

BAB II

KAJIAN LITERATUR

Pada bab ini akan diuraikan hasil kajian literatur terkait dengan penelitian karbon dioksida (Co₂) secara induktif maupun deduktif. Yang dimaksud dari kajian induktif adalah kajian yang berasal dari jurnal yang terindeks scopus. Sedangkan deduktif merupakan kajian yang didasarkan pada teori teori dasar yang memberikan fundamental keilmuan dalam menyelesaikan permasalahan.

2.1 Kajian Induktif

Kajian induktif adalah kajian literatur yang mendapatkan informasi dari artikel-artikel (waktu 5 tahun terakhir) dari tahun 2013 sampai tahun 2018, yang terdapat pada jurnal-jurnal yang terindeks scopus (ISA) penyusunan kajian literatur berdasarkan metode *Systematic Literature Review* (SLR). Metode SLR merupakan metode *literature review*, sehingga metode SLR adalah suatu metode yang dimana pada metode ini yang mengidentifikasi, menilai, dan menginterpretasi seluruh temuan-temuan pada suatu topik penelitian, untuk menjawab pertanyaan penelitian (*research question*) yang telah ditetapkan sebelumnya (Kitchenham, Charters, David, Turner, & Brereton, 2007). Pada penelitian ini, SLR sendiri di olah menggunakan Microsoft Excel dengan menggunakan format tabel-tabel agar lebih mudah dipahami. Berikut adalah tabel penggunaan SLR:

Tabel 2. 1 SLR

NO	TITLE	AUTHORS	YEARS	JOURNAL	INDEX
1	Sustainable Supply Chain Quality Management : A systematic review	Bastas A, & Liyagne K.	2018	Journal Of Cleaner Production	1
2	Green supply chain management and export performance: The mediating role of environmental performance	Al-Ghwayeen, W. S. and Abdallah, A. B.	2018	Journal of Manufacturing Technology Management	1
3	Challenges for Sustainable Supply Chain Management: When Stakeholder Collaboration Becomes Conductive to Corruption	Silvestre, Viana, Monteiro, & Sousa Filho	2018	Journal Of Cleaner Production	1
4	Sustainable supply chain management contributions of supplies markets	Cristino Alberto Gómez-Luciano, Félix Rafael Rondón Domínguez, Fernando González-Andrés,	2018	Journal Of Cleaner Production	1
5	A review of the transportation mode choice and carrier selection literature	Mary J. Meixell and Mario Norbis	2008	The International Journal of Logistics Management	1

NO	TITLE	AUTHORS	YEARS	JOURNAL	INDEX
6	System Dynamics Approach In Science and Technology Education	hasret nuhođlu & mert nuhođlu	2007	Journal of Turkish Science Education	3
7	Assessment and decision making scenario of carbon emission in sugar industry based on energy consumption using system dynamics	chairul saleh, afifuddin thoif, raden achmad chairdino leuveano, & mohd nizam ab rahman	2016	Journal of Engineering Science and Technology	2
8	Evaluating CO2 emissions and fatalities tradeoffs in truck transport	Mary Margaret Rogers & William L. Weber	2016	International Journal of Physical Distribution & Logistics Management	1
9	The use of construction equipment productivity rate model for estimating fuel use and carbon dioxide (CO2) emissionsCase study: bulldozer, excavator and dump truck	Apif Hajji	2015	Taylor and francis	2
10	Determinants of carrier selection: updating the survey methodology into the 21st century	Tomi Solakivia, Lauri Ojala	2017	Transportation Research Procedia	1

NO	TITLE	AUTHORS	YEARS	JOURNAL	INDEX
11	Driving forces of road freight CO2 in 2030	Heikki Liimatainen, Inger Beate Hovi, Niklas Arvidsson, Lasse Nykänen	2015	International Journal of Physical Distribution & Logistics Management	1
12	Truck dispatching and minimum emissions earthmoving	Alireza S. Kaboli and David G. Carmichael	2014	Smart and Sustainable Built Environment	2
13	Determine the optimal carrier selection for a logistics network based on multi-commodity reliability criterion	Yi-Kuei Lin a& Cheng-Ta Yeh	2014	International Journal of Systems Science	1

2.2 Penelitian Terdahulu

GSCM berusaha untuk mencapai perbaikan lingkungan yang inklusif dengan mengadopsi pendekatan siklus hidup dari desain produk, pemilihan bahan, manufaktur, dan penjualan akhir dan pemulihan. GSCM dipahami sebagai serangkaian kegiatan manajerial yang menggabungkan masalah lingkungan ke dalam SCM untuk menjamin kepatuhan lingkungan dan mempromosikan kemampuan lingkungan dari seluruh rantai pasokan suatu industri. Penelitian yang dilakukan oleh (Soda, Sachdeva, & Garg, 2016) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh implementasi *green supply chain management* (GSCM) di industri listrik punjab india. Perencanaan dan implementasi yang cermat dari GSCM sendiri menurut jurnal ini cenderung menghasilkan hasil yang

positif bagi pelaksanaannya. Setiap organisasi harus menyadari bahwa mereka harus menerapkan aspek green pada SCM.

Industri ini adalah salah satu penyebab meningkatnya emisi karbon di atmosfer bumi, yang menghasilkan emisi CO₂. Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan emisi CO₂ yang disebabkan oleh kegiatan rantai pasokan di dalam proses industri. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Munasinghe, Jayasinghe, Ralapanawe, & Gajanayake, 2016) telah melakukan perhitungan emisi karbon pada *supply chain management* perusahaan garmen di Sri Lanka berdasarkan analisis siklus hidup yang dimana bertujuan untuk mendapatkan strategi pengurangan emisi karbon. Hasil jejak karbon dari produk adalah 1,37 kgCO₂e dengan kontribusi terbesar pada produksi bahan baku yaitu 61% tidak mempertimbangkan variabel transportasi distribusi sehingga selanjutnya dapat menambal variabel tersebut.

Permodelan menggunakan sistem yang dinamis untuk mengukur emisi karbondioksida (CO₂) pada variabel tertentu sudah dilakukan. Pada penelitian (Liu, et al., 2015) mengembangkan model untuk meramalkan konsumsi energi, emisi CO₂ kotor dan intensitas emisi CO₂ di Cina dari 2013 hingga 2020 melalui simulasi sistem dinamik. Namun demikian, pengurangan emisi CO₂ adalah tujuan jangka panjang di Cina karena kita juga perlu mempertimbangkan isu-isu lain seperti tingkat perkembangan ekonomi, struktur energi, dan pengembangan teknologi dan sebagainya. Hasil menunjukkan bahwa Cina sangat mungkin untuk mencapai tujuan pengurangan emisi CO₂ di bawah skenario simulasi yang berbeda.

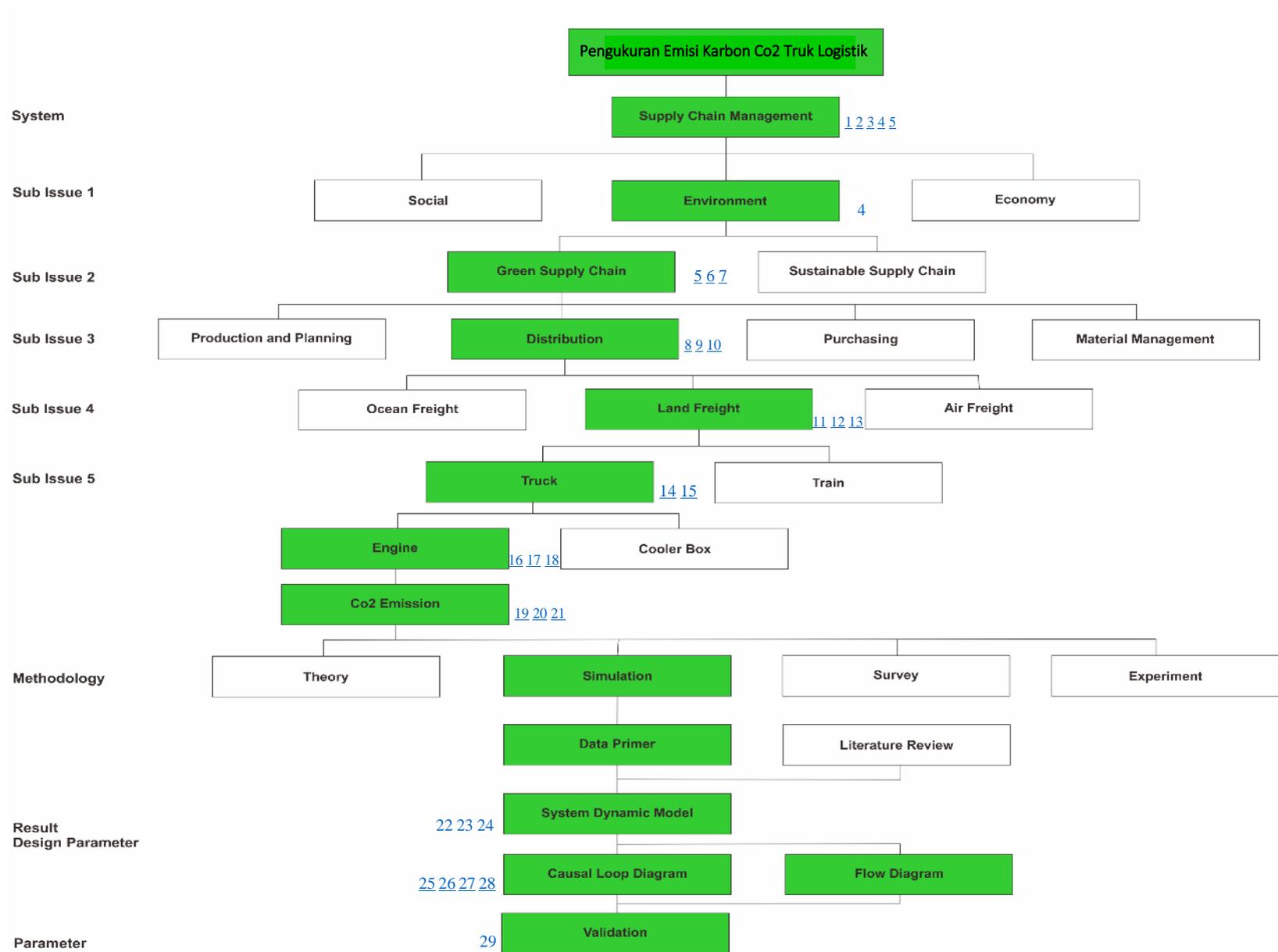
Aktivitas manufaktur yang ramah lingkungan (*Green manufacturing*) dan kegiatan pendistribusian yang juga ramah lingkungan (*Green distribution*) merupakan sebuah tantangan pada sebuah industri. Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan emisi CO₂ yang disebabkan oleh kegiatan rantai pasokan di dalam proses industri. Pada kajian penelitian yang dilakukan oleh (Chairul Saleh, thoif, leuveano, & ab rahman, 2016) di sebuah industri gula Madukismo Yogyakarta untuk melakukan penelitian untuk menilai dan mengambil sebuah keputusan skenario emisi karbon berdasarkan konsumsi energi untuk transportasi dan produksi dengan menggunakan sistem dinamik. Dengan mengidentifikasi *Supply chain system* didapatkan hasil scenario terbaik dalam mengurangi emisi CO₂ di perusahaan.

Distribusi merupakan aluran pemasaran yang dipakai oleh pembuat produk untuk mengirimkan produknya ke industri atau konsumen. Distribusi sangatlah bagian yang penting pada perusahaan, karena transportasi distribusi dapat berperan dalam mencapai keunggulan kompetitif. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Rogers & Weber, 2016) mengevaluasi emisi CO₂ dan dampak kematian terhadap terhadap pengangkutan truk pada rantai pasok atau *supply chain* perusahaan industri di amerika serikat dengan mensimulasikan model *data envelopment analysis*. Didapatkan bahwasannya pengurangan berat pada truk dan efisiensi bahan bakar berdampak pada pengurangan CO₂. meningkatnya kepedulian terhadap dampak masalah energi dan lingkungan merupakan salah satu dari tantangan logistik yang mempengaruhi terhadap pendistribusian barang (logistik).

Dari semua proses rantai pasokan, transportasi truk paling diakui sebagai menciptakan efek negatif bagi masyarakat pada distribusi. Ini termasuk efek negatif

pada kualitas udara, kematian manusia, penipisan sumber daya, pengeluaran pemerintah untuk infrastruktur, dan kemacetan yang mengakibatkan pengurangan kecepatan pergerakan produk (Rogers & Weber, 2016).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa emisi karbon dapat dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar/energi dan variabel terkait berbeda antara lain berdasarkan objek penelitian salah satunya adalah bagian distribusi yaitu adalah truk bagian pengiriman. Sistem dinamik menjadi salah satu pendekatan antara lain untuk menginvestigasi pengembangan kebijakan guna memitigasi dan mengendalikan efek emisi karbon di masa depan. Kemudian dari hasil pengumpulan jurnal – jurnal yang terkait dengan topik penelitian, langkah selanjutnya adalah membuat *CK-Chart*. *CK-Chart* merupakan model yang terkait isu – isu aktual terkait dengan topik penelitian yang kemudian hasil akhirnya akan dijadikan sasaran atau tujuan penelitian. Berikut ini adalah gambar *CK-Chart* :



Gambar 1. 1 CK-Chart

2.3 Kajian Deduktif

2.3.1 *Supply Chain Management*

Menurut Darojat dan Yunitasari (2017) konsep *supply chain management* ini adalah terintegrasinya suatu proses dimana beberapa organisasi yang bekerja sama demi mendapatkan *raw material*, mengubah *raw material* menjadi sebuah produk jadi yang nantinya siap dikirimkan kepada retail ataupun langsung ke *customer*. Atau singkatnya *supply chain management* adalah suatu sistem tempat dari gabungan organisasi yang menyalurkan barang produksinya atau jasanya kepada *customer*-nya.

Bastas and Liyanage (2018) menjelaskan bahwa SCM terdiri dari tiga konsep dasar yaitu Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan. Ketiga konsep dasar tersebut biasa juga disebut *triple bottom lane* atau TBL dalam *supply chain management*. Dalam jurnal (Karim, Abdul R, & Syed J, 2018) yang membahas isu ekonomi di negara Malaysia tentang pengembangan dan pemberdayaan produktivitas logistik di gudang industri untuk mencapai target ekonomi aspiratif pada tahun 2020. Kemudian dalam kajian (Silvestre, et al. (2018) menjelaskan terkait isu sosial dimana dalam jurnal tersebut menganalisis terkait tindakan korupsi yang terjadi dalam rantai pasok serta menganalisis terkait regulasi yang dibuat dalam pelaksanaan scm.

Isu lingkungan dimana penulis menemukan dua topik hangat terkait dengan isu lingkungan yaitu SSCM (*Sustainable Supply Chain Management*) dan GSCM (*Green Supply Chain Management*). Pada jurnal (Gómez-Luciano, Domínguez, Andrés, & De Meneses, 2018) menjelaskan terkait SSCM bahwa penelitian tersebut mendorong para manager untuk bisa mengatur kinerja serta menjalankan rantai pasok makanan tanpa

merusak lingkungan dengan menggunakan pengembangan model dari GSSC atau *Glocal Sustainable Supply Chain*. Sedangkan dalam penelitian Al-Ghwayeen and Abdallah (2018) menjelaskan bahwa dengan adanya berbagai regulasi baru dalam rantai pasok seperti pembatasan penggunaan bahan-bahan berbahaya, mengharuskan perusahaan untuk memperluas inisiatif lingkungan mereka kepada pelanggan maupun pemasok.

2.3.2 *Green Supply Chain Management*

Konsep *green supply chain management* adalah yang mengintegrasikan tentang kegiatan manajemen rantai pasokan dengan mempertimbangkan permasalahan lingkungan (Srivastava, 2007). Peduli lingkungan saat ini bukan menjadi opsi tetapi menjadi suatu keharusan yang dilakukan oleh seluruh pelaku dalam manajemen rantai pasokan. Pengelolaan *green supply chain* termasuk didalamnya yaitu pembelian yang ramah lingkungan, kegiatan manufaktur yang ramah lingkungan, proses distribusi dan pemasaran yang ramah lingkungan, dan juga *reverse logistics* (Zhu & Joseph, 2006).

Green Supply Chain Management secara umum merupakan pengintegrasian isu-isu lingkungan terhadap *Supply Chain Management* mulai dari bahan baku sampai dengan produk jadi. Dengan semakin meningkatnya isu tentang konsep industri berwawasan lingkungan telah memaksa industri melakukan penyesuaian dengan konsep GSCM. Pada penelitian Al-Ghwayeen and Abdallah (2018) juga menjelaskan GSCM sendiri bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari produk dan layanan. Menambahkan elemen *green* ke SCM memberi dampak dari proses rantai pasok ke proses yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan proses, produk, serta layanan yang ramah lingkungan memerlukan upaya bersama untuk penerapannya.

Green Supply Chain Management merupakan suatu proses pengintegrasian manajemen rantai pasok dengan konsep lingkungan yang meliputi desain produk, penyediaan dan pemilihan material, proses manufaktur, proses distribusi ke konsumen serta pengelolaan produk setelah masa pemakaiannya (Srivastava, 2007). Menurut (Ninlawan, Seksan, Tossapol, & Pilada, 2010) GSCM dapat juga didefinisikan sebagai aktivitas pengadaan yang ramah lingkungan (*Green procurement*), aktivitas manufaktur yang ramah lingkungan (*Green manufacturing*), kegiatan pendistribusian yang juga ramah lingkungan (*Green distribution*) serta *reverse logistic*.

2.3.3 *Distribution*

Distribusi merupakan aluran pemasaran yang dipakai oleh pembuat produk untuk mengirimkan produknya ke industri atau konsumen. Distribusi sangatlah bagian yang penting pada perusahaan, karena transportasi distribusi dapat berperan dalam mencapai keunggulan kompetitif (Reiman , 1998). Pada penelitian Andrew dan Mohamed (2006) dikatakan bahwa manajemen terhadap distribusi harus memperhitungkan transportasi terkait perubahan permintaan jangka pendek dan khususnya bersedia untuk mengakomodir ketidakpastian, yang dimana pada saat pendistribusian barang oleh operator pengangkutan bisa menawarkan fleksibilitas sebagai keunggulan kompetitif. Pada distribusi logistik terdapat beberapa pilihan jaringan transportasi yaitu rute udara, rute darat, atau rute udara (Lin & Yeh, 2014).

Kinerja pembawa transportasi dapat mempengaruhi efektivitas fungsi logistik seluruh perusahaan. Oleh karena itu, proses pemilihan pembawa transportasi yang tepat adalah penting untuk keberhasilan perusahaan. Tetapi menurut Meixell dan Norbis (2008) meningkatnya kepedulian terhadap dampak masalah energi dan lingkungan merupakan

salah satu dari tantangan logistik yang mempengaruhi terhadap pendistribusian barang (kargo).

2.3.4 *Land Freight (Kargo Darat)*

Kargo merupakan bidang kegiatan yang sangat penting dalam kegiatan distribusi suatu logistik perusahaan. Pentingnya pengangkutan barang logistik bagi perusahaan disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, keadaan geografis suatu negara yang terdiri dari ribuan pulau kecil dan besar, perairan yang terdiri dari sebagian besar laut, sungai dan danau yang memungkinkan pengangkutan dilakukan melalui darat, perairan, dan udara guna menjangkau seluruh wilayah (Lin & Yeh, 2014). Bahwasannya pentingnya faktor individu sering berbeda dari industri ke industri, perusahaan ke perusahaan, dan bahkan di dalam perusahaan dari satu fasilitas ke yang berikutnya terkait pemilihan mode transportasi (Monczka, Trent, & Handfield, 2005).

Dengan kata lain kargo darat merupakan pengiriman dengan menggunakan rute darat, dalam penelitian Solakivi and Ojala (2017) dijelaskan bahwa faktor pemilihan kargo dalam pendistribusian terdapat beberapa kategori yaitu ketepatan waktu, ketersediaan, kesesuaian, *return*, dan biaya. Sedangkan dijelaskan oleh Meixell dan Norbis (2008) pemilihan kargo juga harus mempertimbangkan faktor jarak, sehingga pemilihan kargo darat dinilai sangat optimal untuk pengiriman yang berkaitan dengan kategori. Penggunaan kargo darat lebih banyak digunakan oleh perusahaan untuk pendistribusian logistik seperti truk ataupun kereta, tetapi fleksibilitas (Andrew, Mohamed, Robert, & Nicola, 2006) dan aksesibilitas (Meixell & Norbis, 2008) truk lebih baik dibandingkan dengan kargo lainnya.

2.3.5 Truk pengangkut

Truk merupakan sebuah kendaraan transportasi yang juga masuk kategori alat berat non angkutan manusia. Truk adalah kendaraan angkutan jalan raya dengan spesifikasi tertentu yang dipergunakan untuk mengangkut barang dalam ukuran besar dan berat (Meixell & Norbis, 2008). Dari jenisnya truk dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

- a. Truk Pick Up : jenis truk yang paling kecil, mereka hanya memiliki 2 jumlah sumbu dan 4 jumlah roda dengan maksimal kapasitas 1,5 ton.
- b. Truk Diesel Double : adalah jenis truk dengan jumlah sumbu ada 2 dan jumlah roda ada 6 dengan kapasitas 4 ton.
- c. Truk Diesel Engkel : jenis truk yang memiliki 2 jumlah sumbu dan 4 jumlah roda dengan kapasitas maksimal 2 ton.
- d. Truk Tronton : jenis truk yang memiliki 3 jumlah sumbu dengan jumlah roda ada 10, konfigurasi rodanya adalah 2 – 4 – 4. Kapasitas truk tronton mampu membawa barang sebanyak 10 ton.
- e. Truk Trailer : salah satu jenis armada transportasi yang memiliki daya angkut sangat kuat, dari 20 Ton hingga 60 Ton. Hal ini karena trailer memang didesain sebagai kargo untuk pengiriman alat dan kendaraan berat.

Rantai pasok semakin ditekan untuk mengembangkan cara memastikan keberlanjutan dalam kepedulian terhadap lingkungan. Dari semua proses rantai pasokan, transportasi truk paling diakui sebagai menciptakan efek negatif bagi masyarakat pada distribusi. Ini termasuk efek negatif pada kualitas udara, kematian manusia, penipisan sumber daya, pengeluaran pemerintah untuk infrastruktur, dan kemacetan yang mengakibatkan pengurangan kecepatan pergerakan produk (Rogers & Weber, 2016). Penggunaan bahan bakar sebuah mesin truk sekitar 30 persen dari siklus hidupnya,

dengan begitu adanya kebijakan efisiensi bahan bakar akan berdampak positif pada pengurangan biaya dan emisi karbon (Kaboli & Carmichael, 2014). Performa kinerja mesin pada kendaraan yang sering digunakan akan terus menurun pada titik tertentu. Bukan hanya itu saja semakin bertambahnya usia kendaraan juga dapat menyebabkan mobil makin boros bahan bakar dengan peningkatan rata-rata konsumsi BBM adalah 6,1% setiap tahun (Mirzazoni, Zaini, & Raharjo, 2016).

2.3.6 Emisi CO₂

CO₂ (karbon dioksida) adalah hasil pembakaran (oksidasi). Gas karbon dioksida (CO₂) berasal dari hasil pembakaran hutan, industri, kendaraan bermotor seperti pesawat, kapal, motor, mobil, ataupun kereta api. Hasil pembakaran tersebut akan meningkatkan kadar CO₂, sehingga udara tercemar. Apabila kadar CO₂ di udara terus meningkat maka dapat menyebabkan terbentuknya *greenhouse gases* (GHG) efeknya dapat meningkatkan pemanasan global suhu bumi (*global warming*). Meningkatnya emisi karbon di atmosfer bumi, telah memberi dampak pada perubahan iklim. Efek yang dapat dilihat sekarang adalah hilangnya es laut, peningkatan permukaan laut yang dipercepat dan gelombang panas yang lebih lama dan lebih intens (Fong, Matsumoto, & Lun, 2009).

Pemanasan global menjadi isu panas yang dibahas oleh para ahli dalam beberapa tahun terakhir ini. Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) menyatakan bahwa total gas rumah kaca antropogenik atau *greenhouse gases* (GHG) yang sebagian besar terdiri dari emisi CO₂ terus meningkat hingga 78% dari tahun 1970 hingga 2010 (IPCC, 2014).

Truk bertanggung jawab atas sekitar 23 persen emisi karbon dioksida (CO₂) dari transportasi jalan di Finlandia. Di Norwegia, truk adalah sumber sekitar 24 persen dari emisi CO₂ dari transportasi jalan pada tahun 2010. Truk-truk Swedia memancarkan sekitar 28 persen dari emisi CO₂ negara itu dari transportasi jalan. Menanggapi target pengurangan CO₂ Eropa, negara-negara Nordik telah menetapkan target untuk mengurangi emisi (Liimatainen, Hovi, Arvidsson, & Nykänen, 2015).

2.3.7 Faktor Emisi

Faktor emisi adalah massa dari suatu polutan yang dihasilkan relatif untuk setiap unit proses. Ini per satuan massa bahan bakar yang dikonsumsi, atau per unit produksi (Schnoor, 1996). Ada juga yang menyebutkan koefisien yang menghubungkan suatu aktivitas dengan jumlah senyawa kimia tertentu yang kemudian menjadi sumber emisi (Climate Change Information Center).

Faktor emisi dapat juga didefinisikan sebagai sejumlah berat tertentu polutan yang dihasilkan oleh terbakarnya sejumlah bahan bakar selama kurun waktu tertentu. Definisi tersebut dapat diketahui bahwa jika faktor emisi sesuatu polutan diketahui, maka banyaknya polutan yang lolos dari proses pembakarannya dapat diketahui jumlahnya persatuan waktu. Berikut adalah tabel dari faktor emisi

Tabel 2. 1 Faktor Emisi

Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/TJ)
Bensin	69,300
Solar/Diesel	74,100

Sumber: (Sugiyono, 2008)

2.3.8 Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor bahan bakar adalah ukuran dari energi panas dalam bahan bakar yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan emisi bahan bakar. Nilai kalor adalah banyaknya panas yang dapat dilepaskan oleh setiap kilogram bahan bakar jika dibakar sempurna. Berikut adalah tabel untuk tiap jenis bahan bakar yang digunakan:

Tabel 2. 2 Nilai Kalor Bahan Bakar

Bahan Bakar	Nilai Kalor (TJ/Kg)
Bensin	0,000034
Solar/Diesel	0,000033

Sumber: (Sugiyono, 2008)

2.4 Metode Yang Digunakan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi. Simulasi adalah proses yang diperlukan untuk operasionalisasi model, atau penanganan model untuk meniru tingkah-laku sistem yang sesungguhnya. Ini meliputi berbagai kegiatan seperti penggunaan diagram alir dan logika komputer, serta penulisan kode komputer dan penerapan kode tersebut pada komputer untuk menggunakan masukan dan menghasilkan keluaran yang diinginkan.

Pada prakteknya, pemodelan dan simulasi adalah proses yang berhubungan sangat erat, dan beberapa penulis membuat batasan simulasi yang mencakup pemodelan. Simulasi dijelaskan sebagai pembuatan model dari suatu proses atau sistem dengan suatu cara yang mengimitasi respon dari sistem aktual terhadap kejadiankejadian yang

terjadi menurut waktu. Selain itu, proses mendesain model dari sistem nyata dan melakukan eksperimen dengan model tersebut baik untuk tujuan memahami perilaku sistem maupun mengevaluasi berbagai strategi.

2.4.1 Permodelan Sistem Dinamik

Sistem dinamik adalah metode pemodelan dengan simulasi komputer yang dikembangkan oleh MIT pada tahun 1950an sebagai suatu alat yang digunakan oleh para manager untuk menganalisis permasalahan kompleks. Sistem dinamik adalah suatu bidang untuk memahami bagaimana sesuatu berubah menurut waktu. Sistem ini dibentuk oleh persamaan-persamaan diferensial. Persamaan diferensial digunakan untuk masalah-masalah biofisik yang diformulasikan sebagai keadaan di masa datang yang tergantung dari keadaan sekarang (Forrester, 1999)

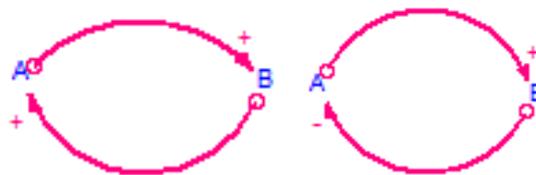
Menurut Koelling & Schwandt (2005) sistem dinamik merupakan suatu metodologi untuk menganalisis komponen-komponen sistem dengan komponen waktu sebagai faktor penting dengan menggunakan hubungan sebab akibat dan dasar logika dan matematika, penundaan waktu, dan *loop* umpan balik. Penggunaan metode ini sering digunakan untuk melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap kebijakan pada suatu sistem.

Dalam sistem dinamik, kompleksitas sistem diwujudkan berdasarkan tiga aspek, yaitu: (1) *Close loop* yang dimana sistem yang dijadikan model harus sistem tertutup, yang dimaksud tertutup adalah variable penting yang menciptakan interaksi sebab akibat berada didalam sistem, (2) adanya *feedback* Terdapat dua jenis proses umpan balik, yaitu umpan balik penguat/positif dan umpan balik penyeimbang/negatif. Seluruh sistem,

begaimanapun kompleksnya, hanya terdiri dari dua jenis umpan balik tersebut (3) *stock* kondisi atau akumulasi dari sistem pada waktu tertentu (nuhoğlu & nuhoğlu, 2007)

2.4.2 *Causal Loop Diagram*

Causal Loop Diagram (CLD) dapat digunakan untuk merekam sebuah model yang merepresentasikan keterkaitan dan proses umpan balik dalam sistem (Yuen & Chan, 2010). Selain itu, pada penelitian Behdad Kiani (Kiani, Gholamian, Hamzehei, & Hosseini, 2009) menyatakan bahwa tujuan utama CLD adalah untuk menggambarkan hipotesis kausal, sehingga membuat penyajian struktur masalah dalam bentuk agregat. Dari kedua pengertian tersebut, maka CLD dapat membantu pengguna dengan mengkomunikasikan struktur umpan balik dan mempresentasikan bagaimana sistem amatan bekerja.



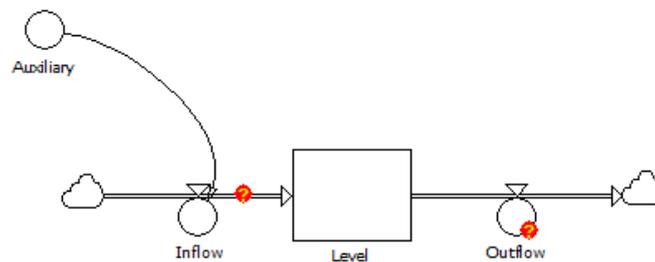
Gambar 2.1 *Causal Loop Diagram*

Causal loop diagram menunjukkan arah aliran perubahan variable dan polaritasnya. Polaritas aliran terbagi menjadi dua yaitu positif dan negatif. Polaritas positif apabila perubahan variabel pada awal aliran mengakibatkan berubahnya variabel pada akhir aliran dalam arah yang sama. Sebaliknya, polaritas negatif terjadi jika perubahan variabel pada awal aliran mengakibatkan berubahnya variabel pada akhir aliran dalam arah yang berlawanan. Menurut Sterman (2002) *causal loop* diagram sangat cocok digunakan untuk Memberikan hipotesis yang lebih cepat terhadap sebab akibat dalam permasalahan yang dinamis, Mendapatkan model mental yang lebih baik

dari individu maupun tim, dan Sarana komunikasi untuk mendapatkan feedback dari permasalahan yang terjadi.

2.4.3 Diagram Alir (*Flow Diagram*)

Flow Diagram digunakan untuk memperinci bentuk hubungan antar variabel sistem yang selanjutnya akan digunakan untuk pembuatan model matematisnya. Dalam *flow diagram* ini ditunjukkan jenis variabel dan jenis hubungan antar variabel. CLD juga merupakan model dengan mengidentifikasi variabel-variabel penting dalam sistem amatan, namun CLD tidak dapat mengandung seluruh informasi yang diperlukan sehingga simulasi dapat dijalankan. CLD tidak dapat menjelaskan variabel yang merupakan *flow* dalam sistem (Chairul Saleh, thoif, leuveano, & ab rahman, 2016).



Gambar 2.2 Simbol pada Diagram

Sesuai dengan gambaran dari SFD di atas, maka beberapa notasi diagram SFD yang digunakan dalam sistem dinamik adalah sebagai berikut:

- a. *Level* digambarkan melalui sebuah bujur sangkar. *Level* atau juga biasa disebut *stock* merupakan akumulasi dan dikarakteristikan sebagai “*the state of the system*”. *Level* menghasilkan informasi yang akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan tindakan ataupun mengambil keputusan (Sterman, 2002).

- b. *Flow* merupakan aliran yang berubah sesuai dengan fungsi waktu dan proses yang mempengaruhi *stock*. *Flow* dibedakan menjadi dua, yaitu *Inflows*, digambarkan panah yang menuju *stock* sedangkan *Outflow* digambarkan panah yang keluar *stock*. *Flow* menggambarkan adanya gerakan materi dan informasi dalam sistem, sehingga *flow* menunjukkan aktivitas dalam sistem yang mempengaruhi *stock* (Sterman, 2002).
- c. *Auxiliary* dapat berisikan informasi ataupun persamaan (*equation*) yang membangkitkan nilai *output* di setiap periode. *Auxiliary* dapat digunakan untuk mengambil informasi dan mengubahnya untuk digunakan oleh variabel lain dalam model (Sterman, 2002).
- d. *Connector* merupakan lambing yang digunakan untuk mengirimkan informasi dan *input* yang digunakan untuk mengatur *flow* (Sterman, 2002).

2.4.4 Verifikasi dan Validasi

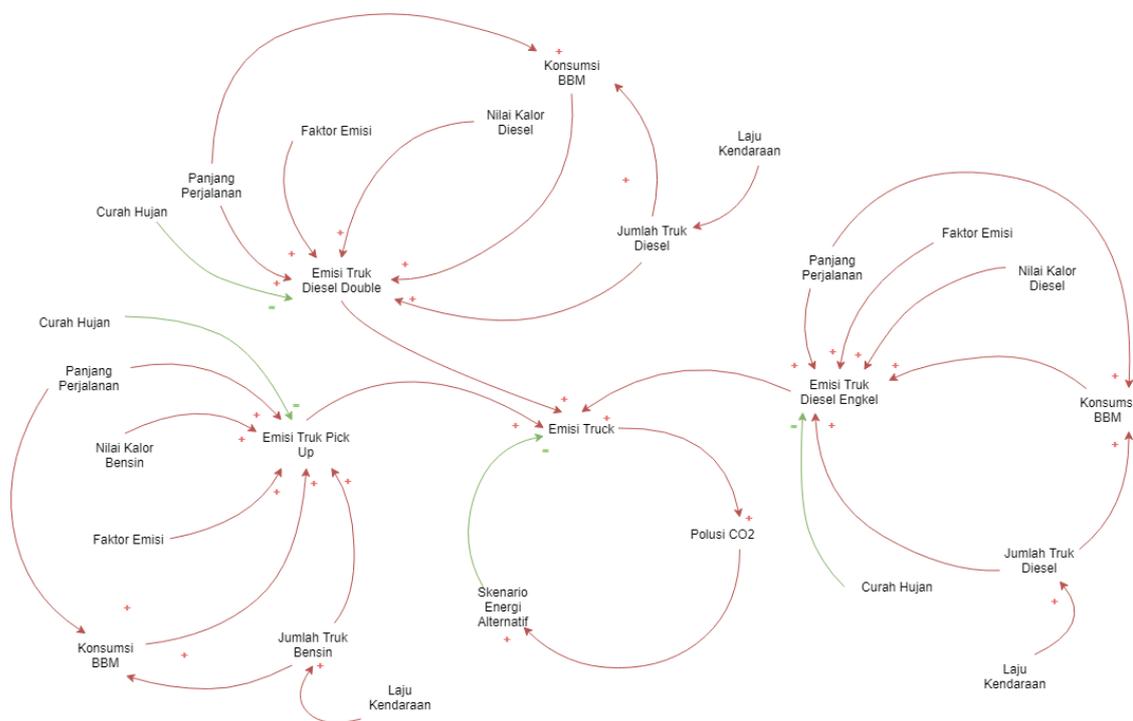
Verifikasi adalah kegiatan untuk memastikan bahwa program komputer dari model komputerisasi telah dilakukan dengan benar (Sargent, 2011) Dengan kata lain verifikasi digunakan untuk mengecek apakah ada kesalahan dalam pemrograman komputer yang dilakukan. Verifikasi dilakukan pada awal pemodelan untuk mengurangi kesalahan dalam pembuatan model.

Validasi merupakan upaya pembuktian bahwa model komputerisasi dalam domainnya yang merupakan penerapan dari sistem nyata memiliki akurasi yang memuaskan terhadap aplikasi yang dimaksud dalam model (Sargent, 2011). Dengan kata lain, validasi merupakan upaya yang dilakukan untuk memastikan model yang dibangun telah mewakili sistem nyata

Untuk memastikan dan membuktikan model simulasi yang dibuat sesuai dan merepresentasikan sistem nyata maka dilakukan mekanisme pengujian model atau validasi model. Terdapat beberapa teknik pengujian yang dapat diimplementasikan pada model sistem dinamik.

2.5 Konseptual Model

Konseptual model merupakan suatu diagram dari satu set hubungan antara faktor – faktor yang di yakini memberi dampak terhadap ke suatu kondisi target. Konseptual model yang baik tentunya menunjukkan alur yang tepat dalam penyelesaiannya. Berikut adalah gambar dari konseptual model penelitian ini.



Gambar 2.3 Konseptual Model

2.5.1 Penjelasan Konseptual Model

Berdasarkan kajian induktif serta deduktif yang telah dijelaskan diatas, penulis memutuskan untuk melakukan penelitian untuk melakukan simulasi model emisi CO₂ dari mesin truk distribusi pada perusahaan. Dilakukan proses strukturisasi masalah (*problem structuring*) dan tahap awal perencanaan *causal loop diagram* (CLD). Pada intinya, proses ini dilakukan untuk memperoleh gambaran dan data – data yang diperlukan dalam pembuatan model simulasi dinamis. Didalam proses ini, yang pertama dilakukan adalah Melakukan identifikasi terhadap permasalahan dan kondisi yang ada dengan mempelajari informasi dan perilaku yang berlaku pada aspek penggunaan kendaraan perusahaan.

Berdasarkan konsep permasalahan yang telah dipelajari, kemudian ditentukan variabel-variabel dan parameter-parameter yang berperan penting dalam pengeluaran emisi karbon (CO₂) dari mesin truk perusahaan. Melakukan pengumpulan data-data yang relevan dan detail dari lapangan menggunakan alat pengukur CO₂ lalu studi literatur yang bersangkutan atau yang sudah ada, serta data-data lain berdasarkan variabel dan parameter yang telah didefinisikan.

Pada perancangan model simulasi Dalam hal ini, proses yang dilakukan adalah pembuatan diagram sebab-akibat (*causal loop modelling*) serta perancangan model simulasi sistem dinamis (*dynamic modelling*). Membuat diagram sebab-akibat (CLD) untuk menggambarkan hubungan yang terjadi di antara varabel-variabel yang ada, Mempelajari perilaku-perilaku yang terjadi seiring dengan berjalannya waktu berdasarkan dinamika yang digambarkan dalam *causal loop diagram*.

Dari *loop* diatas diatas dijelaskan bahwa ada hubungan-hubungan baik positif (+) ataupun negative (-). Pada loop emisi truk dijelaskan bahwa ada beberapa variabel yang mempengaruhi secara positif terhadap penghasilan emisi sebuah truk yaitu dimana terdapat panjang perjalanan, nilai kalor, faktor emisi, konsumsi bahan bakar, dan jumlah truk yang dimana terdapat variabel yang mempengaruhi jumlah truk yaitu adalah laju kendaraan. Pada pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca yang dirilis oleh Kementerian ESDM 2018 di nyatakan bahwasannya perhitungan emisi mengacu pada 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (ESDM, 2018). Menurut penelitian dari Sugiyono (2008) bahwasannya berdasarkan basis bahan bakar, emisi yang ditimbulkan dari semua sumber pembakaran dapat dihitung berdasarkan kuantitas bahan bakar yang dibutuhkan dalam menempun jarak tertentu (efisiensi), sehingga panjang perjalanan memberikan hubungan positif (+) pada konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar berhubungan positif terhadap pertambahan emisi (+).

Selain itu terdapat variabel konstanta yang mempengaruhi positif terhadap emisi yaitu adalah faktor emisi dan juga nilai kalor (ESDM, 2018). Dapat dijelaskan kaitan atau hubungan-hubungan yang dimana dapat mempengaruhi tingkat emisi Co₂ dari Truk-truk secara positif (+). Faktor negatif hujan memberikan hubungan negatif terhadap emisi (-). Hujan juga diketahui berperan sebagai pelarut (*wash out*) gas rumah kaca berjenis Co₂ (Supriatin, 2015). Ada variabel lain yang dimana itu dapat mempengaruhi tingkat emisi yaitu adalah jumlah kendaraan, selain itu laju kendaraan atau pertumbuhan kendaan akan mempengaruhi jumlah kendaraan secara positif (+) per periode tertentu. Lalu dari emisi tiap tiap truk tersebut (*pick up*, diesel engkel, dan diesel

double) memberikan hubungan positif (+) terhadap polusi Co₂ yang dimana polusi Co₂ merupakan kuantitatif dari emisi truk yang dihasilkan.

Pemanasan global menjadi isu panas yang dibahas oleh para ahli dalam beberapa tahun terakhir ini. Panel Antar pemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) menyatakan bahwa total gas rumah kaca antropogenik (GRK) yang sebagian besar terdiri dari emisi CO₂ terus meningkat hingga 78% dari tahun 1970 hingga 2010 (IPCC, 2014), karena itu pemerintah Indonesia berkomitmen mengurangi emisi gas rumah kaca dengan target pengurangan emisi sebesar 29% apabila hanya menggunakan dana pemerintah pada tahun 2030 yang dimana kebijakan tersebut tertuang pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (PERPRES, 2011).

Pada peraturan tersebut dikatakan bahwa pada bagian transportasi dengan target penurunan emisi Co₂ sebesar 29% dengan beberapa program yaitu peningkatan penghematan energi, penggunaan bahan bakar yang lebih bersih, peningkatan menggunakan energi terbarukan, pemanfaatan teknologi bersih baik untuk pembangkit listrik dan transportasi, pengembangan transportasi masal. Pada penelitian ini dilakukan pengerucutan 2 upaya pengurangan emisi CO₂. Skenario yang dikembangkan diantaranya substitusi penggunaan gas sebagai bahan bakar angkutan dan yang kedua adalah substitusi dengan pemanfaatan bahan bakar nabati (biodiesel). Skenario tersebut kemudian dapat dibandingkan dengan kondisi sekarang dan digunakan sebagai bahan pertimbangan pengambilan kebijakan. Sehingga pada variabel energi alternatif berhubungan negatif (-) terhadap emisi truk karena akan terjadi minimasi terhadap emisi.

2.6 Kesimpulan

Berdasarkan kajian induktif dan deduktif dapat ditemukan bahwa *novelty* yang telah diperoleh adalah sistem dinamis terkait emisi CO₂ yang dikeluarkan oleh mesin truk pada sub distribusi perusahaan yang dimana berdampak terhadap lingkungan (*green supply chain*).