surat edaran Direktur Jenderal Perhubungan Darat jenis kendaraan yang wajib timbang diperlihatkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kendaraan barang wajib timbang

Gol	Konfigurasi Sumbu	Jumlah Sumbu	Jenis	JB1 (ton)
I	1-1	2	Truk engkel tunggal	12
II	1-2	2	Truk engkel ganda	14-16
III	1.1-2	3	Truk trinitin	16-18
IV	1-2.2	3	Truk tronton	20-22
V	1.1-2.2	4	Truk tronton	26-30
	1-1.2.2		Truk trailer engkel	28-34
VI	1-2-2.2.2	5	Truk trailer engkel	32-40
	1-2.2-2.2		Truk trailer tronton	
VII	1-2.2-2.2.2	6	Truk trailer tronton	40-43

Sumber: Surat Edaran Dirjen Hubdat No. SE.02/AJ208/DRJD/2008

Data tersebut digunakan untuk menganalisis karakteristik jenis kendaraan angkutan barang yang melewati ruas jalan nasional pada rute Makassar – Parepare, meliputi konfigurasi sumbu, kondisi ODOL, dan pola distribusi barang yang

disajikan dalam bentuk tabulasi data. Analisis dampak aktifitas kendaraan odol dilakukan dengan studi literatur.

2.5 Hasil dan Pembahasan

2.5.1 Karakteristik Muatan

Data distribusi jenis muatan kendaraan barang menunjukkan bahwa barang campuran menjadi jenis muatan dominan dengan total sebesar 173,454 ton, yang menyumbang 47.8% dari keseluruhan muatan. Posisi kedua ditempati oleh pupuk atau racun dengan kontribusi 11.2%, diikuti oleh paket sebesar 8.3%. Tiga jenis barang ini mencakup hampir 70% dari total muatan, menunjukkan bahwa operasi logistik didominasi oleh kebutuhan barang campuran, material pertanian, dan barang yang berkaitan dengan e-commerce. Di sisi lain, beberapa jenis barang seperti daging ayam atau sapi, produk tekstil, dan telur ayam hanya memberikan kontribusi minimal, masing-masing di bawah 1%, mengindikasikan rendahnya permintaan atau prioritas logistik untuk kategori tersebut.

Tabel 2.2 Jenis Muatan yang diangkut kendaraan barang

No.	Jenis Barang	Muatan (ton)
1	Barang Campuran	173,454
2	Pupuk / Racun	40,655
3	Paket	30,206
4	Bahan Bangunan	23,170
5	Sparepart Motor/ Mobil	13,092
6	Mobil / motor	10,677
7	Hasil pertanian / perkebunan / perikanan	10,551
8	Air Mineral	10,400
9	DII	9,543
10	Pakan Hewan	8,291
11	Furniture	6,591
12	Es balok / cream / kristal	4,961
13	Elektronik	4,932
14	Obat obatan / alkes	3,980
15	Alat Industri	3,347
16	Hewan (ayam / kambing / sapi / kerbau)	2,456
17	Buah / Sayuran	1,995
18	Hasil industry	1,594

19	Telur ayam / tepung terigu	1,444
20	Produk Tekstil	968
21	Daging Ayam / Sapi	266
Total		362,572

Sumber: UPPKB Maccopa, Maros periode Februari 2023 – Januari 2024

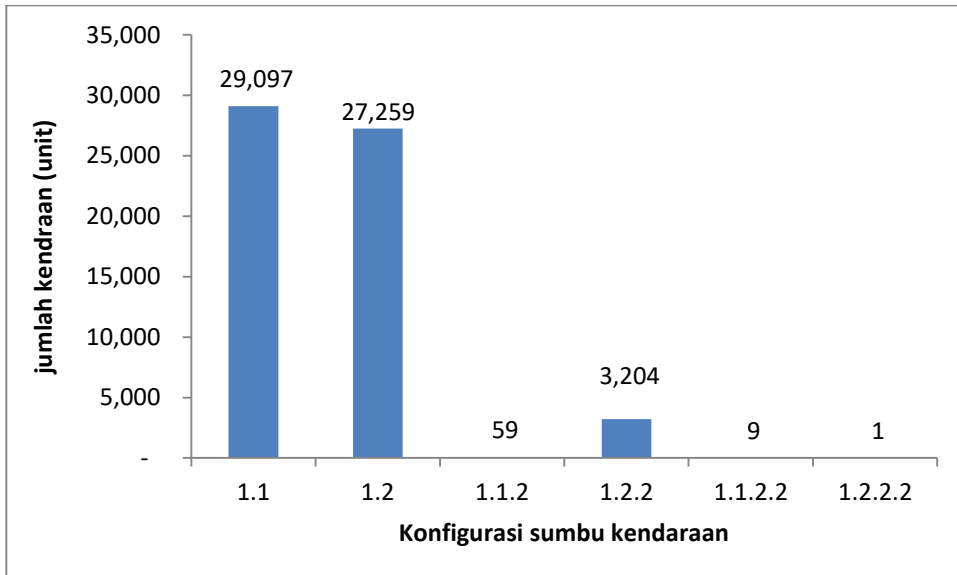
Berdasarkan pola umum logistik, tren pengangkutan barang menunjukkan bahwa jenis muatan seperti barang campuran dan paket cenderung stabil atau meningkat dari waktu ke waktu. Barang campuran, yang menjadi jenis muatan dominan, diperkirakan terus mendominasi karena fleksibilitasnya dalam memenuhi kebutuhan berbagai sektor, termasuk distribusi retail dan e-commerce. Paket, sebagai jenis barang dengan kontribusi signifikan, diprediksi meningkat secara konsisten seiring pertumbuhan e-commerce, terutama di wilayah perkotaan. Sementara itu, pupuk/racun dan hasil pertanian atau perkebunan menunjukkan pola musiman, dengan lonjakan pada musim tanam dan panen. Sebaliknya, jenis barang dengan volume kecil seperti daging ayam/sapi dan produk tekstil tetap stabil pada tingkat rendah, bergantung pada kebutuhan spesifik lokal.

2.5.2 Karakteristik Kendaraan Angkutan Barang

Sistem transportasi angkutan barang pada rute Makassar – Parepare menunjukkan bahwa jumlah kendaraan angkutan barang yang melintasi rute Makassar–Parepare pada periode Februari 2023 – Januari 2024 berdasarkan konfigurasi sumbu menunjukkan pola distribusi yang didominasi oleh kendaraan bertipe 1.1 dan 1.2. Kendaraan dengan konfigurasi sumbu tersebut mencakup 94,51% dari total kendaraan tercatat, dengan masing-masing sebanyak 29.097 kendaraan untuk tipe 1.1 dan 27.259 kendaraan untuk tipe 1.2. Kedua tipe kendaraan ini umumnya digunakan untuk pengiriman barang dengan volume kecil hingga menengah. Hal ini mencerminkan pola distribusi yang sering dilakukan dengan muatan yang tidak terlalu besar, yang sesuai dengan kebutuhan logistik lokal serta kemampuan infrastruktur jalan yang ada. Kendaraan ini juga memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi untuk menjangkau daerah-daerah yang mungkin memiliki keterbatasan akses jalan.

Sebaliknya, jumlah kendaraan dengan konfigurasi sumbu yang lebih kompleks jumlahnya jauh lebih sedikit. Kendaraan tipe 1.1.2 hanya 0,1%, tipe 1.2.2 hanya 5,37%, kendaraan tipe 1.1.2.2 hanya 0,02%, dan kendaraan tipe 1.2.2.2 hanya 0,002%. Kendaraan jenis ini biasanya digunakan untuk mengangkut barang dalam volume besar atau berat, yang memerlukan infrastruktur yang lebih memadai untuk menunjang beban dan dimensi kendaraan. Jumlahnya yang kecil dapat mengindikasikan bahwa barang dalam volume besar jarang didistribusikan melalui rute ini, baik karena sifat permintaan yang lebih spesifik maupun karena keterbatasan fasilitas penunjang, seperti jalan raya yang kurang mendukung kendaraan berat. Selengkapnya proporsi jumlah kendaraan yang tercatat di UPPKB Maccopa Kab.

Maros khususnya pada rute Makassar – Parepare dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 2.1 kendaraan barang yang melintasi UPPKB Maros Rute Makassar – Parepare.

Sumber: Data UPPKB Maccopa, Maros periode Februari 2023 – Januari 2024

Karakteristik pergerakan barang pada rute Makassar – Parepare mencerminkan tingginya frekuensi pengiriman barang dalam volume kecil. Pola ini mencerminkan kebutuhan pasar lokal yang tersebar, terutama di wilayah Sulawesi Selatan bagian utara dan provinsi lainnya seperti Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah, hingga Gorontalo dan Sulawesi Utara. Barang-barang yang didistribusikan kemungkinan besar mencakup kebutuhan sehari-hari seperti bahan makanan, produk rumah tangga, dan hasil bumi, serta produk olahan yang diproduksi di wilayah Makassar maupun yang dikirim dari Pulau Jawa. Pengiriman dalam volume kecil dan sering dilakukan untuk memastikan ketersediaan barang secara terus-menerus di pasar lokal dan regional.

Selain itu, rendahnya jumlah kendaraan besar pada rute ini juga dapat dikaitkan dengan penggunaan moda transportasi alternatif untuk pengiriman barang skala besar. Moda transportasi seperti kapal laut mungkin lebih sering digunakan untuk pengangkutan dalam jumlah besar antarpulau, mengingat efisiensi biaya dan kapasitas angkutnya yang lebih besar. Selain itu, kondisi infrastruktur jalan di wilayah Sulawesi Selatan dan sekitarnya, yang mungkin belum sepenuhnya mendukung kendaraan berat, juga menjadi faktor pembatas. Hambatan ini dapat memengaruhi pilihan moda transportasi yang digunakan oleh pelaku logistik dan distribusi. Secara keseluruhan, rute Makassar–Parepare berfungsi sebagai jalur distribusi utama yang menghubungkan pusat logistik Makassar dengan berbagai wilayah di Sulawesi. Kendaraan bertipe kecil hingga menengah memainkan peran utama dalam pola

distribusi, memungkinkan pengiriman barang secara lebih fleksibel ke berbagai daerah dengan infrastruktur jalan yang beragam.

2.5.3 Karakteristik Kendaraan ODOL

Data menunjukkan perbedaan signifikan antara jumlah kendaraan ODOL dan kendaraan tidak ODOL yang melintasi rute Makassar–Parepare. Secara keseluruhan, kendaraan tidak ODOL lebih dominan untuk semua konfigurasi sumbu, dengan jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan kendaraan ODOL. Perbedaan ini memberikan gambaran mengenai tingkat kepatuhan terhadap regulasi, efisiensi penggunaan kendaraan, serta dampak logistik dari masing-masing kategori.

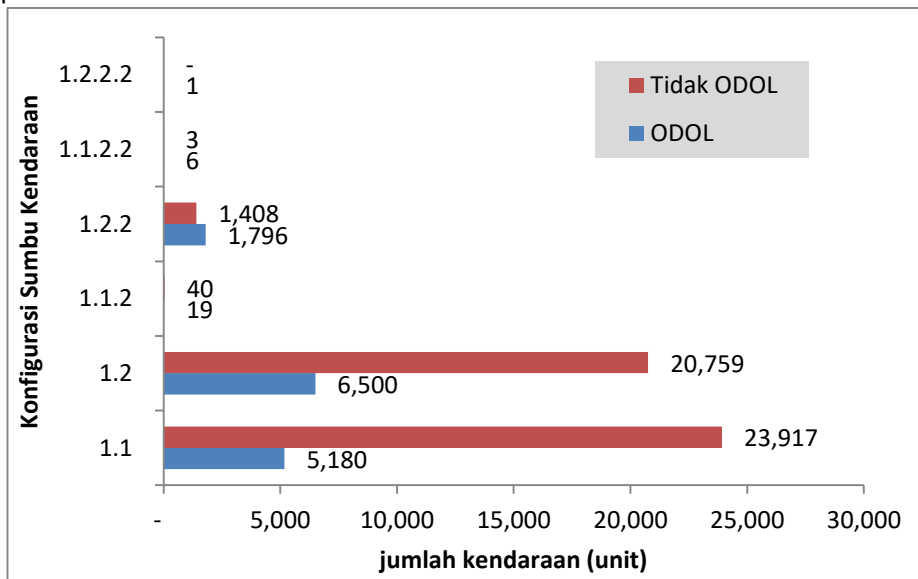
Kendaraan tipe 1.1 dan 1.2, yang merupakan jenis kendaraan kecil hingga menengah, memiliki jumlah tidak ODOL yang sangat tinggi dibandingkan ODOL. Untuk tipe 1.1, kendaraan tidak ODOL tercatat sebanyak 23.917 (51,85% dari total kendaraan tidak ODOL), sedangkan tipe 1.2 mencapai 20.759 kendaraan tidak ODOL (45%). Tingginya jumlah kendaraan tidak ODOL pada konfigurasi ini menunjukkan bahwa kendaraan kecil dan menengah cenderung lebih patuh terhadap peraturan dimensi dan beban, atau mungkin tidak memerlukan modifikasi untuk memenuhi kebutuhan logistiknya. Sebaliknya, proporsi kendaraan ODOL yang lebih kecil pada konfigurasi ini mengindikasikan potensi tekanan operasional tertentu untuk mengangkut barang lebih banyak dalam sekali perjalanan.

Pada kendaraan dengan konfigurasi sumbu lebih kompleks, seperti tipe 1.1.2 dan 1.2.2, proporsi kendaraan ODOL lebih tinggi dibandingkan tidak ODOL. Misalnya, pada tipe 1.2.2, kendaraan ODOL tercatat sebanyak 1.796, sedangkan tidak ODOL hanya 1.408. Pola ini dapat menunjukkan bahwa kendaraan dengan konfigurasi lebih besar cenderung dimodifikasi atau dimanfaatkan melebihi kapasitasnya untuk mengangkut muatan berat atau besar, terutama untuk memenuhi kebutuhan logistik dalam jarak jauh atau volume tinggi.

Pada konfigurasi 1.1.2.2, kendaraan ODOL mendominasi dibandingkan tidak ODOL. Sementara itu, tipe 1.2.2.2 hanya mencatatkan 1 kendaraan ODOL tanpa kendaraan tidak ODOL sama sekali. Hal ini menegaskan bahwa kendaraan dengan konfigurasi multi-sumbu lebih cenderung dioperasikan dalam kondisi ODOL untuk memaksimalkan kapasitas angkutnya. Kendaraan ini sering digunakan untuk mengangkut barang dengan volume besar atau berat khusus, yang sulit diakomodasi oleh kendaraan tidak ODOL.

Kendaraan ODOL cenderung digunakan untuk kebutuhan logistik yang lebih besar, mengingat kemampuan angkutnya yang dimodifikasi untuk membawa muatan melebihi batas yang diizinkan. Namun, praktik ini berpotensi merusak infrastruktur jalan, seperti jalan raya dan jembatan, karena beban berlebih yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis jalan. Selain itu, kendaraan ODOL juga menghadirkan risiko keamanan yang lebih tinggi karena stabilitas kendaraan yang berkurang akibat dimensi dan beban yang tidak seimbang.

Kendaraan tidak ODOL lebih sesuai dengan regulasi yang berlaku dan memiliki risiko lebih rendah terhadap kerusakan infrastruktur serta kecelakaan lalu lintas. Kendaraan ini umumnya digunakan oleh perusahaan logistik atau pengangkut yang berorientasi pada kepatuhan terhadap aturan pemerintah dan efisiensi jangka panjang. Tingginya jumlah kendaraan tidak ODOL pada tipe sumbu sederhana menunjukkan bahwa kebutuhan logistik dapat terpenuhi tanpa harus melebihi kapasitas muatan.



Gambar 2.2 Jumlah kendaraan barang berdasarkan ODOL dan tidak ODOL

Sumber: Data UPPKB Maccopa, Maros periode Februari 2023 – Januari 2024

Tabel 2.3 Kendaraan ODOL berdasarkan Konfigurasi Sumbu

ODOL (%)	Konfigurasi Sumbu Kendaraan						Total	%
	1-1	1-2	1.1-2	1-2.2	1.1-2.2	1-2-2.2.2		
1-20	3,436	3,768	5	1,399	1	-	8,609	63.76
21-40	867	877	3	164	1	-	1,912	14.16
41-70	597	914	8	123	2	-	1,644	12.18
71-100	199	751	1	71	1	1	1,024	7.58
101-150	45	154	1	29	1	-	230	1.70
151-200	14	17	-	6	-	-	37	0.27
>200	22	19	1	4	-	-	46	0.34

ODOL (%)	Konfigurasi Sumbu Kendaraan						Total	%
	1-1	1-2	1.1-2	1-2.2	1.1-2.2	1-2-2.2.2		
Total	5,180	6,500	19	1,796	6	1	13,502	
%	38.36	48.14	0.14	13.30	0.04	0.01		100

Sumber: Data UPPKB Maccopa, Maros periode Februari 2023 – Januari 2024

Berdasarkan tabel 2.3, mayoritas kendaraan ODOL berdasarkan persentase berada pada rentang 1-20%, dengan jumlah mencapai 8,609 kendaraan atau 63.76% dari total keseluruhan. Jumlah kendaraan kemudian menurun secara signifikan pada rentang persentase yang lebih tinggi, seperti 21-40% (1,912 kendaraan atau 14.16%) dan 41-70% (1,644 kendaraan atau 12.18%). Sementara itu, kendaraan dengan ODOL di atas 100% hanya menyumbang 2.31% dari total, menunjukkan bahwa sebagian besar kendaraan ODOL cenderung memiliki tingkat kelebihan muatan yang relatif rendah.

Dari sisi konfigurasi sumbu, kendaraan dengan konfigurasi 1-2 mendominasi, mencakup 48.14% dari total kendaraan atau sebanyak 6,500 unit. Posisi kedua ditempati oleh konfigurasi 1-1, yang menyumbang 38.36% atau 5,180 unit. Kendaraan dengan konfigurasi sumbu lainnya, seperti 1.1-2, 1-2.2, 1.1-2.2, dan 1-2-2.2.2, hanya memberikan kontribusi yang sangat kecil, dengan gabungan total kurang dari 14% dari keseluruhan kendaraan.

Konfigurasi sumbu 1-2 tetap menjadi yang dominan pada hampir semua kategori persentase ODOL. Kendaraan dengan konfigurasi ini mencatat angka tertinggi dalam setiap rentang persentase, terutama pada kategori 71-100%, di mana kendaraan dengan konfigurasi ini mencapai 73.34% dari total kategori. Di sisi lain, konfigurasi 1-1 lebih banyak ditemukan pada kategori dengan persentase ODOL yang rendah, seperti 1-20% dan 21-40%, tetapi kontribusinya menurun pada kategori persentase ODOL yang lebih tinggi.

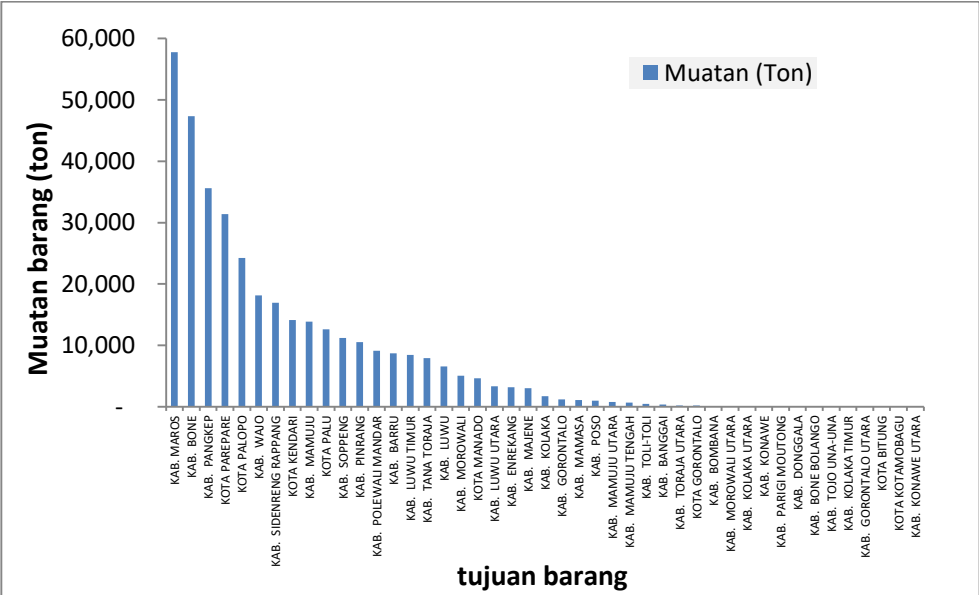
Kendaraan dengan ODOL yang sangat tinggi, yaitu lebih dari 100%, hanya mencakup 313 unit atau 2.31% dari total. Pada kategori ini, konfigurasi 1-2 tetap mendominasi dengan jumlah 190 kendaraan, diikuti oleh konfigurasi 1-1 sebanyak 81 kendaraan. Meski jumlahnya kecil, kendaraan dengan persentase ODOL yang sangat tinggi dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap infrastruktur jalan dan keselamatan transportasi.

2.5.4 Pola Distribusi Barang dengan Angkutan Truk

Data pergerakan barang menunjukkan bahwa Kabupaten Maros di Sulawesi Selatan menjadi tujuan dengan muatan tertinggi sebesar 57.769 ton, diikuti oleh Kabupaten Bone (47.322 ton), Kabupaten Pangkep (35.593 ton), Kota Parepare (31.394), dan Kota Palopo (24.228). Ketiga daerah ini berlokasi relatif dekat dengan

Makassar dan memiliki aktivitas ekonomi tinggi, terutama dalam sektor agrikultur, perikanan, dan perdagangan. Hal ini mengindikasikan peran Makassar sebagai pusat logistik utama yang memasok kebutuhan barang pokok dan bahan baku ke kabupaten sekitarnya. Pola distribusi ini mencerminkan tingginya frekuensi pergerakan logistik skala kecil hingga menengah, sejalan dengan dominasi kendaraan tidak ODOL tipe sumbu sederhana.

Pada tingkat provinsi, muatan barang juga mencerminkan aliran distribusi lintas provinsi yang signifikan. Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara menerima aliran barang dalam jumlah besar, dengan tujuan utama seperti Kota Kendari (14.123 ton), Kota Palu (12.612), dan Kabupaten Mamuju (13.878 ton). Wilayah-wilayah ini cenderung menjadi pusat ekonomi di provinsi masing-masing, yang mengandalkan suplai dari Makassar untuk kebutuhan konsumsi, perdagangan, dan industri lokal. Kendaraan ODOL kemungkinan memainkan peran besar dalam pengangkutan lintas provinsi, terutama untuk memenuhi kebutuhan barang berat atau dalam jumlah besar yang tidak dapat sepenuhnya diakomodasi oleh kendaraan tidak ODOL.



Gambar 2.3 Distribusi barang dari Makassar ke kab/Kota lain

Sumber: Data UPPKB Maccopa, Maros periode Februari 2023 – Januari 2024

Tabel 2.4 Muatan distribusi barang yang berasal dari Makassar

No.	Tujuan Perjalanan Barang	Muatan (Ton)	Provinsi
1	Kab. Maros	57.769	Sulawesi Selatan

No.	Tujuan Perjalanan Barang	Muatan (Ton)	Provinsi
2	Kab. Bone	47.322	Sulawesi Selatan
3	Kab. Pangkep	35.593	Sulawesi Selatan
4	Kota Parepare	31.394	Sulawesi Selatan
5	Kota Palopo	24.228	Sulawesi Selatan
6	Kab. Wajo	18.123	Sulawesi Selatan
7	Kab. Sidenreng Rappang	16.927	Sulawesi Selatan
8	Kota Kendari	14.123	Sulawesi Tenggara
9	Kab. Mamuju	13.878	Sulawesi Barat
10	Kota Palu	12.612	Sulawesi Tengah
11	Kab. Soppeng	11.226	Sulawesi Selatan
12	Kab. Pinrang	10.555	Sulawesi Selatan
13	Kab. Polewali Mandar	9.117	Sulawesi Barat
14	Kab. Barru	8.732	Sulawesi Selatan
15	Kab. Luwu Timur	8.470	Sulawesi Selatan
16	Kab. Tana Toraja	7.952	Sulawesi Selatan
17	Kab. Luwu	6.585	Sulawesi Selatan
18	Kab. Morowali	5.043	Sulawesi Tengah
19	Kota Manado	4.638	Sulawesi Utara
20	Kab. Luwu Utara	3.350	Sulawesi Selatan
21	Kab. Enrekang	3.184	Sulawesi Selatan
22	Kab. Majene	3.007	Sulawesi Barat
23	Kab. Kolaka	1.704	Sulawesi Tenggara
24	Kab. Gorontalo	1.182	Gorontalo
25	Kab. Mamasa	1.089	Sulawesi Barat
26	Kab. Poso	987	Sulawesi Tengah
27	Kab. Mamuju Utara	782	Sulawesi Barat
28	Kab. Mamuju Tengah	676	Sulawesi Barat
29	Kab. Toli-Toli	457	Sulawesi Tengah
30	Kab. Banggai	345	Sulawesi Tengah
31	Kab. Toraja Utara	219	Sulawesi Selatan
32	Kota Gorontalo	199	Gorontalo
33	Kab. Bombana	73	Sulawesi Tenggara
34	Kab. Morowali Utara	62	Sulawesi Tengah
35	Kab. Kolaka Utara	58	Sulawesi Tenggara
36	Kab. Konawe	54	Sulawesi Tenggara
37	Kab. Parigi Moutong	53	Sulawesi Tengah
38	Kab. Donggala	48	Sulawesi Tengah

No.	Tujuan Perjalanan Barang	Muatan (Ton)	Provinsi
39	Kab. Bone Bolango	45	Gorontalo
40	Kab. Tojo Una-Una	36	Sulawesi Tengah
41	Kab. Kolaka Timur	24	Sulawesi Tenggara
42	Kab. Gorontalo Utara	11	Gorontalo
43	Kota Bitung	7	Sulawesi Utara
44	Kota Kotamobagu	6	Sulawesi Utara
45	Kab. Konawe Utara	2	Sulawesi Tenggara

Sumber: Data UPPKB Maccopa, Maros periode Februari 2023 – Januari 2024

Secara keseluruhan, rute logistik dari Makassar mencerminkan peran kota ini sebagai pusat distribusi utama di Sulawesi, dengan pola distribusi yang didominasi oleh kendaraan tidak ODOL untuk tujuan lokal dan kendaraan ODOL untuk kebutuhan lintas provinsi atau pengiriman barang besar. Solusi jangka panjang diperlukan untuk mengurangi ketergantungan pada kendaraan ODOL, termasuk melalui pengembangan infrastruktur transportasi yang lebih baik dan integrasi moda yang lebih efisien.

2.5.5 Dampak Aktifitas Kendaraan Angkutan ODOL

Kerusakan jalan akibat kendaraan dengan muatan berlebih, atau ODOL, merupakan isu yang signifikan di banyak negara, termasuk Indonesia. Beban kendaraan yang melebihi kapasitas desain jalan dapat mempercepat degradasi struktur jalan, yang mengakibatkan kerusakan seperti rutting (lekukan permanen) dan cracking (retakan) (Najib et al., 2022; Rahmawati et al., 2020). Hasil analisis menunjukkan bahwa kendaraan ODOL, terutama dengan konfigurasi sumbu 1-2, mendominasi rute pengangkutan barang di Sulawesi Selatan khususnya pada rute Makassar - Parepare. Hal ini menyebabkan distribusi beban berat yang terkonsentrasi pada titik tertentu, yang berkontribusi pada kerusakan jalan yang lebih cepat (Aidi et al., 2022; Kewa, 2024). Berdasarkan studi, beban berlebih pada kendaraan dapat meningkatkan laju kerusakan jalan hingga 1.5–2 kali lipat dibandingkan dengan kendaraan yang mematuhi batas muatan (Najib et al., 2022; Rahmawati et al., 2020).

Penelitian di berbagai lokasi menunjukkan bahwa kerusakan jalan yang disebabkan oleh kendaraan ODOL sering kali berupa retakan, pengelupasan, dan deformasi permukaan (Lestari & Permatasari, 2022; Wirnanda et al., 2018). Selain itu, analisis menunjukkan bahwa kerusakan jalan dapat mengganggu kenyamanan dan keamanan pengguna jalan, serta berdampak negatif pada sektor ekonomi lokal (Gumelar, 2023; Lestari & Permatasari, 2022). Kondisi jalan yang buruk akibat kendaraan ODOL juga meningkatkan kebutuhan perbaikan dan biaya pemeliharaan. Penelitian menunjukkan bahwa perbaikan jalan yang diperlukan akibat kerusakan dapat meningkat secara signifikan, sejalan dengan peningkatan volume kendaraan dan beban yang melebihi kapasitas jalan (Anggraita & Juanita, 2022; Yudaningrum

& Ikhwanudin, 2017). Oleh karena itu, penting untuk menerapkan regulasi yang lebih ketat terkait muatan kendaraan dan meningkatkan pengawasan terhadap kendaraan yang beroperasi di jalan raya (Fadillah et al., 2021; Parapat, 2024). Dengan demikian, upaya untuk mengurangi kerusakan jalan akibat kendaraan ODOL tidak hanya akan memperpanjang umur jalan, tetapi juga akan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan (Desei, 2023; Gumelar, 2023; Najib et al., 2022).

Kendaraan ODOL di rute Makassar - Parepare berpotensi menyebabkan kemacetan yang signifikan dan memperlambat arus distribusi barang. Kendaraan dengan muatan berlebih ini memerlukan waktu lebih lama untuk melakukan manuver, terutama di tikungan dan tanjakan, yang dapat menciptakan bottleneck dan mengganggu kelancaran lalu lintas (Budiharjo et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa kehadiran kendaraan ODOL di jalan utama dapat meningkatkan waktu perjalanan, yang berimplikasi pada efisiensi logistik yang terganggu (Budiharjo et al., 2022). Keterlambatan dalam distribusi barang ini sangat berdampak pada komoditas yang sensitif terhadap waktu, seperti produk pangan dan farmasi, yang memerlukan pengiriman tepat waktu untuk menjaga kualitas dan keamanan (Supriatna et al., 2020). Dampak dari kemacetan yang disebabkan oleh kendaraan ODOL tidak hanya terbatas pada waktu perjalanan, tetapi juga mempengaruhi biaya operasional logistik secara keseluruhan.

Keterlambatan distribusi barang akibat kemacetan atau kerusakan jalan dapat meningkatkan biaya transportasi (Rosita et al., 2023). Biaya tambahan ini pada akhirnya akan diteruskan kepada konsumen dalam bentuk kenaikan harga barang, yang dapat mengurangi daya beli masyarakat dan mempengaruhi ekonomi lokal (Desmira et al., 2022). Di rute Makassar - Parepare, yang merupakan jalur strategis untuk menghubungkan kota besar dan pelabuhan utama, gangguan ini dapat mengurangi daya saing ekonomi wilayah Sulawesi Selatan secara keseluruhan (Brennand et al., 2019). Selain itu, kendaraan ODOL juga berkontribusi terhadap kerusakan jalan yang lebih cepat, yang pada gilirannya memperburuk kondisi lalu lintas dan meningkatkan frekuensi perbaikan jalan (Sholichin & Rumintang, 2018). Perlu menerapkan regulasi yang lebih ketat terkait muatan kendaraan dan meningkatkan pengawasan terhadap kendaraan yang beroperasi di jalan raya untuk menjaga kelancaran arus distribusi barang dan meminimalkan dampak negatif terhadap infrastruktur jalan (Milanés et al., 2011).

Kendaraan ODOL memiliki risiko kecelakaan yang lebih tinggi, terutama di rute-rute yang memiliki medan berbukit atau geometri kompleks, seperti di jalur Makassar - Parepare. Beban yang berlebih pada kendaraan tidak hanya mengurangi stabilitas, tetapi juga memperpanjang jarak pengereman, yang berpotensi meningkatkan risiko terguling. Penelitian menunjukkan bahwa kendaraan ODOL terlibat dalam lebih dari 30% kecelakaan lalu lintas berat di jalan raya, yang menunjukkan hubungan langsung antara muatan berlebih dan peningkatan risiko kecelakaan. Interaksi antara kendaraan ODOL dengan kendaraan penumpang dan sepeda motor di jalur yang sama memperburuk risiko kecelakaan, terutama pada jam-jam sibuk ketika volume lalu lintas meningkat. Dalam situasi ini, kendaraan ODOL yang lebih besar dan lebih

lambat dapat menghalangi arus lalu lintas, menciptakan situasi berbahaya bagi kendaraan yang lebih kecil dan lebih cepat. Penelitian menunjukkan bahwa kecelakaan yang melibatkan kendaraan ODOL sering kali lebih parah, mengingat ukuran dan berat kendaraan yang terlibat. Faktor lain yang turut memengaruhi risiko kecelakaan adalah kelelahan pengemudi yang mengoperasikan kendaraan ODOL. Pengemudi yang membawa muatan berlebih sering kali harus bekerja lebih lama dan lebih keras, yang dapat menyebabkan kelelahan fisik dan mental. Kelelahan ini mengurangi konsentrasi dan respons pengemudi, yang meningkatkan potensi kecelakaan akibat human error. Penelitian menunjukkan bahwa pengemudi kendaraan berat memiliki tingkat kelelahan yang lebih tinggi saat membawa muatan berlebih, yang berkontribusi pada peningkatan risiko kecelakaan.

Kerusakan jalan akibat kendaraan ODOL tidak hanya berdampak pada pemerintah dalam bentuk biaya pemeliharaan jalan yang tinggi, tetapi juga pada operator logistik yang harus menghadapi peningkatan biaya operasional. Kendaraan dengan muatan berlebih memerlukan lebih banyak tenaga dari mesin, yang mengakibatkan konsumsi bahan bakar meningkat secara signifikan. Penelitian menunjukkan bahwa mesin kendaraan harus bekerja lebih keras untuk mengatasi beban tambahan, yang berujung pada peningkatan biaya bahan bakar (Amrita et al., 2023). Selain itu, komponen kendaraan seperti ban dan rem juga mengalami keausan yang lebih cepat, sehingga meningkatkan frekuensi penggantian komponen (Maliq et al., 2022). Hal ini sangat relevan pada rute Makassar - Parepare, yang merupakan jalur utama dengan tingkat frekuensi perjalanan yang tinggi. Dampak dari kerusakan jalan dan kendaraan ODOL ini meluas ke sektor perdagangan, di mana kenaikan biaya transportasi akan diteruskan kepada konsumen.

Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan biaya transportasi akibat kerusakan jalan dan kendaraan ODOL dapat mengurangi efisiensi rantai pasok, sehingga meningkatkan harga barang hingga 10-15% (Harming, 2022). Jika tidak segera ditangani, hal ini akan memengaruhi daya beli masyarakat di wilayah Sulawesi Selatan, terutama untuk barang kebutuhan pokok. Kenaikan harga barang dapat menyebabkan kesulitan bagi masyarakat, terutama bagi mereka yang bergantung pada barang-barang tersebut untuk kebutuhan sehari-hari (Parapat, 2024; Pasongli et al., 2023). Lebih jauh lagi, kerusakan jalan yang disebabkan oleh kendaraan ODOL juga dapat mengakibatkan kemacetan yang lebih parah, yang pada gilirannya memperburuk situasi lalu lintas dan meningkatkan waktu perjalanan (Massara et al., 2021; Tamimah & Siregar, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa kerusakan jalan yang parah dapat mengakibatkan waktu tempuh yang lebih lama dan meningkatkan risiko kecelakaan, yang semuanya berkontribusi pada biaya operasional yang lebih tinggi bagi operator logistik (Mutoharoh, 2022). Oleh karena itu, penting untuk menerapkan regulasi yang lebih ketat terkait muatan kendaraan dan melakukan pemeliharaan jalan secara berkala untuk menjaga infrastruktur dan efisiensi transportasi (Fikri, 2016; Simanjuntak, 2023).

Operasional kendaraan ODOL di rute Makassar - Parepare juga berdampak negatif pada lingkungan. Beban berlebih menyebabkan efisiensi bahan bakar menurun, menghasilkan emisi karbon yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan

dengan muatan normal. Studi sebelumnya menemukan bahwa kendaraan ODOL dapat meningkatkan emisi CO₂ hingga 25-30%. Emisi ini tidak hanya berdampak pada perubahan iklim global tetapi juga memperburuk kualitas udara di wilayah sekitar. Selain itu, polusi suara akibat kendaraan berat di jalan utama juga menjadi masalah. Di sepanjang rute Makassar - Parepare, banyak permukiman penduduk yang berada dekat dengan jalan raya. Tingkat kebisingan dari kendaraan berat dapat memengaruhi kesehatan masyarakat sekitar, seperti gangguan tidur dan stres. Dengan meningkatnya volume kendaraan ODOL, dampak lingkungan ini akan semakin signifikan tanpa adanya regulasi dan pengawasan yang memadai.

2.6 Kesimpulan

Kendaraan tidak ODOL mendominasi rute Makassar–Parepare, terutama pada konfigurasi sumbu sederhana seperti 1-1 dan 1-2, yang menunjukkan tingkat kepatuhan terhadap regulasi dan kecenderungan untuk mengutamakan keamanan dan efisiensi operasional. Namun, kendaraan ODOL masih banyak ditemukan, terutama pada konfigurasi sumbu yang lebih kompleks (1.2.2), mengindikasikan adanya kebutuhan pengangkutan barang dalam jumlah besar yang tidak dapat sepenuhnya diakomodasi oleh kendaraan tidak ODOL.

Mayoritas kendaraan ODOL berada pada kategori persentase ODOL rendah (1%-20% dari kapasitas kendaraan), menunjukkan adanya potensi besar untuk pengoptimalan pengelolaan kendaraan dan kebijakan pengendalian ODOL. Konfigurasi sumbu 1-2 menjadi fokus utama untuk intervensi kebijakan karena kontribusinya yang signifikan terhadap total kendaraan ODOL. Kendaraan dengan persentase ODOL lebih dari 100% meskipun jumlahnya kecil, tetap memerlukan perhatian khusus untuk mengurangi dampak negatif terhadap infrastruktur dan keselamatan.

Kendaraan ODOL di rute Makassar–Parepare menyebabkan kerusakan jalan seperti retakan, deformasi, dan lekukan permanen akibat distribusi beban yang melebihi kapasitas jalan, dengan peningkatan kerusakan hingga 1,5–2 kali lipat dibandingkan kendaraan normal. Hal ini mempercepat kebutuhan perbaikan jalan, meningkatkan biaya pemeliharaan, dan mengganggu efisiensi logistik, terutama untuk komoditas sensitif waktu seperti pangan dan farmasi. Kehadiran kendaraan ODOL juga menciptakan kemacetan, memperlambat arus distribusi barang, dan meningkatkan biaya transportasi hingga memengaruhi harga barang di konsumen. Risiko kecelakaan juga meningkat signifikan, terutama di rute berbukit, akibat stabilitas kendaraan yang buruk dan jarak pengereman yang lebih panjang, diperburuk oleh kelelahan pengemudi. Selain itu, kendaraan ODOL memperburuk dampak lingkungan melalui emisi karbon yang lebih tinggi hingga 30% dan polusi suara di permukiman sepanjang rute. Dampak gabungan ini tidak hanya merusak infrastruktur dan ekosistem logistik, tetapi juga mengurangi daya saing ekonomi Sulawesi Selatan, menekankan pentingnya pengawasan dan regulasi yang lebih ketat.

Untuk mengurangi beban jalan akibat kendaraan ODOL di rute Makassar–Parepare, diperlukan pengalihan sebagian pengangkutan barang ke moda transportasi alternatif atau integrasi sistem multimoda. Penggunaan moda seperti kereta api melalui sistem *ROLA* dapat menjadi solusi strategis untuk mendistribusikan muatan berat secara efisien tanpa merusak infrastruktur jalan. Integrasi multimoda memungkinkan distribusi barang yang lebih terstruktur, mengurangi ketergantungan pada kendaraan berat di jalan raya, sekaligus meningkatkan efisiensi logistik melalui pengurangan waktu tempuh dan biaya operasional. Langkah ini juga dapat meminimalkan dampak lingkungan, seperti emisi karbon dan kebisingan, serta meningkatkan keselamatan jalan dengan mengurangi interaksi antara kendaraan berat dan kendaraan ringan. Dengan implementasi yang tepat, integrasi moda dapat menjadi solusi jangka panjang untuk menjaga daya saing ekonomi regional dan keberlanjutan infrastruktur transportasi.

2.7 Referensi

- Kemenhub <https://transmediakemenhub.id/trans-darat-edisi-03-2023/>
 Pelindo, <https://www.pelindo.co.id/media/507/biaya-logistik-di-indonesia-turun-40-persen-dalam-lima-tahun>
- Aidi, J., Haniza, S., & Saleh, A. (2022). Analisis Beban Kendaraan Terhadap Umur Rencana Perkerasan Jalan. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 6(2), 135–141. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v6i2.1350>
- Ambra, T., Caris, A., & Macharis, C. (2019). Should I Stay or Should I Go? Assessing Intermodal and Synchromodal Resilience From a Decentralized Perspective. *Sustainability*, 11(6), 1765. <https://doi.org/10.3390/su11061765>
- Amrita, MCA, T., Susanti, E., & Jemisius, F. (2023). Evaluasi Kerusakan Jalan Soekarno Hatta Labuan Bajo Menggunakan Metode Bina Marga. *Waktu Jurnal Teknik Unipa*, 21(01). <https://doi.org/10.36456/waktu.v21i01.6655>
- Anas, R., Surbakti, M., & Hastuty, I. P. (2022). An Overview of Inland Freight Transportation in Indonesia Based on Vehicle Operating Cost. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1000/1/012004>
- Anggraita, R. A., & Juanita, J. (2022). Pengaruh Beban Lalu Lintas Terhadap Kerusakan Jalan (Studi Kasus : Jalan Ajibarang - Wangon). *Techno (Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 23(2), 131. <https://doi.org/10.30595/techno.v23i2.11364>
- Astroza, S., Garikapati, V., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., Lavieri, P. S., & Dias, F. F. (2017). Analysis of the Impact of Technology Use on Multimodality and Activity Travel Characteristics. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2666(1), 19–28. <https://doi.org/10.3141/2666-03>
- Aulia, D. (2021). Pengaruh Aglomerasi Industri Terhadap Short Sea Shipping Sebagai Kompetitor Truk Untuk Angkutan Kontainer. *Crane Civil Engineering Research Journal*, 2(2), 23–30. <https://doi.org/10.34010/crane.v2i2.5012>
- Bachmann, L. H., Lichtenstein, B., Lawrence, J. S. S., Murray, M., Russell, G. B., & Hook, E. W. (2018). Health Risks of American Long-Distance Truckers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60(7), e349–e355. <https://doi.org/10.1097/jom.0000000000001319>

- Boysen, N., Briskorn, D., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2018). Drone Delivery From Trucks: Drone Scheduling for Given Truck Routes. *Networks*, 72(4), 506–527. <https://doi.org/10.1002/net.21847>
- Brennand, C. A. R. L., Filho, G. P. R., Maia, G., Guidoni, D. L., & Villas, L. A. (2019). Towards a Fog-Enabled Intelligent Transportation System to Reduce Traffic Jam. *Sensors*, 19(18), 3916. <https://doi.org/10.3390/s19183916>
- Budiharjo, A., Andika, T., Fitriani, N., Rukman, R., & Turasno, B. (2022). Operational Data Analytics of Over Dimensional and Overloaded Truck in Indonesia. *RSF Conference Series Engineering and Technology*, 2(2), 88–98. <https://doi.org/10.31098/cset.v2i2.562>
- Cao, Q., Zhang, X., & Ren, X. (2021). Path Optimization of Joint Delivery Mode of Trucks and UAVs. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/4670997>
- Chen, G. X., Sieber, W. K., Lincoln, J. E., Birdsey, J., Hitchcock, E. M., Nakata, A., Robinson, C. C., Collins, J. W., & Sweeney, M. H. (2015). NIOSH National Survey of Long-Haul Truck Drivers: Injury and Safety. *Accident Analysis & Prevention*, 85, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.001>
- Demir, E., Huang, Y., Scholts, S. S., & Woensel, T. V. (2015). A Selected Review on the Negative Externalities of the Freight Transportation: Modeling and Pricing. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 77, 95–114. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.020>
- Desei, F. L. (2023). Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Surface Distress Index Dan International Roughness Index. *Konstruksia*, 15(1), 67. <https://doi.org/10.24853/jk.15.1.67-77>
- Desmira, D., Hamid, M. A., Bakar, N. A., Nurtanto, M., & Sunardi, S. (2022). A Smart Traffic Light Using a Microcontroller Based on the Fuzzy Logic. *laes International Journal of Artificial Intelligence (Ij-Ai)*, 11(3), 809. <https://doi.org/10.11591/ijai.v11.i3.pp809-818>
- Elangovan, R., Kanwhen, O., Dong, Z., Mohamed, A., & Rojas-Cessa, R. (2021). Comparative Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emission of Diesel and Electric Trucks for Food Distribution in Gowanus District of New York City. *Frontiers in Big Data*, 4. <https://doi.org/10.3389/fdata.2021.693820>
- Enthoven, D. L., Jargalsaikhan, B., Roodbergen, K. J., Broek, M. A. J. uit het, & Schrotenboer, A. H. (2020). The Two-Echelon Vehicle Routing Problem With Covering Options: City Logistics With Cargo Bikes and Parcel Lockers. *Computers & Operations Research*, 118, 104919. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104919>
- Fadillah, F., Anggraini, R., & Ahlan, M. (2021). Perbedaan Karakteristik Dan Pelanggaran Lalu Lintas Oleh Pengendara Sepeda Motor Pada Jalan Krueng Raya-Banda Aceh Dan Jalan Banda Aceh-Meulaboh. *Journal of the Civil Engineering Student*, 3(1), 77. <https://doi.org/10.24815/journalces.v3i1.13384>
- Fikri, M. (2016). Analisis Tingkat Kerusakan Jalan Lentur Dengan Metode Pavement Condition Index (Pci) Studi Kasus Ruas Jalan Poros Lamasi-Walenrang Kabupaten Luwu. *Pena Teknik Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 1(1), 19. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v1i1.57
- Gumelar, R. A. (2023). Pengaruh Kerusakan Jalan Terhadap Kenyamanan Pengguna Jalan Di Jalan Raya. *Jurnal Konstruksi*, 21(2), 265–274. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.21-2.1416>
- Han, H. (2023). The Routing Problem for Electric Truck With Partial Nonlinear Charging and Battery Swapping. *Sustainability*, 15(18), 13752.

- <https://doi.org/10.3390/su151813752>
- Harming, T. P. (2022). Analisa Kerusakan Jalan Pada Lapisan Permukaan Dengan Menggunakan Metode PCI (Pavement Condition Index) (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Menganti, Wiyung, Kota Surabaya). *Axl*, 10(3), 97. <https://doi.org/10.30742/axial.v10i3.2627>
- Kewa, F. S. (2024). Pengaruh Kendaraan Dengan Muatan Berlebih Terhadap Umur Layanan Perkerasan Pada Ruas Jalan Klaten–jatinom. *Jurnal Hpji*, 10(1), 23–28. <https://doi.org/10.26593/jhpji.v10i1.7645.23-28>
- Lemke, M. K., Apostolopoulos, Y., & Sönmez, S. (2020). Syndemic Frameworks to Understand the Effects of COVID-19 on Commercial Driver Stress, Health, and Safety. *Journal of Transport & Health*, 18, 100877. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100877>
- Lestari, U. S., & Permatasari, R. P. (2022). Pengaruh Beban Lalu Lintas Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan Gubernur Sarkawi Kabupaten Banjar. *Al Ulum Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(2), 69. <https://doi.org/10.31602/ajst.v7i2.7057>
- Maliq, T. M., Kriswardhana, W., Trisiana, A., & Supriono, L. (2022). Analisa Kerusakan Jalan Pada Lapis Permukaan Lentur Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI) (Studi Kasus Jalan Sriwijaya Kabupaten Jember). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 6(1), 56. <https://doi.org/10.19184/jrsl.v6i1.31724>
- Massara, A., Arifin, W., Alifuddin, A., Ramadhan, M. F., & Taufiq, M. (2021). Analisa Deformasi Pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Derbo Dan Wetfix. *Pena Teknik Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 6(2), 61. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v6i2.681
- Mavi, R. K., Mavi, N. K., Olaru, D., Biermann, S., & Chi, S. (2022). Innovations in Freight Transport: A systematic Literature Evaluation and COVID Implications. *The International Journal of Logistics Management*, 33(4), 1157–1195. <https://doi.org/10.1108/ijlm-07-2021-0360>
- Milanés, V., Godoy, J., Villagrà, J., & Pérez, J. (2011). Automated on-Ramp Merging System for Congested Traffic Situations. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 500–508. <https://doi.org/10.1109/tits.2010.2096812>
- Mutoharoh, A. (2022). Analisis Kerusakan Perkerasan Jalan Dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) Ruas Jalan Tanjung – Kersana STA 0+000 s.d. 6+000. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(1), 60–68. <https://doi.org/10.58169/saintek.v1i1.71>
- Najib, M. H., Rosdiyani, T., & Sari, F. A. (2022). Analisa Volume Beban Berlebih Kendaraan Terhadap Penurunan Umur Rencana Jalan. *Journal of Sustainable Civil Engineering (Josce)*, 4(02). <https://doi.org/10.47080/josce.v4i02.2141>
- Nofandi, F. (2023). Analysis of Intermodal Freight Transport Efficiency: Study of the Java-Sumatra Route. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 8(4). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v8i4.19323>
- Parapat, A. R. (2024). Rancang Bangun Alat Timbang Mobil Bermuatan Kayu Berbasis Node Mcu Terhubung Ke Iot. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (Jursik Tgd)*, 3(1), 39–46. <https://doi.org/10.53513/jursik.v3i1.8183>
- Pasongli, H., Mangontan, R., & Boro, W. G. (2023). Analisis Kerusakan Jalan Kecamatan Buntao Kabupaten Toraja Utara. *Paulus Civil Engineering Journal*, 5(1), 136–143. <https://doi.org/10.52722/pcej.v5i1.607>
- Rahmawati, A., Iqbal, M., & Adly, E. (2020). Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Dengan Metode Austroads Menggunakan Program Circly 6.0.

- Dinamika Rekayasa*, 16(2), 127. <https://doi.org/10.20884/1.dr.2020.16.2.309>
- Rosita, Y. D., Akbar, R. M., & Kurniawan, F. I. (2023). Indicator of Highway Conditions on Traffic Density Levels. *Ijееit International Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 6(1), 37–43. <https://doi.org/10.29138/ijееit.v6i1.2133>
- Shamuyarira, S. B. (2023). Truck Fuel Consumption Prediction Using Logistic Regression and Artificial Neural Networks. *International Journal of Operations Research and Information Systems*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.4018/ijoris.329240>
- Sheth, M., Butrina, P., Goodchild, A., & McCormack, E. (2019). Measuring Delivery Route Cost Trade-Offs Between Electric-Assist Cargo Bicycles and Delivery Trucks in Dense Urban Areas. *European Transport Research Review*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0349-5>
- Sholichin, I., & Rumintang, A. (2018). Relation Analysis of Road Damage With Excessive Vehicles Load on Kalianak Road Surabaya. *Journal of Physics Conference Series*, 953, 12231. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012231>
- Sieber, W. K., Robinson, C. C., Birdsey, J., Chen, G. X., Hitchcock, E. M., Lincoln, J. E., Nakata, A., & Sweeney, M. H. (2014). Obesity and Other Risk Factors: The National Survey of U.S. Long-Haul Truck Driver Health and Injury. *American Journal of Industrial Medicine*, 57(6), 615–626. <https://doi.org/10.1002/ajim.22293>
- Simanjuntak, J. O. (2023). Kerusakan Jalan Yang Berimbas Pada Lingkungan Dan Pengguna (Pemakai) Jalan Raya Dilokasi Jalan Veteran, Helvetia, Medan. *Jurnal Darma Agung*, 31(3), 11. <https://doi.org/10.46930/ojsuda.v31i3.3354>
- Sun, J. (2023). Truck Model Recognition for an Automatic Overload Detection System Based on the Improved MMAL-Net. *Frontiers in Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1243847>
- Sun, Y., Hrušovský, M., Zhang, C., & Lang, M. (2018). A Time-Dependent Fuzzy Programming Approach for the Green Multimodal Routing Problem With Rail Service Capacity Uncertainty and Road Traffic Congestion. *Complexity*, 2018(1). <https://doi.org/10.1155/2018/8645793>
- Sun, Y., Liang, X., Li, X., & Zhang, C. (2019). A Fuzzy Programming Method for Modeling Demand Uncertainty in the Capacitated Road–Rail Multimodal Routing Problem With Time Windows. *Symmetry*, 11(1), 91. <https://doi.org/10.3390/sym11010091>
- Supriatna, S., Dimiyati, M., & Amrillah, D. (2020). Spatial Model of Traffic Congestion by the Changes on City Transportation Route. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 10(5), 2044–2047. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.5.6752>
- Tamimah, N., & Siregar, A. C. P. (2023). Peramalan Nilai Rugi Daya Akibat Pengaruh Tekanan Pada Serat Optik Silica Berbasis Interpolasi Lagrange. *Journal of Computer and Information Systems Ampera*, 4(1), 12–21. <https://doi.org/10.51519/journalcisa.v4i1.361>
- Wirnanda, I., Anggraini, R., & Isya, M. (2018). Analisis Tingkat Kerusakan Jalan Dan Pengaruhnya Terhadap Kecepatan Kendaraan (Studi Kasus: Jalan Blang Bintang Lama Dan Jalan Teungku Hasan Dibakoi). *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 617–626. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10000>
- Yanwari, M. I., & Enriko, I. K. A. (2022). Rear Dump Truck Measurement Design Using Laser for Loading Process Automation. *Jaict*, 7(2), 115.

<https://doi.org/10.32497/jaict.v7i2.3648>

Yudaningrum, F., & Ikhwanudin, I. (2017). Identifikasi Jenis Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Kedungmundu-Meteseh). *Teknika*, 12(2). <https://doi.org/10.26623/teknika.v12i2.638>

Yulfadli, Z. (2023). Allowance Allocation and Adjustment of Factors Affecting Railway Logistics Demand. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1263(1), 12028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1263/1/012028>