TESIS – TI185471

PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI PENGGUNAAN KERETA API SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FREKUENSI KEBERANGKATAN DAN ALOKASI PRODUK NON SEMEN

FARIS PUTRA ARDIANSYAH
02411850077021

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP., CLTD.

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

TESIS – TI185471

PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI PENGGUNAAN KERETA API SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FREKUENSI KEBERANGKATAN DAN ALOKASI PRODUK NON SEMEN

FARIS PUTRA ARDIANSYAH
02411850077021

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP., CLTD.

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

THESIS – TI185471

OPTIMIZATION MODEL DEVELOPMENT OF CEMENT FREIGHT TRAIN CONSIDERING DEPARTURE FREQUENCY AND NON-CEMENT PRODUCT ALLOCATION

FARIS PUTRA ARDIANSYAH
02411850077021

Supervisor
Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP., CLTD.

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF SYSTEMS AND INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:
FARIS PUTRA ARDIANSYAH
NRP: 02411850077021

Tanggal Ujian: 12 Agustus 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui Oleh:
Pembimbing:

1. Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng. ----------
   NIP: 196811091995031003

Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE. ----------
   NIP: 1948201931099

2. Dr.Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng. ----------
   NIP: 197405171999031002

Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D
NIP: 197005231996011001

DISCLAIMER

Tesis dengan judul "**Pengembangan Model Optimasi Penggunaan Kereta Api Semen dengan Mempertimbangkan Frekuensi Keberangkatan dan Alokasi Produk Non Semen**" merupakan dokumen penelitian yang belum dipubikasikan. Segala macam rujukan terhadap penelitian ini tidak boleh dilakukan sebelum melalui izin dari peneliti dan dosen pembimbing terkait. Pengajuan izin dapat dikirim melalui e-mail arusdian@ie.its.ac.id. Jika terdapat publikasi (seminar, jurnal nasional, atau internasional) yang menggunakan penelitian ini, maka referensi harus ditampilkan dengan baik dalam publikasi tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faris Putra Ardiansyah

NRP : 02411850077021

Program Studi : Magister Teknik Sistem dan Industri - ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul

"PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI PENGGUNAAN KERETA API SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FREKUENSI KEBERANGKATAN DAN ALOKASI PRODUK NON SEMEN"

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Agustus 2020

Yang membuat pernyataan

Faris Putra Ardiansyah

NRP. 02411850077021

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI PENGGUNAAN KERETA API SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FREKUENSI KEBERANGKATAN DAN ALOKASI PRODUK NON SEMEN

Nama mahasiswa : Faris Putra Ardiansyah
NRP : 02411850077021
Pembimbing : Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.

ABSTRAK

Dengan diberlakukan peraturan pemerintah mengenai *Zero Over Dimension and Over* Load (ODOL), perusahaan transportasi dengan angkutan muatan yang berat seperti semen, keramik, dan galian non logam akan terkena dampaknya. Salah satu solusi yang dapat dilakukan dengan merubah pola jaringan distribusinya. Untuk pengiriman produk dengan jarak jauh dapat menggunakan transportasi multimoda/intermoda kereta api. Pengangkutan barang terutama semen dapat menggunakan dua atau lebih moda transportasi pengiriman yang dilakukan dari Stasiun Babat menuju ke Stasiun Pasoso. Namun dalam pelaksanaannya, pengiriman dengan menggunakan transportasi kereta api ini masih belum maksimal. Utilisasi pemakaian masih belum optimal yaitu rata-rata mencapai 50% dari keseluruhan gerbong datar kereta api yang digunakan. Selain itu, terjadi kerugian yang harus ditanggung perusahaan karena biaya penggunaan gerbong datar kereta api ini bersifat *fix cost*/biaya tetap. Apabila gerbong datar tidak digunakan maka tetap ada biaya yang harus dibayar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja dari kereta api semen. Pengembangan model optimasi dilakukan dengan menggunakan *Mixed Integer Linier Programming* dan menambahkan variabel terhadap frekuensi keberangkatan kereta api. Selain itu, untuk sisa gerbong datar yang tidak terpakai akan dialokasikan untuk pengiriman muatan non semen.

Kata kunci: Alokasi produk non semen, Frekuensi keberangkatan, Kereta api semen, *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION MODEL DEVELOPMENT OF CEMENT FREIGHT TRAIN CONSIDERING DEPARTURE FREQUENCY AND NON-CEMENT PRODUCT ALLOCATION

By	: Faris Putra Ardiansyah
Student Identity Number	: 02411850077021
Supervisor	: Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.

ABSTRACT

The government regulation about *Zero Over-Dimension and Overloading*, transportation companies with heavy cargo transportation such as cement, ceramics, and non-metal excavation will be affected. The solution can be done by changing its distribution network. For the long haul, distribution can use multimodal/intermodal transportation. The transportation of goods, especially cement, can use two or more modes of transportation that carried out from Babat Station to Pasoso Station. But in practice, the delivery using a freight train still not optimal yet. It can be seen from its utilization with an average of 50% from the total of the flatcar train used. In addition, there is still a loss because of the fixed cost that using a flatcar train. It means if the flatcar train is not used, there will be costs to be paid. Therefore, this study aims to optimize the performance of the cement freight train. The optimization model development is done by using *Mixed Integer Linear Programming* and adding train departure frequency variables. The remaining unused a flatcar train will be allocated for other non-cement cargo shipments.

Key words: Non-cement cargo shipment, Departure frequency, Cement freight train, *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur atas kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis ini dengan judul:

"Pengembangan Model Optimasi Penggunaan Kereta Api Semen dengan Mempertimbangkan Frekuensi Keberangkatan dan Alokasi Produk Non Semen"

Penyusunan laporan ini merupakan salah satu tugas untuk memenuhi syarat kelulusan studi Strata-2 Kuliah Kerjasama Industri (KKI) Jurusan Teknik Sistem dan Industri ITS.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan laporan tesis ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan istri tercinta yang senantiasa mendukung dan mendoakan kebaikan kepada penulis selama ini
2. Bapak Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP., CLTD. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi selama penyusunan laporan tesis
3. Bapak dosen penguji seminar proposal dan sidang tesis, Bapak Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE., Bapak Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D., dan Dr.Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng. yang telah memberikan arahan, saran, dan perbaikan pada laporan tesis ini
4. Seluruh dosen pengajar Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sistem dan Industri ITS yang telah mendidik, memberikan ilmu, dan bimbingan selama perkuliahan
5. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Sistem dan Industri ITS, terutama Mbak Rahayu dan Mbak Fitri yang telah banyak membantu memberikan pengarahan dan informasi terkait kegiatan akademik

6. Manajemen PT Semen Indonesia Logistik dan PT Semen Indonesia (Persero) yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti program beasiswa S2 Kuliah Kerjasama Industri (KKI) SMI-ITS
7. Rekan-rekan seperjuangan S2 KKI SMI-ITS yang senantiasa menemani, memberikan saran, dan dukungan selama perkuliahan
8. Rekan kerja, sahabat, dan semua pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tesis ini

Penulis menyadari adanya keterbatasan didalam penyusunan laporan tesis ini. Besar harapan penulis dengan adanya saran dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga penelitian ini dapat bermanfaat baik dalam konteks akademik maupun praktisi.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS vii

ABSTRAK ix

ABSTRACT xi

KATA PENGANTAR xiii

DAFTAR ISI xv

DAFTAR GAMBAR xvii

DAFTAR TABEL xix

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian 6
1.5.1 Batasan 6
1.5.2 Asumsi 6
1.6 Sistematika Penulisan 7

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 9

2.1 Manajemen Transportasi 9
2.2 Moda Transportasi Kereta Api 13
2.3 Frekuensi Keberangkatan Kereta Api Barang 17
2.4 Model Optimasi 18
2.5 Model Integer Programming 19
2.6 Analisis Sensitivitas 20
2.7 Penelitian Terdahulu 21

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 27

3.1 Tahap Pengumpulan Data 29
3.2 Tahap Pengembangan Model 29
3.3 Tahap Pengolahan Data 30

3.4 Tahap Analisa dan Pengambilan Keputusan 31
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL 33
4.1 Deskipsi Pengembangan Model 33
4.2 Model Acuan 35
4.2.1 Model Acuan Frekuensi Keberangkatan 35
4.2.2 Model Acuan Alokasi Kontainer 36
4.3 Rancangan Skenario 37
4.4 Formulasi Model Usulan 38
4.4.1 Notasi Model Usulan 38
4.4.2 Fungsi Tujuan 39
4.4.3 Fungsi Kendala atau Batasan (*constraints*) 40
BAB 5 ANALISA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN 43
5.1 Data Numerik 43
5.2 Verifikasi dan Validasi Model 45
5.2.1 Verifikasi Model 46
5.2.2 Validasi Model 47
5.3 Percobaan Numerik & Analisa Hasil 50
5.3.1 Hasil Percobaan Skenario 1 50
5.3.2 Hasil Percobaan Skenario 2 55
5.3.3 Hasil Percobaan Skenario 3 59
5.4 Kebijakan Penurunan Harga 64
5.5 Analisis Sensitivitas 66
5.5.1 Analisis Sensitivitas pada Skenario 1 66
5.5.2 Analisis Sensitivitas pada Skenario 2 67
5.5.3 Analisis Sensitivitas pada Skenario 3 68
5.5.4 Hasil Analisis Sensitivitas pada Ketiga Skenario 69
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 71
6.1 Kesimpulan 71
6.2 Saran 71
DAFTAR PUSTAKA 73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Alur distribusi menggunakan transportasi intermoda kereta api.....2
Gambar 1.2 Realisasi kontainer dari Stasiun Babat.....3
Gambar 2.1 Gerbong datar kereta api barang 14
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian.....27
Gambar 3.2 Diagram alir metodologi penelitian (lanjutan).....28
Gambar 4.1 Skema jadwal keberangkatan kereta api barang setiap: a) sehari sekali, b) dua hari sekali, c) tiga hari sekali.....34
Gambar 5.1 Verifikasi model dengan menggunakan *software Open Solver* 46
Gambar 5.2 Hasil optimasi dan verifikasi menggunakan *software Open Solver*...47
Gambar 5.3 Hasil akumulasi profit pengiriman semen dan non semen.....49
Gambar 5.4 Perbandingan perolehan profit pada skenario 1 54
Gambar 5.5 Perbandingan perolehan profit pada skenario 2 58
Gambar 5.6 Perbandingan perolehan profit pada masing-masing skenario.....63
Gambar 5.7 Grafik perbandingan penurunan harga terhadap perolehan profit pada masing-masing skenario.....65
Gambar 5.8 Perbandingan hasil analisis sensitivitas antara kebutuhan pelanggan dengan jumlah kontainer 70
Gambar 5.9 Perbandingan hasil analisis sensitivitas antara kebutuhan pelanggan dengan perolehan profit.....70

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik moda transportasi 10
Tabel 2.2 Keunggulan dan kelamahan masing-masing moda transportasi 11
Tabel 2.3 Urutan peringkat moda transportasi berdasarkan nilai terkecil 12
Tabel 2.4 Data teknis gerbong datar 14
Tabel 2.5 Detail profil Stasiun Babat 15
Tabel 2.6 Detail profil Stasiun Pasoso 16
Tabel 2.7 Posisi penelitian 23
Tabel 4.1 Rancangan skenario 37
Tabel 5.1 Parameter perhitungan 43
Tabel 5.2 Target pengiriman semen pada tahun 2020 44
Tabel 5.3 Perbandingan hasil perhitungan pada keberangkatan sehari sekali 48
Tabel 5.4 Hasil variabel keputusan skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (annually) 51
Tabel 5.5 Hasil perhitungan profit dan alokasi kontainer skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (annually) 51
Tabel 5.6 Hasil variabel keputusan skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (periodic) 52
Tabel 5.7 Hasil perhitungan profit dan alokasi kontainer skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (periodic) 53
Tabel 5.8 Hasil variabel keputusan skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (annually) 55
Tabel 5.9 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (annually) .. 56
Tabel 5.10 Hasil variabel keputusan skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (periodic) 57
Tabel 5.11 Hasil perhitungan profit dan alokasi kontainer skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (periodic) 57
Tabel 5.12 Hasil variabel keputusan skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (annually) 59

Tabel 5.13 Hasil perhitungan profit dan alokasi kontainer skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (annually) 60
Tabel 5.14 Hasil variabel keputusan skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (periodic)..... 61
Tabel 5.15 Hasil perhitungan profit dan alokasi kontainer skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (periodic) 62
Tabel 5.16 Perbandingan perolehan profit pada masing-masing skenario..... 63
Tabel 5.17 Hasil optimasi pada penurunan harga pengiriman kontainer non semen 64
Tabel 5.18 Hasil analisis sensitivitas skenario 1 67
Tabel 5.19 Hasil analisis sensitivitas skenario 2 67
Tabel 5.20 Hasil analisis sensitivitas skenario 3 68

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

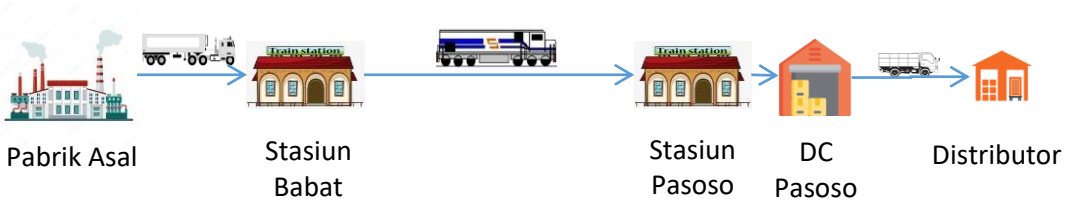
Transportasi memegang peranan penting dalam menunjang kegiatan masyarakat Indonesia. Sistem transportasi nasional yang ditata secara sistematis dan terpadu diharapkan dapat mewujudkan angkutan jalan yang tertib, nyaman, cepat, lancar, dan berbiaya murah. Namun seiring berjalannya waktu, pelanggaran pada sistem angkutan dan transportasi semakin meningkat. Sebagian besar pelanggaran disebabkan karena dimensi dan muatan berlebih sehingga dapat mengakibatkan kerugian secara material pada prasarana angkutan darat seperti jalan dan jembatan. Kemudian aspek lain yang perlu diperhatikan yaitu dampak terhadap meningkatnya potensi terjadinya kecelakaan. Berdasarkan hal tersebut, pemerintah melalui Peraturan Menteri Perhubungan mulai melakukan penertiban melalui program Zero Over Dimension and Over Load (ODOL).

Dengan diberlakukan peraturan Zero ODOL aktivitas transportasi akan terkena dampaknya terutama pada industri dengan muatan yang berat seperti semen, keramik, dan galian non logam. Hal ini dapat mengakibatkan semakin tingginya penambahan moda transportasi, kenaikan kebutuhan solar, dan meningkatnya emisi gas CO2. Dari aspek ekonomi dan perindustrian dengan berlakunya peraturan Zero ODOL dapat mengakibatkan semakin tingginya biaya transportasi/logistik yang ditanggung perusahaan. Selain itu, untuk memenangkan daya saing industri, indikator penting yang harus dimiliki ialah biaya logistik yang efisien dan murah. Dengan semakin tingginya biaya logistik maka akan menyebabkan kenaikan biaya pokok industri di pasar.

Untuk menyelesaikan permasalahan kelebihan dimensi dan muatan tersebut dibutuhkan suatu inovasi baru untuk mengoptimalkan pengelolaan proses bisnis disepanjang rantai pasok terutama di industri semen. PT Semen Indonesia Logistik (PT SILOG) merupakan perusahaan yang bergerak dibidang distribusi dan transportasi bahan material yang mulai melakukan pengembangan pola distribusi dengan menggunakan multimoda/intermoda kereta api.

Transportasi multimoda merupakan sistem pengangkutan barang dengan menggunakan dua atau lebih moda transportasi secara kontinyu tanpa mengubah sifat dari barangnya. Sistem transportasi multimoda menggabungkan beberapa moda transportasi secara berkelanjutan dengan beberapa konfigurasi pilihan jalur. Yaitu melalui jalan raya dan rel kereta, rel kereta dan angkutan perairan, serta jalur rel kereta dan udara (Newman & Yano, 2000). Transportasi multimoda kereta api dipilih karena memiliki keunggulan pada biaya transportasi yang cukup murah terutama untuk pergerakan barang jarak jauh. Dengan jarak pengiriman 500 - 1500 km dapat membuat moda transportasi kereta api memiliki biaya transportasi dan logistik yang lebih efisien dibanding yang lain (Setijadi, 2013). Moda ini sesuai untuk komoditas bahan mentah (raw material) dengan volume muat yang besar dan beberapa produk akhir yang nilai per unitnya rendah, dan tidak sensitif terhadap waktu.

Pada tahun 2014, PT Semen Indonesa Logistik (PT SILOG) mulai bekerja sama dengan PT Kereta Api Indonesia (PT KAI) untuk melakukan pengiriman angkutan semen dari Stasiun Babat menuju ke Stasiun Pasoso Jakarta. Kontrak yang dilakukan oleh PT SILOG ialah sewa angkutan kereta api kontainer sebanyak 30 gerbong datar, diantaranya 25 gerbong datar utama dan 5 gerbong datar cadangan. Satu gerbong datar dapat mengangkut 2 kontainer dengan masing-masing muatan seberat 18 hingga 20 ton.

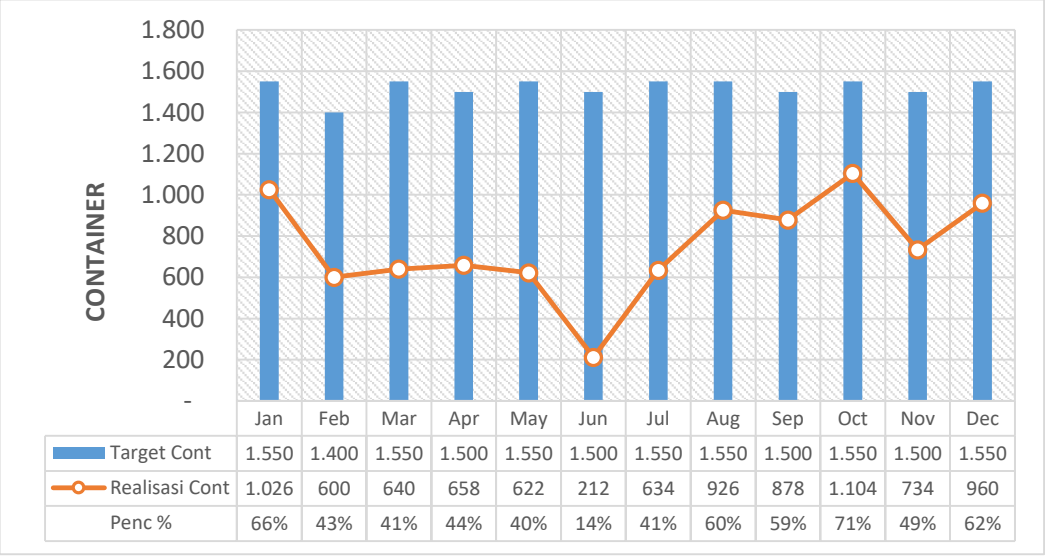


Gambar 1.1 Alur distribusi menggunakan transportasi intermoda kereta api

Hingga saat ini distribusi semen menggunakan moda tranportasi kereta api masih berjalan. Pengiriman semen dimulai dari pabrik PT Semen Indonesia (Persero) di Tuban ke Stasiun Babat dengan menggunakan truk jenis tronton dan trailer sebanyak 30 unit. Semen dalam kemasan kantong zak tersebut dipindahkan

ke dalam kontainer gerbong datar kereta api menuju Stasiun Pasoso. Kemudian proses bongkar muatan (unloading) kontainer dari gerbong datar kereta api menuju ke truk menggunakan reach stacker dan setelah itu dikirim menuju ke distributor yang terletak di wilayah Jawa Barat, DKI Jakarta, dan Banten.

Selama satu tahun, target pengiriman kontainer yang dikirim menggunakan kereta api barang dari Stasiun Babat ke Stasiun Pasoso tidak pernah terpenuhi. Dalam satu bulan target pengiriman kontainer berkisar antara 1500 hingga 1550 unit kontainer. Realisasi pengiriman rata-rata mencapai 750 unit kontainer saja atau setara dengan 50% utilisasi penggunaan keseluruhan kontainer. Pencapaian tertinggi terjadi pada bulan Oktober sebesar 71% yaitu 1.100 kontainer terpenuhi dari target sebesar 1.550 kontainer. Pada gambar 1.2 merupakan realisasi jumlah kontainer semen zak yang dikirim dari Stasiun Babat ke Stasiun Pasoso.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Target Cont	1.550	1.400	1.550	1.500	1.550	1.500	1.550	1.550	1.500	1.550	1.500	1.550
Realisasi Cont	1.026	600	640	658	622	212	634	926	878	1.104	734	960
Penc %	66%	43%	41%	44%	40%	14%	41%	60%	59%	71%	49%	62%

Gambar 1.2 Realisasi kontainer dari Stasiun Babat (Sumber: PT Semen Indonesia Logistik, 2019)

Penggunaan kontainer gerbong datar yang tidak maksimal dapat disebabkan oleh beberapa hal. Faktor yang pertama disebabkan oleh fluktuasi dan kurangnya kebutuhan pelanggan dari setiap distrik di area Jawa Barat, DKI Jakarta, dan Banten. Terjadi penurunan kebutuhan semen terutama pada semester pertama dan penurunan yang drastis ketika libur panjang dengan rata-rata utilisasi menurun

hingga 40%. Faktor kedua yang menyebabkan rendahnya realisasi pengiriman disebabkan karena adanya kelebihan suplai (oversupply) dan penumpukan pengiriman. Kebutuhan semen di area Jawa Barat, DKI Jakarta, dan Banten selain disuplai menggunakan transportasi kereta api juga dikirim melalui transportasi laut dan truk. Hal ini sangat berpengaruh pada minimnya realisasi dan kinerja angkutan kereta api semen.

Selain realisasi pengiriman yang minim terdapat permasalahan lain terutama pada biaya yang harus ditanggung oleh perusahaan. Hal ini disebabkan karena biaya pengiriman bersifat fixed cost/biaya tetap. PT SILOG bekerja sama dengan sistem sewa seluruh rangkaian gerbong datar, apabila pengiriman kontainer semen tidak terisi penuh dalam setiap pengiriman maka perusahaan tetap membayar keseluruhan gerbong datar kereta api yang berangkat.

Untuk meningkatkan performansi pengiriman melalui kereta api barang, maka perusahaan dapat melakukan konsolidasi pengiriman dengan perusahaan selain semen. Konsolidasi pengiriman/Shipment Consolidation (SCL) merupakan suatu strategi logistik yang menggabungkan dua atau lebih order pengiriman dengan menggunakan kendaraan yang sama dan dikirim pada lokasi tujuan yang sama pula. Metode ini sangat berpengaruh pada skala ekonomis dalam menurunkan biaya pengiriman per unit kontainernya (Ulku, 2009). Alokasi sisa kontainer yang tidak terpakai akan disewakan kepada perusahaan lain selain komoditi semen, bentuk kerja sama perusahaan dengan melakukan sewa per unit kontainer disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan.

Berbagai komoditi non semen dapat diangkut kedalam kontainer, barang ekspor impor maupun angkutan kargo antar kota menjadi pilihan perusahaan untuk menawarkan jasa angkutan kereta api barang ini. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi terhadap alokasi kontainer, beberapa skenario digunakan untuk mencari profit teroptimal. Selain itu, salah satu skenario alokasi kontainer disimulasikan terisi penuh dengan tujuan untuk mencari jumlah kontainer non semen yang dapat ditawarkan kepada pelanggan.

Kemudian pada penelitian ini juga menggunakan metode lain untuk mengoptimalkan kinerja pengiriman kereta api barang. Menurut Chopra (2016), terdapat hubungan antara total biaya dengan pengaturan jadwal pengiriman barang.

Dengan melakukan penundaan jadwal pengiriman barang dengan tujuan untuk mendapatkan agregat order maka dapat menurunkan total biaya pengiriman. Oleh karena itu, pada penelitian ini membuat suatu pengembangan model keputusan meminimalkan biaya pengiriman dengan mempertimbangkan frekuensi keberangkatan kereta api barang. Selain itu, untuk meningkatkan utilisasi dan profit maka sisa kontainer kosong akan dialokasikan pada pengiriman non semen.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam sub-bab ini, permasalahan yang ingin diselesaikan dirumuskan untuk mengetahui model keputusan optimasi pada angkutan kereta api semen dengan mempertimbangkan frekuensi keberangkatan dan alokasi penambahan muatan untuk non semen. Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan model keputusan dalam pengaturan jadwal keberangkatan kereta api barang dan alokasi muatan non semen?
2. Bagaimana menentukan penurunan biaya pengiriman angkutan kereta api non semen?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian dan target sasaran yang ingin dicapai dinyatakan secara singkat dan jelas sesuai dengan permasalahan yang telah dirumuskan. Penelitian / studi berfungsi untuk menjawab rumusan masalah sekaligus menentukan tahap penyelesaian masalah sehingga memperoleh kesimpulan dari hasil analisa penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh model keputusan dalam pengaturan jadwal keberangkatan dan alokasi muatan non semen
2. Untuk memperoleh penetapan penurunan biaya pengiriman untuk angkutan kereta api barang non semen

1.4 Manfaat Penelitian

Keberartian penelitian ini akan ditentukan oleh manfaat dilakukannya penelitian ini. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan keputusan kepada perusahaan dalam menetapkan pengaturan jadwal keberangkatan sehingga dapat meningkatkan utilisasi dari angkutan kereta api semen
2. Mengetahui banyaknya alokasi muatan non semen yang dapat diakomodir sehingga dapat meningkatkan profit perusahaan
3. Untuk memberikan rekomendasi kepada perusahaan dalam menentapkan biaya pengiriman untuk angkutan kereta api non semen

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingup penelitian membahas mengenai batasan dan asumsi yang akan digunakan dalam penelitian. Adapun batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1.5.1 Batasan

1. Penelitian menggunakan angkutan kereta api barang dari Stasiun Babat menuju ke stasiun Pasoso tanpa adanya angkutan kembali
2. Model permasalahan tidak mempertimbangkan penjadwalan kereta api penumpang
3. Penelitian berfokus pada penjadwalan kereta api barang dan alokasi muatan non semen tanpa mempertimbangkan aspek biaya pengiriman dari asal pemuatan ke stasiun dan biaya pengiriman dari stasiun ke distributor

1.5.2 Asumsi

1. Data permintaan pelanggan menggunakan target pengiriman angkutan kereta api semen pada tahun 2020 dengan mengikuti bentuk *seasonal elasticity*
2. Jadwal dibuat dalam kondisi ideal tanpa mempertimbangkan keterlambatan waktu keberangkatan dan kedatangan akibat bencana alam, kerusakan rel, atau kecelakaan
3. Waktu *loading* dan *unloading* tidak mempengaruhi model secara langsung

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang yang menjadi dasar penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian yang ingin dicapai, ruang lingkup penelitian yang berisi batasan asumsi yang digunakan, serta sistematika penulisan laporan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang gambaran umum dari teori yang digunakan dan literatur yang berkaitan dengan penelitian sebelumnya sebagai referensi. Teori yang akan digunakan mengenai manajemen transportasi, kereta api, dan model acuan yang akan digunakan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian, yang berisi tahapan sistematis untuk menjawab identifikasi masalah pada penelitian. Metodologi digunakan sebagai dasar kerangka berfikir yang terstruktur dan terarah.

BAB 4. PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini menjelaskan tentang model yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penelitian, bersama dengan rencana pengembangan model matematis, pembuatan alat bantu pengambilan keputusan, dan proses validasi.

BAB 5. ANALISA DATA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Bab ini memuat tentang hasil pengolahan data yang diperoleh dengan pengujian beberapa skenario. Selain itu memuat tentang hasil pengambilan keputusan serta pembahasan hasil pengolahan data yang diperoleh.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir dalam penelitian ini berisi dari kesimpulan keseluruhan dari penelitian yang menjawab tujuan dari penelitian ini. Sementara saran yang disertakan digunakan untuk memberikan jalan peneliti lain untuk memperbaiki atau mengembangkan penelitian ini.Latar belakang menyajikan konteks penelitian, untuk apa penelitian ini dilakukan, dan hal apa yang mengarahkan penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Transportasi

Manajemen transportasi menjadi salah satu faktor penting untuk mendukung kegiatan mulai dari produksi, perdagangan, pertanian, hingga aspek pembangunan ekonomi. Transportasi digunakan untuk memudahkan manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Kemudahan yang diperoleh dengan adanya transportasi diantaranya dapat mengatasi jarak antara sumber daya manusia dengan sumber daya alam atau barang produksi yang dibutuhkan manusia yang terletak pada masing-masing geografi (Andriansyah, 2015).

Transportasi dapat diartikan sebagai usaha untuk memindahkan, menggerakkan, mengangkut, atau mengalihkan suatu objek dari suatu tempat menuju ke tempat lain, sehingga objek tersebut menjadi lebih bermanfaat dan dapat berguna untuk tujuan tertentu (Miro, 2005). Sedangkan menurut Nasution (2008) transportasi adalah pemindahan barang dan manusia dari tempat asal ke tempat tujuan. Jadi pengertian transportasi dapat diartikan sebagai proses pemindahan, pergerakan, mengangkut, dan mengalihkan dimana proses ini tidak bisa dilepaskan dari keperluan akan alat pendukung untuk menjamin lancarnya proses perpindahan sesuai dengan waktu yang diinginkan.

Menurut Nasution (2008) terdapat unsur-unsur pengangkutan/transportasi diantaranya sebagai berikut:

1. Ada muatan yang diangkut
2. Tersedia kendaraan sebagai alat angkutnya
3. Jalanan/jalur yang dapat dilalui
4. Ada terminal asal dan tujuan
5. Tersedianya sumber daya manusia dan organisasi atau manajemen yang menggerakkan kegiatan transportasi tersebut

Masing-masing unsur tersebut tidak dapat beroperasi terpisah dan berdiri sendiri. Apabila salah satu unsur transportasi tidak dapat terpenuhi maka sistem transportasi juga tidak dapat berfungsi atau bekerja.

Dalam dunia logistik moda transportasi terdapat lima kelompok yang dibedakan sesuai sifat jasa, operasi, dan biaya pengangkutan. Adapun beberapa moda transportasi tersebut diantaranya truk (*motor/road/highway transportation)*, kereta api (*rail road railway*), pesawat (*air transportation*), kapal (*water/sea transportation*), angkutan pipa (*pipeline),* dan terakhir perpaduan antar moda yang dikenal dengan multimoda/intermoda.

Setiap moda transportasi memiliki karakteristik kegunaan dan skala ekonomis yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Namun pada umumnya moda transportasi yang paling banyak digunakan ialah transportasi darat terutama dengan menggunakan truk.

Pemilihan moda transportasi didasarkan pada beberapa aspek utama yaitu aksesabilitas (*accessibility*), *transit time*, keandalan *(realibility*), dan keamanan kiriman *(shipment safety*). Aksesabilitas transportasi berhubungan dengan kemampuan suatu moda transportasi untuk menjangkau lokasi yang dituju. Adanya kendala geografi dan keterbatasan infrastruktur dapat mempengaruhi aksesabilitas moda transportasi tersebut. Kemudian aspek lain yan/g perlu diperhatikan terkait *transit time* yang berpengaruh terhadap kesediaan *inventory*, biaya atau kerugian karena kehabisan persediaan (*stockout cost*). Secara lengkap perbandingan karakteristik antar moda dapat disajikan sebagai tabel berikut:

Pada tabel 2.1 menjelaskan tentang karakteristik moda transportasi yang dijelaskan berdasarkan peran utama dan karakter produk yang dapat diangkut. Kemudian pada tabel 2.2 dilanjutkan dengan penjabaran kelebihan dan kekurangan dari masing-masing moda transportasi.

Tabel 2.1 Karakteristik moda transportasi

Moda	**Peran Utama**	**Karakter Produk**
Truk	Angkutan kiriman lokal dan domestik	Nilai tinggi Volume kecil
Kereta Api	Angkutan kiriman dalam jumlah besar	Nilai rendah Bahan baku

Moda	Peran Utama	Karakter Produk
		Volume tinggi
Pesawat	Angkutan kiriman *urgent* domestik dan internasional	Nilai tinggi Produk jadi Volume rendah Sensitif waktu
Kapal	Angkutan volume besar; Domestik dan internasional	Nilai tinggi Bahan baku Komoditas bulky Kontainer
Pipa	Volume besar dan jarak panjang	Nilai rendah Komoditas cair Tidak sensitif waktu

Sumber: Coyle, 2016 (diolah)

Tabel 2.2 Keunggulan dan kelamahan masing-masing moda transportasi

Moda	Keunggulan	Kelemahan
Truk	Aksesabilitas cepat Responsif	Kapasitas terbatas Biaya per ton-km tinggi
Kereta Api	Kapasitas tinggi Biaya per ton-km rendah	Keterbatasan akses Tingkat kerusakan barang tinggi
Pesawat	Kecepatan Keamanan	Keterbatasan akses Biaya tinggi Kapasitas terbatas
Kapal	Kapasitas tinggi	Keterbatasan akses

Moda	Keunggulan	Kelemahan
	Biaya rendah	Lambat
Pipa	Efisien In-transit storage Biaya rendah	Keterbatasan akses Lambat

Sumber: Coyle, 2016 (diolah)

Moda transportasi memiliki peranan masing-masing yang disesuaikan dengan kebutuhan. Namun menurut Bowersox (2013) moda transportasi tetap dapat dilakukan dikelompokkan dan dilakukan penilaian berbasis peringkat. Metode yang dilakukan dapat menggunakan pembobotan berdasarkan aspek kecepatan, ketersediaan, ketergantungan, kapasitas, serta frekuensi ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Urutan peringkat moda transportasi berdasarkan nilai terkecil

Karakteristik	**Moda Transportasi**				
	Truk	**Kereta**	**Kapal**	**Pesawat**	**Pipa**
Kecepatan	2	3	4	1	5
Ketersediaan	1	2	4	3	5
Ketergantungan	2	3	4	5	1
Kapasitas	3	2	1	4	5
Frekuensi	2	4	5	3	1
Total Nilai	10	14	18	16	17
Peringkat	**1**	**2**	**5**	**3**	**4**

Pada tabel 2.3 menunjukkan bahwa berdasarkan aspek kecepatan, ketersediaan, kapasitas, serta frekuensi didapatkan peringkat tertinggi adalah moda truk dan kereta api. Namun pemilihan moda transportasi tetap didasarkan pada jenis komoditas barang yang akan dikirim.

2.2 Moda Transportasi Kereta Api

Transportasi darat dikembangkan menjadi 2 jenis moda angkutan, yaitu moda angkutan jalan/kendaraan bermotor dan moda angkutan kereta api. Moda angkutan jalan raya yaitu truk, mobil, dan bus dengan prasarana berupa jalan raya, terminal, jembatan, dan lain sebagainya. Sedangkan moda angkutan kereta api merupakan jenis transportasi yang bergerak dengan menggunakan rel. Dalam pelayanannya, kereta api ditarik oleh lokomotif yang dapat mengangkut ribuan ton barang atau ratusan penumpang.

Saat ini moda angkutan kereta api dikelola oleh PT Kereta Api Indonesia (Persero) dengan memberikan layanan transportasi kereta penumpang dan kereta barang. Jenis layanan kereta penumpang menawarkan perjalanan jarak jauh (utama) dan jarak dekat (lokal). Untuk kereta penumpang perjalanan jarak jauh dibagi menjadi 3 kelas KA Utama (eksekutif, bisnis, ekonomi AC) dan perjalanan lokal dibagi menjadi 2 Kelas Lokal (bisnis dan ekonomi).

Kemudian layanan kereta barang terdiri dari angkutan barang yang diangkut menggunakan peti kemas/*container* maupun bak terbuka/*flat bed*. Dalam satu rangkaian kereta barang dapat menarik maksimal hingga 30 gerbong datar (GD), dimana setiap gerbong datar memiliki kapasitas hingga dua TEUS (*Twenty Foot Equivalent Unit*). Gerbong datar sendiri merupakan jenis gerbong kereta api barang yang tersusun atas dek berlantai datar. Jenis gerbong ini digunakan untuk mengangkut barang dengan kapasitas yang cukup besar. Gerbong datar sering digunakan untuk angkutan peti kemas (*container*) dan merupakan bagian dari pengiriman transportasi intermoda. Pada gambar 2.1 dapat dilihat gerbong datar yang digunakan untuk pengiriman angkutan barang:

Gambar 2.1 Gerbong datar kereta api barang (Sumber: PT INKA, 2020)

Gerbong datar yang digunakan oleh PT Kereta Api Indonesia (Persero) dapat mengangkut dengan kapasitas muat maksimal hingga 54 ton termasuk berat kosong per gerbong datar hingga 15 ton. Adapun kecepatan maksimum dari kereta api barang dapat menempuh 80 km/jam. Berikut merupakan data teknis gerbong datar yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 2.4 Data teknis gerbong datar

Kapasitas muat max	54 ton
Kecepatan max	80 km/jam
Lebar sepur	1.067 mm
Beban gandar	18 ton
Panjang gandar ujung gerbong	12.495 mm
Lebar gerbong	2.438 mm
Tinggi lantai dari atas rel	935 mm
Jarak antar pusat bogie	8.685 mm
Tinggi pusat alat perangkai dari atas rel	775 mm
Berat kosong (maximum)	15.000 kg

Sumber: PT Kereta Api Indonesia (Persero), 2020

PT Kereta Api Indonesia (Persero) memiliki beberapa jenis terminal angkutan barang yang dibedakan berdasarkan jenis pengelola kawasan bongkar muatnya. Adapun beberapa jenis terminal angkutan barang sebagai berikut:

1. *Multi Operator Terminal*

Terminal angkutan barang ini merupakan salah satu jenis kawasan tempat muat bongkar angkutan barang dengan menggunakan kereta api yang dapat dikelola oleh lebih dari satu perusahaan dan masih dapat dikerjasamakan dengan pihak lain. Pada penelitian ini objek stasiun yang digunakan termasuk dalam kategori *multi operator terminal*. Stasiun asal keberangkatan kereta api dimulai dari Stasiun Babat yang berada di daerah Babat, Kabupaten Lamongan. Barang-barang yang diangkut dari stasiun ini mayoritas berupa komoditi semen yang dikirim menggunakan peti kemas/kontainer. Berikut merupakan detail profil dari Stasiun Babat:

Tabel 2.5 Detail profil Stasiun Babat

Stasiun Babat	**Keterangan**
Lokasi	Babat, Kab. Lamongan, Jawa Timur
Luas Lahan	6.454,58 m^2
Jenis Terminal	*Container Yard/Warehouse*
Fasilitas	Akses bongkar muat, lahan parkir, pengamanan 24 jam, sumber listrik
Akses	Jln. Raya Gresik-Babat (± 0,02 km) Pasar Babat (± 0,6 km)
Pengelola Kawasan	*Multi Operator* (masih tersedia lahan untuk disewa)
Pemilik Barang	PT Semen Gresik
Perusahaan Pengankut/Trasportir	PT Semen Indonesia Logistik PT Jatim Petroluem Transport

Sumber: PT Kereta Api Indonesia (Persero), 2020

Kemudian stasiun tujuan berada di Stasiun Pasoso yang terletak di Tanjung Priok, DKI Jakarta. Kedua stasiun tersebut dikelola oleh PT Semen Indonesia Logistik yang bekerja sama dengan PT Jatim Petroleum Transport. Untuk detail profil Stasiun Pasoso dapat dilihat pada tabel 2.6 sebagaimana berikut:

Tabel 2.6 Detail profil Stasiun Pasoso

Stasiun Pasoso	**Keterangan**
Lokasi	Tanjung Priok, Jakarta Utara, DKI Jakarta
Luas Lahan	20.000 m^2
Jenis Terminal	*Container Yard*
Fasilitas	*Reach Stacker*, *forklift*, pengamanan 24 jam, lahan parkir, sumber listrik
Akses	Pelabuhan Tanjung Priok (± 0,3 km) Marunda Center (± 10,2 km) Terminal Koja (± 2,3 km)
Pengelola Kawasan	PT Multi Terminal Indonesia
Pemilik Barang	*Multi User*
Perusahaan Pengankut/Trasportir	PT Jatim Petroluem Transport PT Mitra Adira Utama PT Krakatau Bandar Samudera

Sumber: PT Kereta Api Indonesia (Persero), 2020

2. *Single Operator Terminal*

Untuk jenis terminal angkutan barang lainnya yaitu *single operator terminal*. Jenis kawasan tempat muat bongkar angkutan barang menggunakan kereta api yang sudah berjalan hingga saat ini dan hanya diperuntukkan oleh satu perusahaan saja. Salah satu contoh stasiun angkutan barang yang merupakan *single*

operator terminal terdapat di Stasiun Cigading yang berada di Cilegon, Banten dengan komoditi *raw material* / bahan mentah berupa batu bara.

3. Terminal Berpotensi

Pada terminal angkutan barang ini termasuk dalam kawasan muat bongkar menggunakan kereta api yang masih memerlukan investasi pembangunan.

2.3 Frekuensi Keberangkatan Kereta Api Barang

Dalam manajemen distribusi dan transportasi salah satu keputusan penting yang perlu diperhatikan ialah penentuan jadwal serta rute pengiriman dari satu lokasi ke beberapa lokasi tujuan. Hal ini disebabkan karena kedua aspek tersebut sangat berkaitan dengan biaya pengiriman. Dalam model matematis, permasalahan penjadwalan dan penentuan rute pengiriman bisa memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai, seperti fungsi tujuan untuk meminimumkan biaya pengiriman, meminimumkan waktu, atau meminimumkan jarak tempuh (Pujawan, 2010).

Menurut Chopra (2016), Hubungan antara biaya pengiriman dengan jadwal pengiriman dapat diimplikasikan dengan respon terhadap pelayanan pelanggan (*customer responsiveness*). Jika suatu perusahaan ingin mendapatkan tingkat kepuasan pelayanan pelanggan yang tinggi maka dapat dilakukan dengan melakukan pengiriman setiap harinya untuk mengirim seluruh order yang diinginkan oleh pelanggan. Namun hal itu akan berdampak pada biaya pengiriman yang semakin tinggi karena mengirim dengan jumlah sedikit barang saja. Apabila tingkat respon pelanggan sedikit diturunkan dengan tujuan untuk mendapatkan agregat order. Hal ini akan berdampak pada skala ekonomis (*economic of scales*) dan dapat menurunkan biaya pengiriman akibat besarnya order yang dikirim.

Metode ini dapat disebut dengan *temporal aggregation* dimana proses order pelanggan dalam deret frekuensi yang tinggi (contoh: mingguan) dapat digabungkan dalam satu pengiriman pada periode frekuensi yang lebih rendah (contoh: bulanan) (Nikolopoulos et al., 2011). *Temporal aggregation* dapat menurunkan tingkat pelayanan pelanggan dikarenakan adanya penundaan keberangkatan tetapi sebagai gantinya biaya pengiriman juga akan semakin kecil. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa dampak frekuensi keberangkatan

pengiriman kereta api semen hingga periode ke-n sehingga didapatkan biaya yang ekonomis namun tetap mendapatkan profit yang tinggi.

2.4 Model Optimasi

Metode penyelesaian masalah pada penelitian ini menggunakan model optimasi yang mencakup model fungsi matematik yang mewakili situasi real sebuah sistem. Model optimasi atau riset operasi sendiri merupakan proses pengambilan keputusan yang optimal dalam penyusunan model dari sistem yang memiliki bentuk deterministik maupun probabilistik yang berasal dari kehidupan nyata. Terdapat beberapa jenis optimasi yang sudah berkembang, antara lain sebagai berikut:

1. Program Linear

Pemrograman linear merupakan salah satu teknik / metode riset operasi yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan memaksimumkan atau meminimumkan suatu bentuk fungsi objektif atau fungsi tujuan dengan kendala-kendala berupa fungsi yang linear (Rao, 2009). Program linear menyelesaikan kasus pada fungsi tujuan dan fungsi kendala yang bersifat linear. Bentuk umum model program linear adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan,

$$MaxZ = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{1}$$

Fungsi kendala (*constraints)*,

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq / \geq b_i \text{ ; untuk i= 1,2,3,…,m} \tag{2}$$

$$x_j \geq 0 \text{; untuk i= 1,2,3,…,m} \tag{3}$$

Untuk menyelesaikan program linear dapat menggunakan beberapa metode penyelesaian yaitu metode grafik dan simpleks. Metode grafik merubah formulasi matematis menjadi suatu grafik. Namun, metode ini dapat efektif digunakan pada formulasi dengan variabel yang terbatas saja. Untuk permasalahan dengan variabel yang cukup kompleks dapat menggunakan metode simpleks. Hasil

perhitungan dari kedua metode linear programming ini dapat bernilai desimal. Tetapi dalam perkembangannya, terdapat program linear dengan variabel yang harus bernilai bulat atau *integer* yang dapat dikenal dengan *Integer Linear Programming* (ILP).

2. Program Non Linear

Program non linear merupakan suatu program dalam optimasi yang mempunyai fungsi objektif dan beberapa atau semua fungsi kendala yang tidak linear. Suatu fungsi dapat dikatakan non linear apabila terdapat perkalian antara variabel bebas dengan dirinya sendiri atau dengan variabel bebas yang lain. Fungsi non linear dapat berupa fungsi kuadrat, eksponensial, algoritma, pecahan, dan lain sebagainya. Bentuk umum model program non linear adalah sebagai berikut:

$$f(x_1, x_2) = x_1^2 + 2x_2 \tag{4}$$

$$f(x_1, x_2) = x_1^2 . x_2 \tag{5}$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = e^{x_1} + 2x_2 - 3x_3 \tag{6}$$

Pemrograman non linear menggunakan teknik riset operasi untuk memecahkan permasalahan optimasi dengan menggunakan persamaan dan pertidaksamaan non linear untuk mencari hasil (*output*) yang optimum dengan mempertimbangkan sumber-sumber (*input*) yang persediaannya terbatas pada nilai tertentu (Nurcahyani, 2014). Jadi, suatu permasalahan optimasi yang fungsi tujuan dan kendalanya berbentuk non linear maka harus diselesaikan dengan persamaan non linear. Persamaan optimasi tersebut tidak dapat diselesaikan dengan pemrograman linear dimana akan timbul variabel atau fungsi-fungsi baru yang akan terus berlanjut.

2.5 Model Integer Programming

Model *integer programming* (IP) atau *Integer Liniear Programming* (ILP) merupakan program linier dengan asumsi divisibilitas dihilangkan. Dengan kata lain, variabel keputusan memiliki nilai integer (bulat) dan diskrit sehingga tidak terdapat nilai pecahan. Pada penyusunan model matematis untuk pemrograman integer dapat menambah satu batasan yang mengikat sehingga nilai variabel

keputusan yang dicari dalam bentuk *integer non negatif* (Hiller dan Lieberman, 2010). Model *integer programming* dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Pure Integer Programming*

   Ciri dari tipe ini adalah semua variabel keputusan diharuskan mempunyai nilai *integer* (bulat)

2. *Binary Integer Programming*

   Pada jenis *linear programming* ini memiliki ciri variabel keputusan yang memiliki nilai *integer* satu (1) atau nol (0). Model matematis ini biasa dijumpai pada permasalahan model keputusan nilai 1 yang menyatakan "Ya" dan variabel keputusan berharga 0 yang menyatakan "Tidak"

3. *Mixed Integer Programming*

   Pada jenis ini variabel keputusan tidak semua bernilai bulat. Penyelesaian model matematis dapat bernilai campuran yang berupa bilangan integer (bulat), real (pecahan), maupun biner.

2.6 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan suatu analisa yang digunakan untuk melihat adanya pengaruh yang akan terjadi akibat keadaan yang berubah-ubah (Gittinger, 1986). Analisis ini dapat diimplementasikan pada beberapa permasalahan terkait anggaran dasar proyek, kelayakan investasi bisnis, maupun distribusi dan transportasi. Perubahan parameter yang terjadi pada kegiatan usaha dapat disebabkan oleh beberapa faktor utama seperti perubahan harga pengiriman produk, kenaikan biaya, dan permintaan pelanggan yang tidak menentu.

Analisis sensitivitas dapat dikelompokan berdasarkan faktor risiko dari permasalahan yang terjadi. Perusahaan dapat menggunakan tiga asumsi dasar dalam bentuk kemungkinan, yaitu: *base, optimistic dan pessimistic*. Apabila grafik perubahan menunjukkan nilai yang semakin curam kemiringan garisnya maka semakin sensitif terhadap perubahan variabel tersebut (Houston, 2006).

Namun analisis sensitivitas ini masih memiliki kelemahan terutama pada pengambilan keputusan. Apabila hasil analisis secara tidak sengaja melakukan kesalahan dalam melakukan estimasi pada salah satu variabel maka dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengambilan keputusannya (Kasmir, 2010).

2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan mengembangkan topik terkait distribusi dan transportasi multimoda dengan menggunakan kereta api. Penelitian terdahulu yang menjadi referensi pada penelitian ini yaitu perancangan distribusi multimoda kereta api yang dikembangkan oleh Masoud (2012), dengan tujuan menentukan model teroptimal untuk meminimalkan total biaya komoditi yang dikirim kepada pelanggan.

Pada penelitian ini membahas tentang kumpulan model permasalahan dan penyelesaian dari *Multicommodity Network Design* (MCND). Model MCND dapat diaplikasikan dibeberapa sektor seperti perencanaan distribusi, telekomunikasi, dan transportasi terutama untuk permasalahan multi komoditi yang dikirim dari titik asal dan tujuan pengiriman yang berbeda. Dengan memberikan rekomendasi metode yang cocok untuk permasalahan jaringan distribusi, penelitian ini akan diterapkan pada permasalahan distribusi semen dan non semen menggunakan angkutan kereta api.

Penelitian yang dilakukan Chang (2008) mengembangkan pemodelan yang membahas mengenai operasional transportasi intermoda internasional. Tujuan dari penelitian membahas tentang pemilihan rute terbaik untuk jaringan transportasi intermoda. Beberapa karakteristik permasalahan yang diuji diantaranya pengujian terhadap beberapa fungsi tujuan (*multiple objective*) dengan mencari minimasi total biaya dan waktu perjalanan secara bersamaan.

Kemudian penelitian juga membahas tentang penjadwalan pada setiap moda transportasi dan permasalahan pada jadwal permintaan. Dan yang terakhir, karakteristik permasalahan akan mempertimbangkan konsep skala ekonomis (*economics of scale*) terhadap perhitungan biaya transportasi setiap unit yang dikirim. Hal ini dibutuhkan karena masing-masing moda transportasi memiliki struktur biaya / *cost structure* yang berbeda satu sama lainnya. Metode yang digunakan pada penelitian ini termasuk pada NP-Hard metaheuristik dengan mempertimbangkan *multiobjective multimodal multicommodity flow problem* (MMMFP)

Hardi, et al. (2014) mengembangkan penelitian mengenai penetapan tarif ongkos angkut kereta api untuk beberapa jenis komoditi. Pengiriman dilakukan

melalui jalur Padang-Solok dengan mayoritas komoditi didominasi oleh angkutan semen, batu bara, sawit, CPO, kelontong, dan pupuk. Dari beberapa komoditi tersebut kemudian dilakukan penetapan tarif dengan beberapa metode yaitu survei harga pasar, tarif berdasarkan tata cara perhitungan PT Kereta Api Indonesia (PT KAI), dan perhitungan berdasarkan peraturan Menteri Perhubungan.

Metode yang digunakan Wardhana (2015) mengembangkan model simulasi distrit untuk mengoptimalkan jadwal perjalanan kereta api barang pada jalur utara arah Surabaya-Jakarta dengan menggunakan algoritma penyalipan kereta penumpang terhadap kereta barang. Tujuan dari pengembangan model ini untuk meminimasi waktu perjalanan dari kereta api barang maupun penumpang. Fungsi dari minimasi waktu perjalanan akan menambah jumlah kereta api barang pada lintasan.

Kemudian referensi penelitian lain membahas tentang penambahan dan penyisipan gerbong kereta api penumpang menggunakan teknik heuristik dengan model matematis *Mixed Integer Linier Programming*. Metode ini dipilih untuk menyelesaikan fungsi obyektif dan konstrain yang linier namun variabel keputusan dapat bersifat campuran integer dan riil. Menurut Arrifah (2018), metode MILP ini dapat menentukan berapa banyak kereta barang yang dapat ditambahkan kepada kereta api lambat tanpa melanggar jarak aman antar kereta (*minimum headway*). Konsep penambahan kereta menggunakan metode *trainslot* yaitu menyisipkan kereta barang diantara jadwal kereta penumpang yang bersifat tetap. Hasil analisa dapat memberikan rekomendasi optimal *minimum headway* yang dihasilkan selama 6 menit dengan penambahan sebanyak 20 kereta barang.

Zhang et al (2019) meneliti tentang optimasi pada transportasi kereta api barang yang ada di Cina. Karakteristik dari kereta api termasuk pada transportasi yang cocok untuk perjalanan jarak jauh dan memiliki kapasitas angkut yang besar seperti material dalam bentuk curah. Namun, penggunaan dan *market share* dari kereta api barang masih tergolong minim yaitu 11% dari keseluruhan jasa transportasi kereta api. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan pendapatan dari kereta api barang dengan memperhatikan harga pengiriman, perencanaan operasi, emisi karbon, dan kepuasan pelayanan tunggu pelanggan.

Berikut merupakan tabel pemetaan posisi penelitian untuk mengetahui perkembangan studi literatur terdahulu yang membahas tentang pengembangan model optimasi kereta api

Tabel 2.7 Posisi Penelitian

No	**Peneliti**	**Tahun**	**Judul**	**Metode**	**Min. Biaya**	**Maks. Profit**	**Rute (*Arcs*)**	**Multi Komoditi**	***Fixed Cost***	***Variable Cost***	**Kapasitas**	***Route Based***	***Splittable***
1	Chang, Tsung-Sheng	2007	*Best routes selection in international intermodal networks*	*NP-Hard heuristic model, Multiobjective multimodal multicommodity flow problem (MMMFP)*	√		√	√			√	√	√
2	Yaghini, Masoud &	2012	*Multicommodity network design problem*	*Metaheuristics Multicommodity*	√	√	√	√	√	√	√	√	√

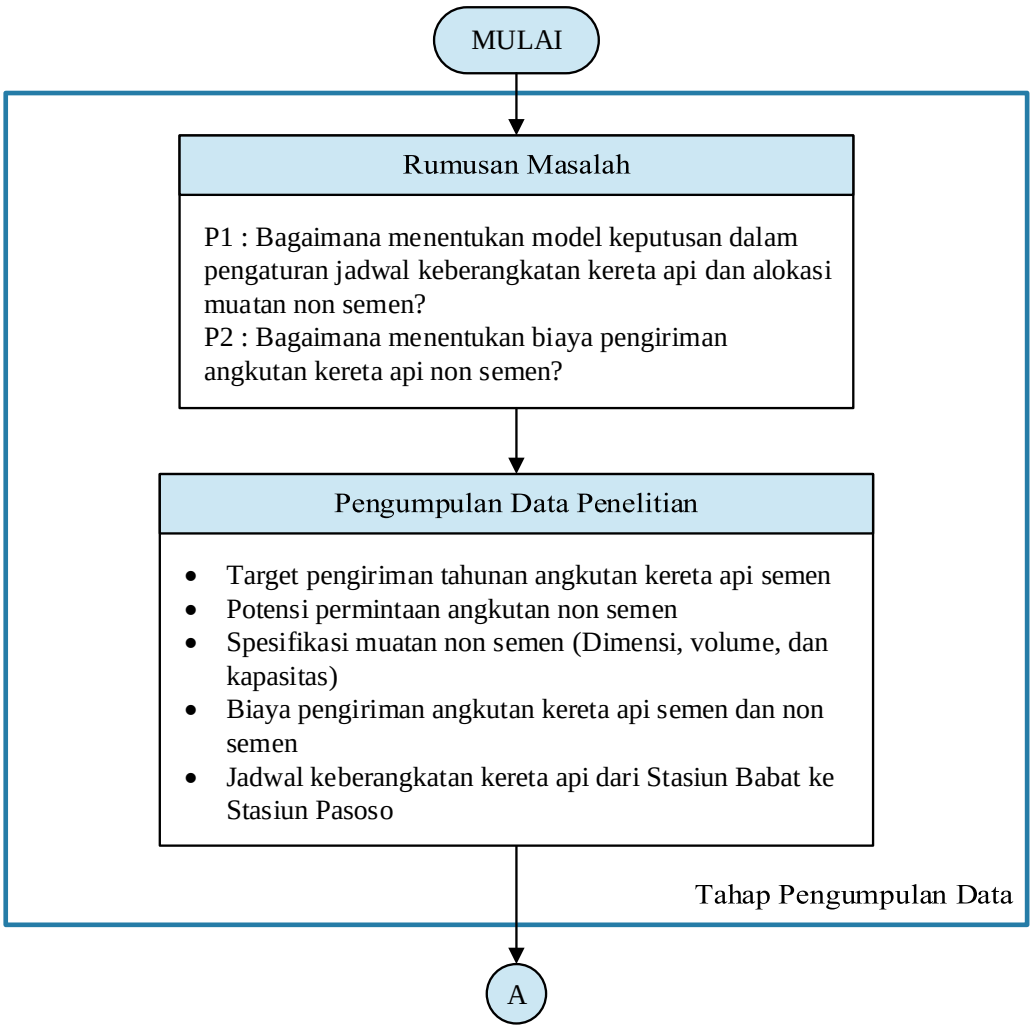
No	Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Min. Biaya	Maks. Profit	Rute (*Arcs*)	Multi Komoditi	*Fixed Cost*	*Variable Cost*	Kapasitas	*Route Based*	*Splittable*
	Akhavan, Rahim		*in rail freight transportation planning*	*Network Design (MCND)*									
3	Wijaya, Hardi, Purnawan, & Gunawan, Hendra	2014	Penentuan tarif angkutan barang moda kereta api jalur Padang - Solok	Perhitungan dengan perbandingan tarif ATP, WTP, KAI, dan Dishub					√	√	√		
4	Wardhana, Adhyatma Satya, Rusdiansyah , Ahmad, &	2015	Model simulasi diskrit untuk penjadwalan kereta barang dengan pengembangan	Model simulasi diskrit dengan algoritma penyalipan			√					√	

No	Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Min. Biaya	Maks. Profit	Rute (*Arcs*)	Multi Komoditi	*Fixed Cost*	*Variable Cost*	Kapasitas	*Route Based*	*Splittable*
	Siswanto, Nurhadi		algoritma penyalipan kereta di jalur ganda utara Pulau Jawa, Indonesia										
5	Sari, Arrifah Ratna & Rusdiansyah, Ahmad	2018	*Feasibility model for freight train insertation in one way - train schedule*	*Heuristic Modelling & Mixed Integer Linier Programming (MILP)*			√					√	
6	Zhang, Xiaoqiang,	2019	*An optimal service model*	*Mixed Integer Linier*		√		√	√	√	√		

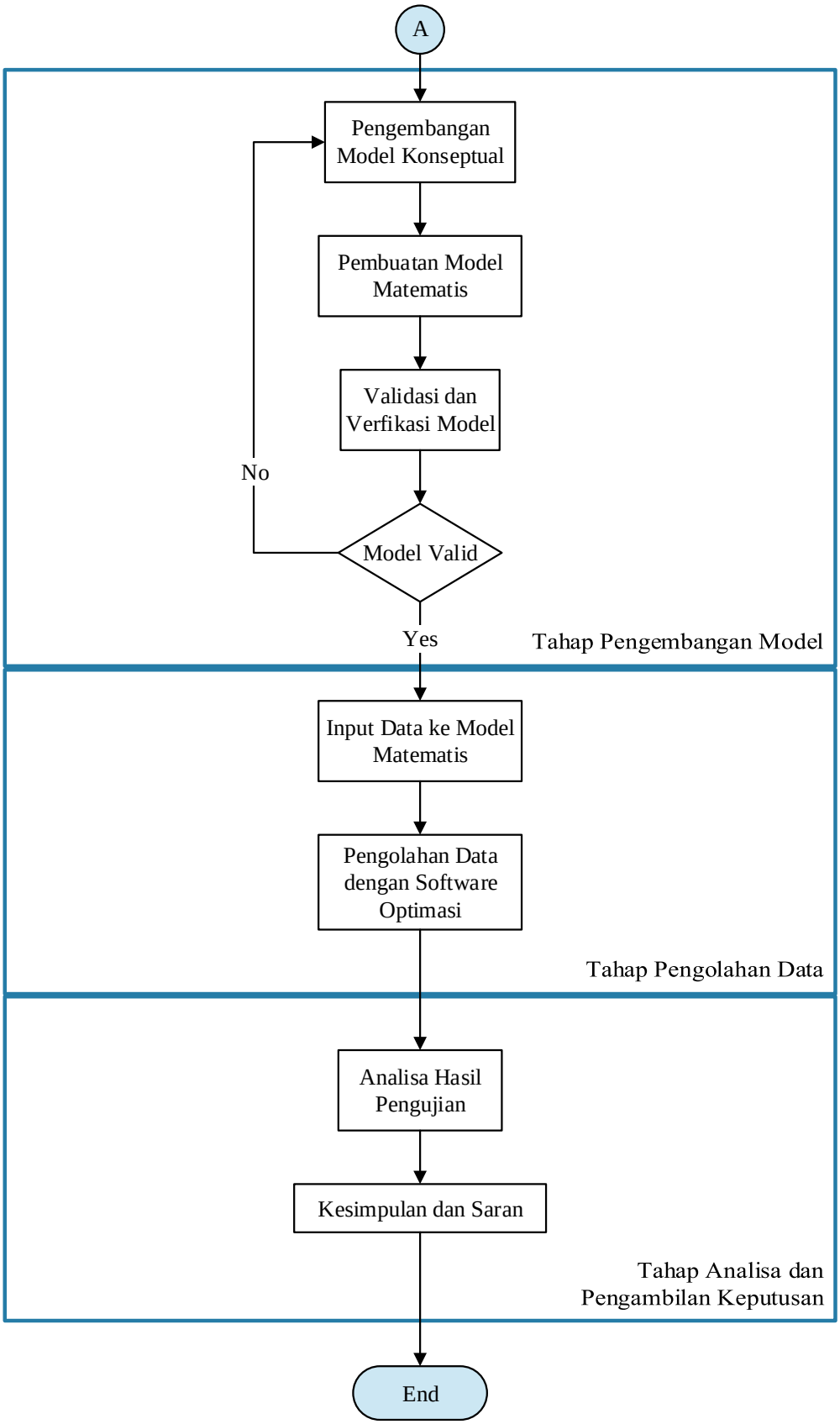
No	Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Min. Biaya	Maks. Profit	Rute (*Arcs*)	Multi Komoditi	*Fixed Cost*	*Variable Cost*	Kapasitas	*Route Based*	*Splittable*
	Li, Lin, & Zhang, Jin		*for rail freight transportation: Pricing, planning, and emmision reducing*	*Programming (MILP)*									
7	Ardiansyah, Faris Putra	2020	Penelitian ini	*Heuristic Modelling & Mixed Integer Linier Programming (MILP)*		√		√	√	√	√		

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memberikan gambaran kerangka berpikir dalam pelaksanaan penelitian yang terdiri dari beberapa tahapan yang saling berurutan. Adanya kerangka berpikir bertujuan agar tahapan dalam mengerjakan penelitian lebih terstruktur dan terarah. Metodologi penelitian akan dibagi menjadi beberapa tahapan dimulai dari tahap pengumpulan data, pengembangan model, pengolahan data, analisa dan pengambilan keputusan. Berikut ini merupakan diagram alir / *flowcart* dari tahapan penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir metodologi penelitian (lanjutan)

3.1 Tahap Pengumpulan Data

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah identifikasi masalah yang terjadi dilapangan. Dengan adanya permasalahan terhadap angkutan kereta api semen yang belum optimal maka dibentuk *research question* / rumusan masalah penelitian. Untuk mendukung penelitian dilanjutkan dengan melakukan studi literatur materi dan *review* jurnal yang relevan sehingga terbentuk penelitian yang terstruktur. Beberapa teori yang digunakan membahas tentang perancangan distribusi multimoda kereta api, model perencanaan multi komoditi (*multicommodity*), dan metode optimasi lain yang diambil dari beberapa buku maupun jurnal.

Proses dilanjutkan dengan melakukan pengumpulan informasi dan data observasi penunjang penelitian. Pengumpulan data didapat dari target perusahaan untuk pengiriman kereta api semen selama setahun dan pencarian pelanggan baru untuk alokasi angkutan non semen. Data yang diperlukan diantara lain adalah target volume pengiriman selama setahun untuk angkutan kereta api semen maupun non semen, jadwal keberangkatan kereta api dari Stasiun Babat hingga ke Stasiun Pasoso, waktu perjalanan, kapasitas muatan, dan biaya pengiriman dari angkutan semen maupun non semen.

3.2 Tahap Pengembangan Model

Pada tahap ini dilakukan penyusunan kerangka penelitian untuk menentukan pengembangan model konseptual dan matematis untuk mengoptimasi penggunaan angkutan kereta api semen dengan mempertimbangkan frekuensi keberangkatan dan alokasi penambahan angkutan non semen. Pengembangan model menggambarkan sistem dengan kondisi nyata dimana terdapat syarat dan kondisi tertentu yang harus diperhatikan. Pengembangan model konseptual suatu penelitian akan menunjukkan hubungan variabel keputusan terhadap analisa masalah penelitian (Sinulangga, 2014).

Penelitian ini akan mengembangkan hubungan antara variabel frekuensi keberangkatan kereta api semen dengan fungsi tujuan maksimasi profit yang didapat. Keberangkatan kereta api akan dipilih dengan jadwal keberangkatan setiap satu hari, dua hari, dan tiga hari sekali. Kemudian analisa dilanjutkan dengan

menambahkan berapa banyak alokasi angkutan kereta api non semen yang dapat diangkut berdasarkan data potensi permintaan pelanggan. Model konseptual dapat dilakukan dengan bentuk yang beragam seperti *flowchart* atau *entity flow diagram* dari input data, proses optimasi, dan hasil output.

Langkah berikutnya dengan melakukan pengembangan model matematis berdasarkan model acuan yang telah dipilih. Pada tahap ini akan dilakukan perubahan dan pengembangan dari fungsi matematis yang digunakan. Persamaan yang dipilih mengacu pada model matematis yang digunakan oleh Magnanti (1987) namun merubah fungsi tujuan dengan memaksimalkan profit dari angkutan kereta api dengan memperhatikan variabel tambahan yaitu frekuensi pengiriman dan alokasi kapasitas untuk angkutan non semen. Untuk fungsi pembatas akan menggunakan model maksimal kapasitas yang dapat diangkut serta konstrain umum untuk bilangan non-negatif dan integer.

Tahap verifikasi dan validasi terhadap model bertujuan untuk memastikan simulasi sesuai dengan model konseptual yang dibuat dan mempresentasikan sistem nyata. Kemudian proses validasi dapat dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan model matematis dengan menggunakan set data kecil.

3.3 Tahap Pengolahan Data

Menurut Sudjana (2001), tahap pengolahan data bertujuan untuk mengubah data awal untuk diubah menjadi data yang lebih terukur sehingga memberikan arah untuk pengkajian lebih lanjut. Data yang dikumpulkan pada tahap pengumpulan data diolah pada tahap ini. Pengolahan data dilakukan dengan melakukan percobaan numerik pada model matematis yang telah terverifikasi dan tervalidasi. Nilai data yang akan digunakan diantaranya target pengiriman tahunan untuk angkutan kereta api semen sesuai dengan RKAP perusahaan, biaya dan ongkos kirim kereta api semen dari Stasiun Babat hingga ke Stasiun Pasoso, dan potensi pengiriman untuk angkutan non semen yang akan dialokasikan pada sisa kontainer yang akan dikirim. Proses selanjutnya, keseluruhan data yang telah dimasukkan kedalam model matematis akan dicari nilai optimum dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) optimasi untuk mendapatkan hasil dari variabel keputusan pada fungsi tujuan.

3.4 Tahap Analisa dan Pengambilan Keputusan

Pada tahap ini akan dilakukan proses analisa terhadap tahapan penelitian sebelumnya terutama pada proses pengembangan model dan pengolahan data. Analisa yang akan digunakan berupa analisa sensitivitas yang membahas parameter kritis yang dapat mempengaruhi profit dalam pemilihan skenario terbaik yang dipilih. Beberapa aspek yang akan dianalisa diantaranya mengenai penurunan harga pengiriman angkutan kereta api non semen. Harga pengiriman akan diturunkan sehingga akan menjadi suatu nilai yang menarik dan diterima oleh pelanggan. Kemudian alternatif kondisi yang lain membahas tentang alokasi penambahan angkutan non semen apabila permintaan naik atau turun sekitar 5-10% dari permintaan pelanggan. Pada tahap terakhir, hasil analisa akan digunakan untuk membahas penarikan kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian. Hasil penelitian yang diperoleh akan menjadi acuan dan dasar dalam pemberian saran untuk penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

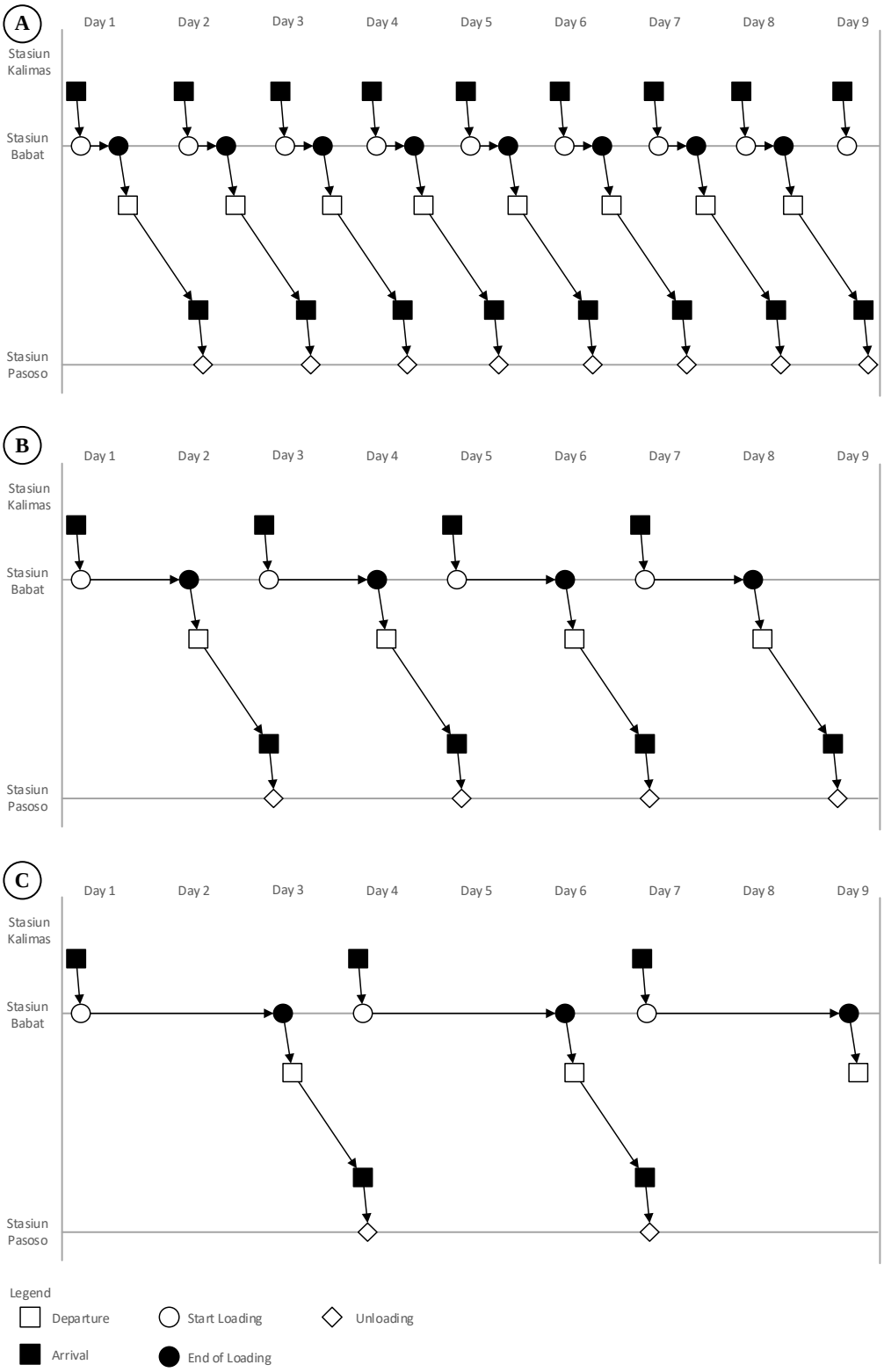
BAB 4
PENGEMBANGAN MODEL

Pada bab ini menjelaskan mengenai deskripsi sistem yang diteliti dan merancang prosedur model pengembangan. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan penyusunan model matematis sehingga dapat terbentuk logika pemodelan yang sesuai dengan tujuan dalam penelitian ini. Berikut pembahasan untuk mendukung penyusunan bab ini:

4.1 Deskipsi Pengembangan Model

Penelitian ini membahas tentang model rantai pasok distribusi semen dengan menggunakan moda transportasi kereta api barang. Model permasalahan yang diusulkan yaitu menentukan frekuensi keberangkatan yang optimal dan jumlah alokasi kontainer non-semen. Fungsi tujuannya adalah untuk memaksimalkan laba dan meminimalkan biaya yang terdiri dari biaya sewa per kontainer dan operasi bongkar-muat. Pada penelitian ini, permasalahan tidak mempertimbangkan penjadwalan keberangkatan kereta penumpang dan jadwal dibuat dalam kondisi ideal tanpa mempertimbangkan penundaan waktu keberangkatan dan kedatangan karena bencana alam, kerusakan kereta api, atau kecelakaan.

Model perencanaan jadwal pengiriman dibagi menjadi 3 skenario berdasarkan frekuensi keberangkatannya. Pada skema pengiriman A, kereta api barang akan melakukan pengiriman setiap sehari sekali (*One-day response)*. Sehingga antara jadwal pengiriman dengan penerimaan barang pada stasiun tujuan akan berada pada hari yang sama. Pada skema pengiriman B, kereta api barang akan berangkat setiap dua hari sekali (*Two-day response*). Pemuatan barang akan berlangsung selama dua hari dan setelah itu kereta api barang mulai melanjutkan pengiriman. Dan yang terakhir skema pengiriman C dilakukan dengan pengiriman setiap tiga hari sekali (*Three-day response*). Siklus pengiriman tersebut akan terus berlangsung sesuai dengan jadwal pengiriman tanpa memperhatikan kapasitas kereta api yang telah penuh maupun masih belum terisi.



Gambar 4.1 Skema jadwal keberangkatan kereta api barang setiap: a) sehari sekali, b) dua hari sekali, c) tiga hari sekali

4.2 Model Acuan

Model matematis yang digunakan pada penelitian ini mengacu kepada formulasi model yang telah dikembangkan pada penelitian lain sebelumnya. Formulasi model acuan yang digunakan adalah sebagai berikut:

4.2.1 Model Acuan Frekuensi Keberangkatan

Pada permasalahan perencanaan jaringan distribusi terutama pada transportasi, logistik, dan manajemen produksi dibutuhkan suatu pengembangan model matematis. Permasalahan tersebut dapat diidentifikasi dengan pendekatan solusi optimal terutama pada pengiriman beberapa produk/komoditas yang dikirim untuk memenuhi kebutuhan pelanggan diantara asal dan tujuan pengiriman.

Salah satu model acuan atau konsep dasar yang akan digunakan pada penelitian ini dapat menggunakan pendekatan metaheuristik dengan model *fixed-charge capacitated multicommodity network design problem* (CMND). Teori ini dapat diaplikasikan pada pengiriman semen dengan menggunakan kereta api barang yang membutuhkan beban biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*). Biaya tetap akan dibayarkan apabila dilakukan pengiriman, sedangkan biaya variabel akan dibebankan pada setiap unit yang diangkut dari titik asal hingga ke tujuan. Fungsi objektif yang digunakan dalam model matematisnya dengan meminimumkan total biaya dan memaksimalkan profit yang didapat. (Doerner et al, 2007)

Sistem pemodelan menggunakan *Mixed Integer Linier Programming* (MILP) dimana variabel yang digunakan bersifat integer (bulat). Sebagai contoh variabel yang bersifat integer dapat berupa jumlah orang atau benda, karena jumlah dari orang atau benda pasti bulat dan tidak mungkin berupa pecahan. Menurut Magnanti (1987), dasar formulasi matematis dapat digambarkan dengan $G = (N, A)$ dimana N merupakan *nodes*/titik lokasi-n dan A merupakan satuan *arcs*/jalur dari titik asal hingga ke tujuan. Model matematis yang digunakan dapat diapikasikan untuk beberapa produk yang berbeda, atau pada produk yang sama namun berbeda asal dan tujuan pengirimannya. Adapun fungsi objektif yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$MinZ(x,y) = \sum_{(i,j)\in A} f_{ij}.y_{ij} + \sum_{p\in P}\sum_{(i,j)\in A} c_{ij}^{p}.x_{ij}^{p} \tag{7}$$

Pada persamaan (7) menjelaskan tentang fungsi tujuan dengan minimasi seluruh total biaya yang terdiri dari biaya tetap apabila dilakukan pengiriman dan biaya variabel untuk setiap satuan unit produk yang dikirim. Variabel biaya tetap pada setiap pengiriman dari asal stasiun-i ke stasiun-j dinotasikan dengan f_{ij} dan y_{ij} sebagai variabel keputusan apabila dipilih atau tidak. Variabel y_{ij} bersifat biner dengan notasi angka {0,1}, nilai y_{ij} = 1 apabila pengiriman produk dilakukan sedangkan 0 ketika tidak ada produk yang terkirim. Kemudian untuk biaya variabel dapat dinotasikan dengan c_{ij}^{p} yang dikalikan dengan jumlah satuan unit produk-p yang akan dikirim dari stasiun-i ke stasiun-j dengan notasi matematis x_{ij}^{p}.

4.2.2 Model Acuan Alokasi Kontainer

Tujuan dari manajemen alokasi ruang kontainer yaitu memaksimalkan profit dari kapasitas yang tersedia. Menurut Hua-An Lu, et al. (2010), karakteristik distribusi yang digunakan dapat mengikuti kaidah dasar dimana pengiriman kontainer telah memenuhi seluruh kebutuhan pasar. Model matematis dapat dibentuk dengan tujuan memaksimalkan profit pada setiap pengiriman dengan mempertimbangkan batasan kapasitas, berat, dan kebutuhan pasar. Formulasi matematis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Max \sum_{k}\sum_{(o,d)} (p_{od}^{k} - c_{od}^{k})x_{od}^{k} \tag{8}$$

dengan,

p_{od}^{k} Estimasi rata-rata harga pengiriman kontainer jenis *k* yang dikirim dari titik *o* ke titik *d*

c_{od}^{k} Estimasi rata-rata biaya pengiriman kontainer jenis *k* yang dikirim dari titik *o* ke titik *d*

x_{od}^{k} Jumlah alokasi slot kontainer jenis *k* yang dikirim dari titik *o* ke titik *d*

Persamaan 8 merupakan fungsi objektif dengan maksimasi jumlah profit yang diperoleh dari pengiriman kontainer. Pada persamaan tersebut variabel keputusan dengan menentukan jumlah alokasi kontainer yang akan dikirim dari titik *o* ke titik *d*. Kemudian jumlah kontainer dikalikan dengan harga dikurangi dengan biaya variabel tiap kontainer. Persamaan 8 dibatasi oleh beberapa fungsi lainnya seperti kapasitas maksimal kontainer yang dapat dikirim, berat muat setiap kontainer, dan batasan bilangan *non-negative integer*.

4.3 Rancangan Skenario

Percobaan numerik pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa skenario. Kondisi skenario dilakukan untuk mengetahui perilaku model terhadap berbagai kondisi yang berbeda. Perbedaan skenario akan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan apabila terdapat perbedaan perilaku pada kondisi nyata. Rancangan skenario dibagi berdasarkan alokasi barang dalam keseluruhan rangkaian gerbong datar kereta api. Kemudian masing-masing skenario akan diuji untuk menentukan keputusan frekuensi keberangkatan yang dipilih dalam waktu satu tahun (*annually*) dan bulanan (*periodic*). Berikut merupakan rancangan skenario percobaan numerik pada penelitian ini.

Tabel 4.1 Rancangan skenario

Skenario	Kondisi
1	Alokasi kontainer untuk komodisi semen saja.
2	Alokasi kontainer untuk komoditi semen dan non-semen yang telah ditentukan
3	Alokasi kontainer dengan kapasitas penuh (*full capacity*), komoditi semen sebagai inti dan sisanya digunakan untuk non-semen

4.4 Formulasi Model Usulan

Pada penelitian ini model penjadwalan keberangkatan mengacu kepada model matematis yang digunakan oleh Magnanti (1987) dengan variabel keputusan apabila kereta api berangkat atau tidak. Selain itu, model yang digunakan Hua-An Lu, et al. (2010) menjadi dasar dalam manajemen alokasi slot kontainer dan karakteristik distribusi dimana pengiriman kontainer telah memenuhi seluruh kebutuhan pasar.

4.4.1 Notasi Model Usulan

Berikut ini merupakan notasi yang digunakan pada formulasi model matematis usulan pada penelitian ini.

1. Notasi pada himpunan indeks model

f Indeks untuk setiap frekuensi keberangkatan f, $\forall f \in \{1, 2, 3\}$, f=1 menunjukkan keberangkatan kereta api barang setiap sehari sekali (*One-day response*), f=2 menunjukkan frekuensi keberangkatan setiap dua hari sekali (*Two-day response*), dan f=3 menunjukkan frekuensi keberangkatan setiap tiga hari sekali (*Three-day response*)

t Periode hari t per bulan, $t \in \{1, 2, ..., \mathrm{T}\}$, dimana T merupakan jumlah hari dalam setiap bulannya

c Jenis komoditas c, $\forall c \in \{\text{Semen}\}$

n Jenis komoditas n, $\forall n \in \{\text{Non Semen}\}$

2. Notasi pada parameter

P^c Harga pengiriman komoditas c per satuan unit kontainer

P^n Harga pengiriman komoditas n per satuan unit kontainer

c_r Biaya sewa per satuan unit kontainer

c_l^c Biaya bongkar muat komoditas c per satuan unit kontainer

c_l^n Biaya bongkar muat komoditas n per satuan unit kontainer

TCt_{tf} Total seluruh kontainer yang dikirim pada periode *t* dengan frekuensi keberangkatan *f*

3. Notasi pada variabel keputusan

Y_f 1 apabila frekuensi keberangkatan *f* dipilih; 0 jika tidak dipilih

Ct^c_{tf} Jumlah satuan unit kontainer komoditas semen yang dikirim pada periode *t* dengan frekuensi keberangkatan *f*

Ct^n_{tf} Jumlah satuan unit kontainer komoditias non semen yang dikirim pada periode *t* dengan frekuensi keberangkatan *f*

4.4.2 Fungsi Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah memaksimalkan profit yang didapatkan pada setiap pengiriman dengan menggunakan kereta api barang. Proses penentuan nilai variabel dilakukan secara sekuensial atau bertahap. Perhitungan dimulai dengan mencari jumlah alokasi kontainer dari masing-masing skenario. Kemudian apabila telah didapatkan kebutuhan kontainer maka nilai tersebut akan digunakan sebagai dasar penentuan jadwal frekuensi keberangkatan mana yang dipilih. Hasil dari perhitungan akan menunjukkan nilai profit teroptimal pada masing-masing skenario berdasarkan penentuan jumlah alokasi kontainer dan jadwal frekuensi keberangkatannya.

Berikut merupakan fungsi tujuan yang digunakan pada penelitian ini:

1) Menghitung kebutuhan alokasi kontainer

Objective function:

$$MaxTR = \sum_{t=1}^{T} (P^c - c^c_l).Ct^c_{tf} + (P^n - c^n_l).Ct^n_{tf} - (TCt_{tf}.c_r) \quad (9)$$

Pada persamaan 9 mengacu pada persamaan yang digunakan Hua-An Lu, et al. (2010) dan menjadi dasar dalam manajemen alokasi slot kontainer. Variabel

keputusan yang dicari ialah menentukan berapa jumlah unit kontainer semen (Ct_{tf}^{c}) dan non semen (Ct_{tf}^{n}) yang dapat dikirim pada periode tertentu.

2) Menentukan jadwal keberangkatan kereta api

Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui jadwal frekuensi keberangkatan mana yang akan dipilih. Berdasarkan pada jumlah unit kontainer semen dan non semen secara sekuensial atau bertahap digunakan sebagai dasar menentukan penjadwalan kereta api.

Objective function:

$$MaxZ = Y_f .TR \tag{10}$$

$$MaxZ = \sum_{f=1}^{F} Y_f \left(\sum_{t=1}^{T} (P^c - c_l^c).Ct_{tf}^c + (P^n - c_l^n).Ct_{tf}^n - TCt_{tf}.c_r\right) \tag{11}$$

Pada persamaan 10 dan 11, variabel keputusan penjadwalan frekuensi keberangkatan kereta api dapat ditandai dengan notasi Y_f.

4.4.3 Fungsi Kendala atau Batasan (*constraints*)

Batasan fungsi untuk kapasitas kontainer maksimal yang dapat dikirim pada setiap keberangkatan. Dalam satu rangkaian kereta api, kapasitas kontainer yang dapat dikirim sebanyak 50 unit.

$$Ct_{tf}^{c} + Ct_{tf}^{n} \le TCt_{tf}, \forall t, f \tag{12}$$

Fungsi bilangan binari sebagai keputusan jadwal frekuensi keberangkatan yang akan dipilih. Nilai 1 apabila jadwal keberangkatan dipilih, dan nilai 0 sebaliknya.

$$Y_f = \begin{cases} 1, \text{jika frekuensi keberangkatan dipilih} \\ 0, \text{jika tidak dipilih} \end{cases}, \forall f \in \{1,2,3\} \tag{13}$$

Konstrain jadwal frekuensi keberangkatan yang akan dipilih, terdapat tiga penjadwalan pengiriman berdasarkan respon keberangkatannya dan hanya salah satu jadwal yang dapat dipilih.

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 1 \tag{14}$$

Bilangan *non-negative integer* untuk jumlah alokasi kontainer semen dan non semen

$$Ct^c_{tf}, Ct^n_{tf} \geq 0, \text{int}, \forall t, f \tag{15}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
ANALISA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Pada bab ini berisi tentang percobaan numerik dari pengembangan model. Didalam bab ini menampilkan percobaan perhitungan untuk melihat efek dari beberapa parameter dari sebuah skenario yang telah dibentuk, untuk melihat pengaruh terhadap fungsi tujuan yang diharapkan. Selain itu analisa hasil dapat dijadikan sebagai penarikan kesimpulan pada bab selanjutnya.

5.1 Data Numerik

Pada sub-bab ini akan disajikan data numerik dari parameter yang digunakan dalam model matematis. Berikut ini beberapa data numerik dari parameter yang akan digunakan untuk melakukan percobaan numerik.

Tabel 5.1 Parameter perhitungan

No	Parameter	Jumlah
1	P^c	Rp. 2.880.000
2	P^n	Rp. 2.448.000
3	c_r	Rp. 2.150.000
4	c_l^c	Rp. 360.000
5	c_l^n	Rp. 360.000
6	TCt_{tf}	50

Parameter P^c merupakan harga satuan per kontainer untuk komoditi semen, sedangkan P^n merupakan harga satuan per kontainer untuk komoditi non semen. Parameter P^c dan P^n digunakan untuk menghitung nilai pendapatan yang akan diperoleh perusahaan. Kemudian terdapat parameter yang digunakan sebagai

nilai dari biaya sewa kontainer (c_r) dan biaya kegiatan bongkar muat dalam satuan kontainer (c_l).

Parameter P^c, P^n, c_r, c_l^c dan c_l^n akan digunakan sebagai dasar penentuan fungsi tujuan memaksimalkan perolehan profit. Kemudian penggunaan parameter TCt_{tf} menunjukkan banyaknya kontainer dalam gerbong datar yang diperbolehkan dalam satu pengiriman.

Tabel 5.2 Target pengiriman semen pada tahun 2020

Bulan	**Target Pemenuhan Kebutuhan**	
	Volume (Ton)	**Jumlah Kontainer**
Jan	12.097	655
Feb	11.668	626
Mar	12.185	653
Apr	11.728	635
Mei	6.635	355
Jun	10.690	576
Jul	17.071	932
Aug	16.434	898
Sep	16.912	924
Okt	17.102	934
Nov	11.527	624
Des	11.490	620
Total	**155.545**	**8.432**

Percobaan numerik yang digunakan pada percobaan ini menggunakan data target perusahaan yang mengacu kepada Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan (RKAP) tahun 2020. Data yang digunakan merepresentasikan kebutuhan pasar dan target pengiriman semen di area Jakarta. Produk dikirim dalam kemasan kantong

semen. Target volume pengiriman dinotasi dalam satuan ton dan dikonversi ke satuan kontainer. Secara keseluruhan parameter yang digunakan dalam hal ini dijelaskan sebagai berikut. Tabel 5.1 menunjukkan parameter terkait dengan harga kirim, biaya sewa kontainer, dan biaya kegiatan bongkar muat dalam kontiner dengan satuan Rp/unit. Sedangkan pada tabel 5.2 menunjukkan jumlah target permintaan semen yang harus dicapai setiap bulan dalam satuan ton dan kontainer.

5.2 Verifikasi dan Validasi Model

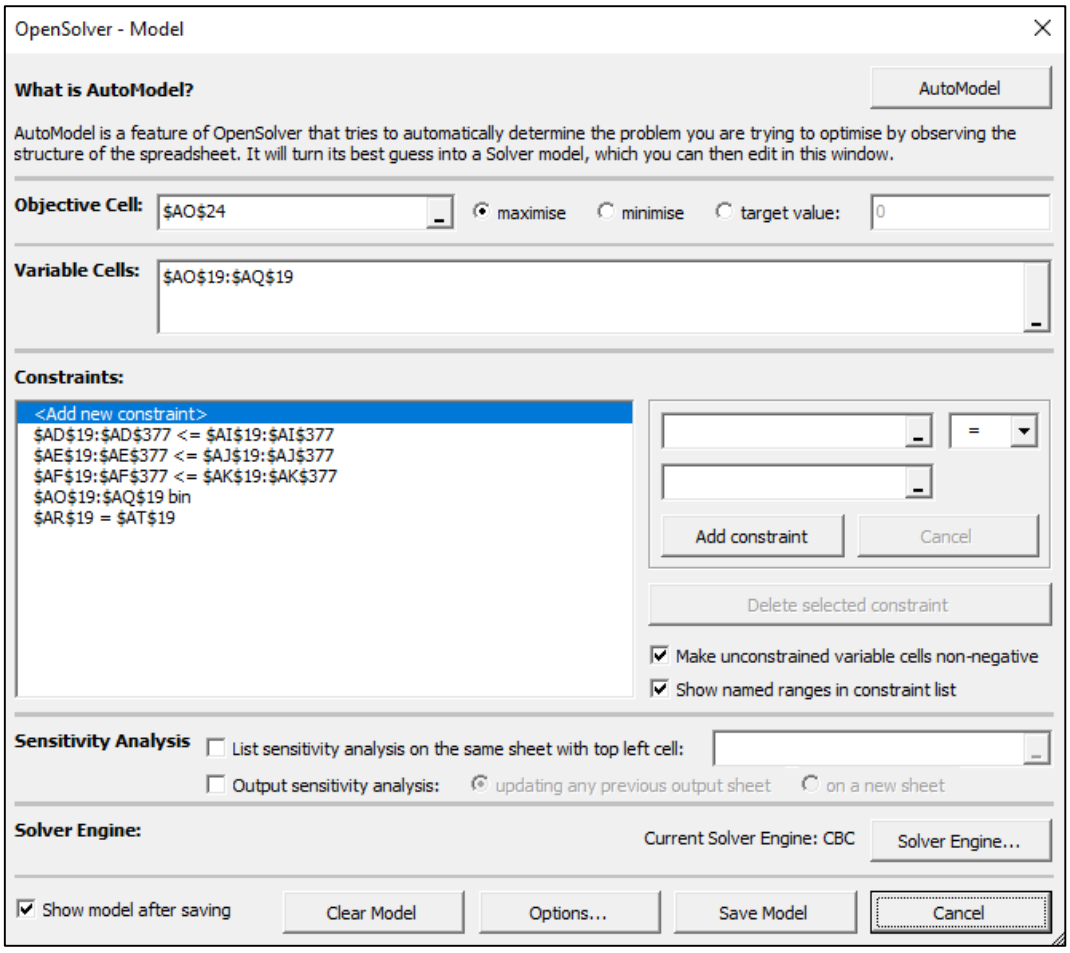
Pada tahap ini akan dilakukan uji verifikasi dan validasi terhadap model matematis yang digunakan. Model matematis yang disajikan dalam penelitian ini bersifat deterministik yang mengoptimalkan pengiriman semen menggunakan kereta api barang. Dalam model ini, permintaan dianggap sebagai parameter deterministik dan fungsi obyektif mewakili laba dan biaya, termasuk biaya sewa dan bongkar-muat. Dalam menyelesaikan perhitungan numerik, model optimisasi diselesaikan oleh *software* Microsoft Excel 2016. Kemudian solusi dari frekuensi keberangkatan dan alokasi non-semen diselesaikan dengan menggunakan Open Solver.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kebenaran suatu model matematis, tingkat konsistensi aplikasi model secara logis, dan replika model dengan layaknya kondisi nyata. Model dapat dikatakan terverifikasi apabila memenuhi setiap tahap dari algoritma penyelesaian yang dibangun. Proses verifikasi dengan menggunakan *software* Open Solver Microsoft Excel 2016 akan melakukan *running program* secara otomatis apabila algoritma model matematis telah terverifikasi dan dapat menunjukkan adanya solusi optimal.

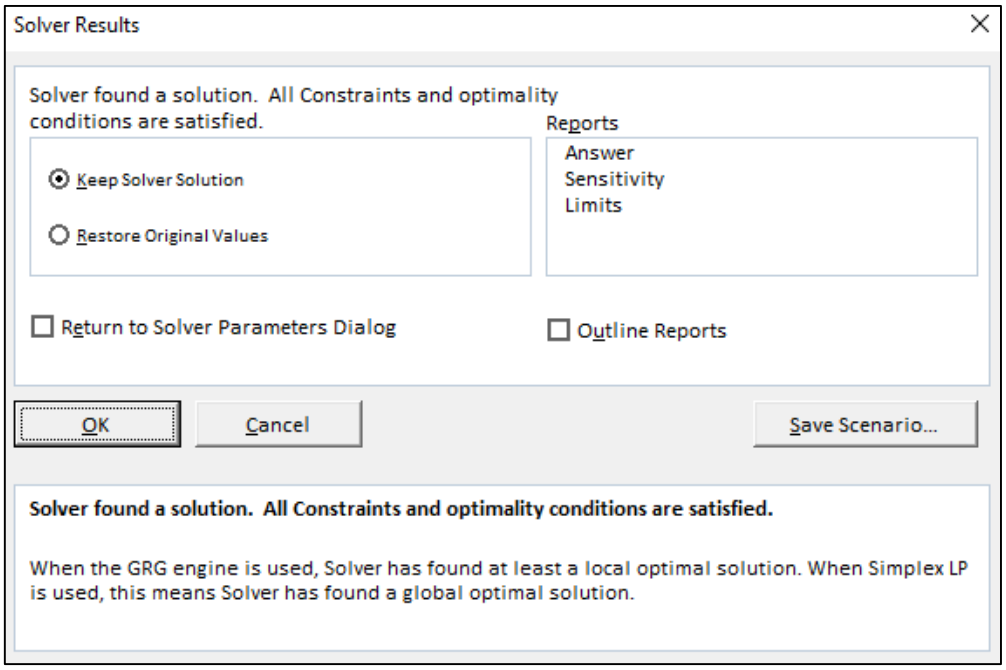
Data yang telah melalui proses verifikasi dapat dilanjutkan dengan validasi model. Proses validasi dapat dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan secara manual dengan hasil yang diperoleh melalui analisa *software* Open Solver Microsoft Excel 2016. Pengolahan data dilakukan secara bertahap sesuai dengan kerangka penyelesaian model matematis. Oleh karena itu, proses validasi akan dilakukan pada setiap pengolahan data.

5.2.1 Verifikasi Model

Pada tahap verifikasi dilakukan pemeriksaan kesesuaian antara logika model (program komputer) dan logika pada algoritma matematis (Hoover & Perry, 1989). Model diverifikasi dengan menggunakan software Open Solver Microsoft Excel 2016 fungsi objektif dari model matematis dijabarkan dengan memaksimalkan profit dari pengiriman kontainer semen dan non-semen menggunakan moda transportasi kereta api barang. Berikut merupakan tampilan model algoritma pada software Open Solver Microsoft Excel 2016 yang ditunjukkan pada gambar 5.1, sedangkan hasil optimasi dan verifikasi berjalannya algoritma ditunjukkan pada gambar 5.2.



Gambar 5.1 Verifikasi model dengan menggunakan *software Open Solver*



Gambar 5.2 Hasil optimasi dan verifikasi menggunakan *software Open Solver*

5.2.2 Validasi Model

Pada tahap validasi dilakukan untuk melihat apakah model konseptual yang telah dibangun sudah merepresentasikan dengan sistem nyata (Hoover & Perry, 1989). Dalam penelitian ini, validasi model dapat dilakukan dengan melakukan teknik *comparison testing* yaitu membandingkan antara hasil perhitungan model matematis secara manual dengan hasil yang diolah dengan *software*. Fungsi dari proses validasi ini untuk menguji model matematis yang dikembangkan benar dan dapat diterapkan pada penelitian ini. Hasil akan dikatakan valid apabila kedua perhitungan manual dengan *software* memiliki nilai yang sama.

Langkah 1: Menentukan pendapatan pada frekuensi keberangkatan sehari sekali

Contoh perhitungan ($Y_1 = 1$)

$$TR = \sum_{f=1}^{F} Y_f \left(\sum_{t=1}^{T} ((P^c - c_l^c).Ct_{tf}^c) + ((P^n - c_l^n).Ct_{tf}^n)\right)$$

$$TR = Y_1((P^c - c_l^c).Ct_{11}^c + (P^n - c_l^n).Ct_{11}^n)$$

$$TR = 109.187.762$$

Langkah 2: Menentukan biaya tetap sewa per unit kontainer pada setiap keberangkatan kereta api barang

Contoh perhitungan ($Y_1 = 1$)

$$TC = \sum_{f=1}^{3} Y_f \left(\sum_{t=1}^{T} TCt_{tf} . c_r\right)$$

$$TC = Y_1 . TCt_{11} . c_r$$

$$TC = 107.500.000$$

Langkah 3: Menentukan pendapatan pada frekuensi keberangkatan sehari sekali

Contoh perhitungan ($Y_1 = 1$)

$$MaxZ = TR - TC$$

$$MaxZ = 1.687.762$$

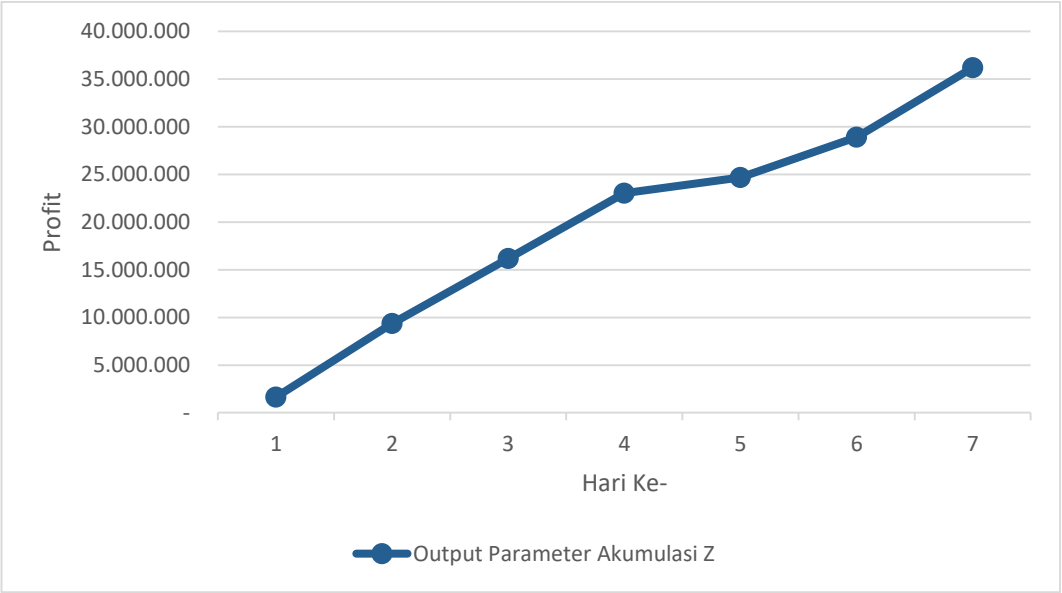
Tabel 5.3 Perbandingan hasil perhitungan pada keberangkatan sehari sekali

Hari ke-	Input Parameter		Output Parameter		Profit (Rp)	Hasil Aplikasi (Rp)
	Y_f	Demand	Ct^c_{tf}	Ct^n_{tf}		
1	1	11	11	39	1.687.762	1.687.762
2	1	25	25	25	7.737.463	7.737.463
3	1	23	23	27	6.673.220	6.673.220
4	1	23	23	27	6.673.220	6.673.220
5	1	11	11	39	1.687.762	1.687.762
6	1	17	17	33	4.280.491	4.280.491
7	1	24	24	26	7.305.341	7.305.341

Berdasarkan perhitungan validasi model matematis pada langkah 1 dapat diketahui alokasi kontainer untuk semen sebanyak 11 dan non-semen 39 unit. Hasil

perhitungan total pendapatan pada keberangkatan hari pertama sebesar Rp. 109.187.762. Kemudian pada langkah 2 menunjukkan total biaya sewa yang harus dikeluarkan apabila kereta api barang melakukan pengiriman. Total biaya sewa yang harus dikeluarkan sebesar Rp. 107.500.000. Pada langkah 3 merupakan fungsi tujuan dari penelitian ini dengan memaksimalkan profit yang diperoleh dalam setiap pengiriman. Nilai profit didapatkan dengan mengurangi nilai total pendapatan dengan total biaya. Perhitungan pada hari ke-1 didapatkan sebesar Rp. 1.687.762.

Proses validasi model matematis dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan data kecil. Berdasarkan tabel 5.4 dapat diketahui hasil perhitungan untuk data kecil hingga pengiriman hari ke-7. Selain itu validasi menunjukkan perbandingan hasil antara perhitungan secara manual dengan aplikasi. Hasil perbandingan menunjukkan nilai optimasi yang sama, artinya proses perhitungan matematis dapat dikatakan valid.



Gambar 5.3 Hasil akumulasi profit pengiriman semen dan non semen

Kemudian proses validasi dapat dilanjutkan dengan melihat perilaku pengiriman harian terhadap profit yang diperoleh. Pada gambar 5.3 merupakan hasil perhitungan akumulasi profit dari pengiriman semen dan non semen setiap harinya. Apabila pengiriman barang dapat dilakukan setiap harinya maka profit

yang didapatkan oleh perusahaan akan semakin besar. Hal ini sudah sesuai dengan kondisi di lapangan, maka dari itu model matematis yang disusun sudah tervalidasi.

5.3 Percobaan Numerik & Analisa Hasil

Percobaan numerik dilakukan dengan memasukkan satu per satu parameter yang telah ditentukan. Tujuannya untuk mencari total profit pada setiap pengiriman semen dengan menggunakan moda transportasi kereta api barang. Berikut merupakan skenario penelitian yang diujikan pada model matematis:

Skenario 1: Alokasi kontainer untuk komodisi semen saja

Skenario 2: Alokasi kontainer untuk komoditi semen dan non-semen yang telah ditentukan

Skenario 3: Alokasi kontainer dengan kapasitas penuh (*full capacity*), komoditi semen sebagai inti dan sisanya digunakan untuk non-semen

5.3.1 Hasil Percobaan Skenario 1

Model matematika yang disajikan dalam penelitian ini adalah model deterministik yang mengoptimalkan pengiriman semen menggunakan kereta api barang. Dalam model ini, permintaan dianggap sebagai parameter deterministik dan fungsi objektif mewakili laba dan biaya, termasuk biaya sewa dan bongkar-muat. Dalam menyelesaikan perhitungan numerik, optimisasi model diselesaikan oleh perangkat lunak Microsoft Excel 2016. Kemudian solusi dari frekuensi keberangkatan dan alokasi kontainer diselesaikan oleh *software* Open Solver.

Pada tabel 5.4 didapatkan hasil perhitungan numerik pada skenario 1 dengan memasukkan beberapa parameter. Variabel keputusan dari hasil optimasi ialah pemilihan jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang selama setahun (*annually*). Hasil menunjukkan nilai $Y_3 = 1$, yang artinya selama satu tahun frekuensi keberangkatan setiap tiga hari sekali (*Three-Day Response*) dapat dipilih dalam menentukan jadwal pengiriman. Berikut ini merupakan hasil percobaan numerik model matematis pada skenario 1 dengan skema penentuan jadwal pengiriman setiap tahunan:

Tabel 5.4 Hasil variabel keputusan skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (*annually*)

One-Day Response (Y_1)	*Two-Day Response* (Y_2)	*Three-Day Response* (Y_3)
0	0	1

Tabel 5.5 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (*annually*)

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Jan	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Feb	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Mar	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Apr	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Mei	369	1.062,72	992,84	69,88
Jun	485	1.396,80	1.249,60	147,20
Jul	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Aug	550	1.584,00	1.380,50	203,50
Sep	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Oct	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Nov	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Dec	485	1.396,80	1.249,60	147,20
Total	5.889	16.960,32	14.912,54	2.047,78

Dengan mengatur jadwal keberangkatan setiap tiga hari sekali maka didapatkan hasil perhitungan sebagaimana pada tabel 5.5 yaitu jumlah kontainer semen yang dapat dikirim dan profit yang diperoleh perusahaan. Jumlah kontainer semen dalam satu tahun mencapai 5.889 unit dengan rata-rata pengiriman per bulan sebesar 490 unit. Kemudian hasil optimasi pada maksimasi profit menunjukkan perolehan sebesar Rp 2.047,78 (dalam jutaan) selama setahun.

Pada tabel 5.6 merupakan hasil perhitungan numerik pada skenario 1 dengan penetapan jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang selama bulanan (*periodic*). Pada bulan Januari hingga Juni didapatkan hasil perhitungan nilai $Y_3 = 1$, sehingga jadwal keberangkatan kereta api ditetapkan setiap tiga hari sekali (*Three-Day Response*). Kemudian pada Juli hingga Oktober didapatkan hasil perhitungan dengan nilai $Y_2 = 1$, yang berarti frekuensi keberangkatan kereta api barang berubah menjadi setiap dua hari sekali (*Two-Day Response*). Dan pada dua bulan terakhir, keberangkatan kereta api barang dapat ditetapkan kembali menjadi pengiriman barang setiap tiga hari sekali. Berikut ini merupakan hasil percobaan numerik model matematis pada skenario 1:

Tabel 5.6 Hasil variabel keputusan skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (*periodic*)

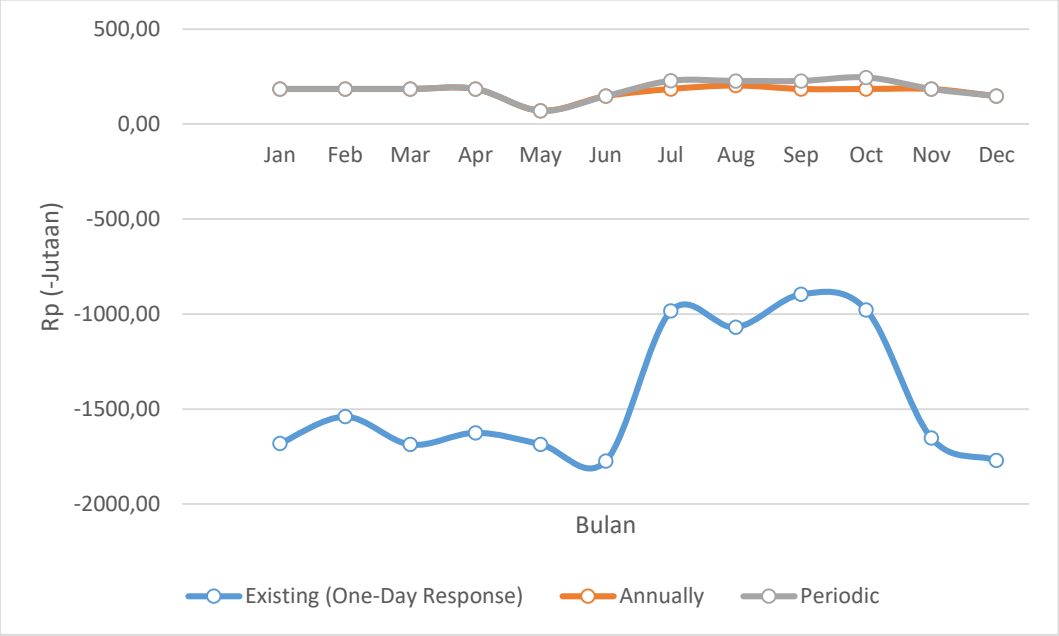
Bulan	*One-Day Response* (Y_1)	*Two-Day Response* (Y_2)	*Three-Day Response* (Y_3)
Jan	0	0	1
Feb	0	0	1
Mar	0	0	1
Apr	0	0	1
Mei	0	0	1
Jun	0	0	1
Jul	0	1	0
Aug	0	1	0
Sep	0	1	0
Oct	0	1	0
Nov	0	0	1
Dec	0	0	1

Tabel 5.7 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 1 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (*periodic*)

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Jan	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Feb	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Mar	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Apr	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Mei	369	1.062,72	992,84	69,88
Jun	485	1.396,80	1.249,60	147,20
Jul	773	2.226,24	1.998,28	227,96
Aug	730	2.102,40	1.875,30	227,10
Sep	730	2.102,40	1.875,30	227,10
Oct	780	2.246,40	2.000,80	245,60
Nov	500	1.440,00	1.255,00	185,00
Dec	485	1.396,80	1.249,60	147,20
Total	6.852	19.733,76	17.516,72	2.217,04

Pada tabel 5.7 didapatkan hasil analisa perhitungan yang menunjukkan jumlah dari kontainer semen yang dapat dikirim dan profit yang diperoleh perusahaan. Jumlah kontainer semen dalam satu tahun mencapai 6.852 unit dengan rata-rata pengiriman per bulan sebesar 570 unit. Kemudian hasil optimasi pada maksimasi profit menunjukkan perolehan sebesar Rp 2.217,04 (dalam jutaan) selama setahun.

Analisa hasil penelitian dilanjutkan dengan melakukan perbandingan pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap tahunan dan bulanan. Perbandingan hasil dari skenario 1 dapat dilihat dari aspek perolehan profit. Berikut merupakan hasil analisa perbandingan pada setiap frekuensi keberangkatan:



Gambar 5.4 Perbandingan perolehan profit pada skenario 1

Pada gambar 5.4 menunjukkan tren perolehan profit selama satu tahun yang ditunjukkan dalam periode bulanan. Jadwal pengiriman saat ini masih menggunakan metode pengiriman frekuensi keberangkatan setiap sehari sekali (*One-Day Response*). Hasil perolehan profit menunjukkan nilai yang sangat minim dalam satu tahun pengiriman barang mencapai kerugian sebesar Rp. -17.343 (dalam jutaan).

Proses optimasi dilakukan dengan mengubah jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang, profit dari pengiriman menunjukkan hasil yang baik. Perubahan frekuensi keberangkatan kereta api barang yang ditetapkan dalam tahunan maupun bulanan menunjukkan perolehan profit yang lebih baik dibandingkan dengan frekuensi keberangkatan eksisting.

Hal ini dapat disebabkan karena adanya *fixed cost* / biaya tetap yaitu sewa kontainer yang harus dibayar pada setiap pengiriman. Pada frekuensi keberangkatan setiap sehari sekali banyak kontainer yang masih belum terisi sehingga dapat menimbulkan kerugian pemakaian kontainer. Apabila frekuensi keberangkatan dilakukan penundaan sehingga mendapatkan agregat order secara penuh maka perusahaan dapat menekan biaya sewa kontainer sekaligus dapat mengoptimalkan perolehan profit.

5.3.2 Hasil Percobaan Skenario 2

Pada skenario 2 analisa dilakukan dengan melakukan optimasi pada alokasi kontainer untuk komoditi semen dan potensi non semen pada kondisi saat ini. Tabel 5.8 menunjukkan hasil perhitungan numerik pada skenario 2 dengan memasukkan beberapa parameter. Variabel keputusan dari hasil optimasi ialah pemilihan jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang selama setahun (*annually*). Hasil menunjukkan nilai $Y_3 = 1$, artinya selama satu tahun frekuensi keberangkatan setiap tiga hari sekali (*Three-Day Response*) dapat dipilih dalam menentukan jadwal pengiriman. Berikut ini merupakan hasil percobaan numerik model matematis pada skenario 2 dengan skema penentuan jadwal pengiriman setiap tahunan:

Tabel 5.8 Hasil variabel keputusan skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (*annually*)

One-Day Response (Y_1)	*Two-Day Response* (Y_2)	*Three-Day Response* (Y_3)
0	0	1

Dengan mengatur jadwal keberangkatan setiap tiga hari sekali maka didapatkan hasil perhitungan sebagaimana pada tabel 5.9 yaitu jumlah kontainer semen yang dapat dikirim dan profit yang diperoleh perusahaan. Jumlah kontainer semen dalam satu tahun mencapai 5.946 unit dengan rata-rata pengiriman per bulan sebesar 495 unit. Berdasarkan hasil optimasi alokasi kontainer non semen tidak terlalu banyak dibandingkan dengan kebutuhan per bulannya. Penambahan kontainer non semen dalam satu tahun hanya mencapai 57 kontainer saja. Kemudian hasil optimasi pada maksimasi profit menunjukkan perolehan sebesar Rp 2.162,80 (dalam jutaan) selama setahun.

Tabel 5.9 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (*annually*)

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Jumlah Kontainer Non-Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Jan	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Feb	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Mar	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Apr	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Mei	369	31	1.138,61	1.004,00	134,61
Jun	485	13	1.428,62	1.254,28	174,34
Jul	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Aug	550	-	1.584,00	1.380,50	203,50
Sep	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Oct	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Nov	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Dec	485	13	1.428,62	1.254,28	174,34
Total	5.889	55	17.099,86	14.933,06	2.166,80

Pada tabel 5.10 merupakan hasil perhitungan numerik pada skenario 2 dengan penetapan jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang selama bulanan (*periodic*). Hasil penetapan jadwal keberangkatan kereta api sebagian besar ditetapkan setiap tiga hari sekali (*Three-Day Response*) dengan hasil perhitungan $Y_3 = 1$. Namun pada bulan Juli hingga Oktober didapatkan hasil perhitungan dengan nilai $Y_2 = 1$, yang berarti frekuensi keberangkatan kereta api barang berubah menjadi setiap dua hari sekali (*Two-Day Response*). Berikut ini merupakan hasil percobaan numerik model matematis pada skenario 2:

Tabel 5.10 Hasil variabel keputusan skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (*periodic*)

Bulan	*One-Day Response* (Y_1)	*Two-Day Response* (Y_2)	*Three-Day Response* (Y_3)
Jan	0	0	1
Feb	0	0	1
Mar	0	0	1
Apr	0	0	1
Mei	0	0	1
Jun	0	0	1
Jul	0	1	0
Aug	0	1	0
Sep	0	1	0
Oct	0	1	0
Nov	0	0	1
Dec	0	0	1

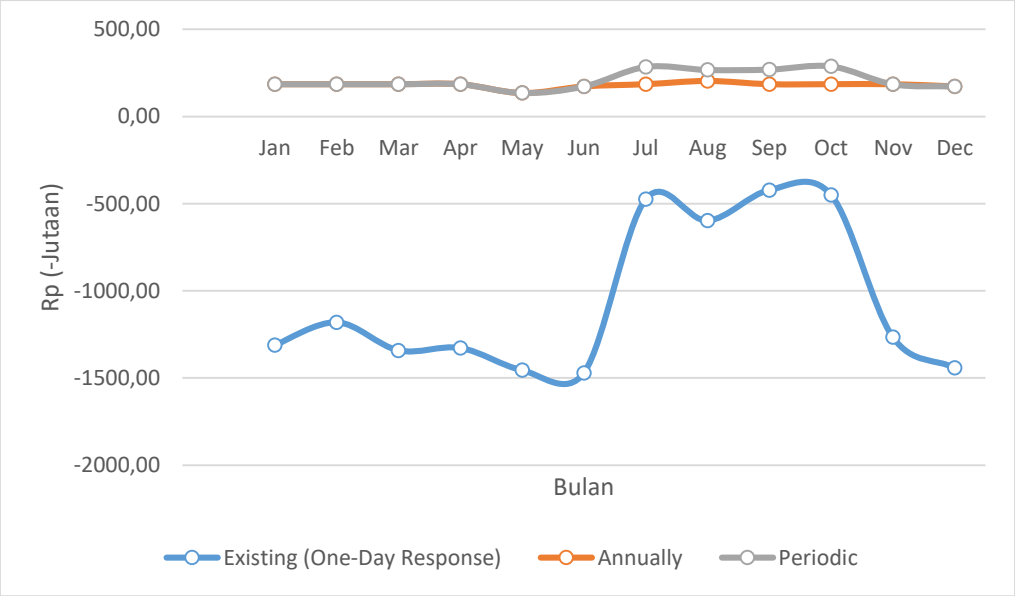
Tabel 5.11 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 2 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (*periodic*)

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Jumlah Kontainer Non-Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Jan	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Feb	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Mar	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Apr	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Mei	369	31	1.138,61	1.004,00	134,61
Jun	485	13	1.428,62	1.254,28	174,34
Jul	773	27	2.292,34	2.008,00	284,34
Aug	730	19	2.148,91	1.882,14	266,77

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Jumlah Kontainer Non-Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Sep	730	20	2.151,36	1.882,50	268,86
Oct	780	20	2.295,36	2.008,00	287,36
Nov	500	-	1.440,00	1.255,00	185,00
Dec	485	13	1.428,62	1.253,92	174,34
Total	6.852	143	20.083,82	17.568,20	2.515,62

Pada tabel 5.11 didapatkan hasil analisa perhitungan yang menunjukkan profit yang diperoleh perusahaan dan jumlah dari kontainer semen dan non semen yang dapat dikirim. Jumlah kontainer semen dalam satu tahun mencapai 6.995 unit dengan rata-rata pengiriman per bulan sebesar 583 unit. Kemudian hasil optimasi pada maksimasi profit menunjukkan perolehan sebesar Rp 2.515,62 (dalam jutaan) selama setahun.

Perbandingan hasil dari skenario 2 dapat dilihat dari aspek perolehan profit dan performa utilisasi aset. Berikut merupakan hasil analisa perbandingan pada setiap frekuensi keberangkatan:



Gambar 5.5 Perbandingan perolehan profit pada skenario 2

Analisa hasil penelitian dilanjutkan dengan melakukan perbandingan pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap tahunan dan bulanan. Pada gambar 5.5 menunjukkan tren perolehan profit pada skenario 2. Jadwal pengiriman saat ini masih menggunakan metode pengiriman frekuensi keberangkatan setiap sehari sekali (*One-Day Response*). Hasil perolehan profit menunjukkan nilai yang sangat minim dalam satu tahun pengiriman barang mencapai kerugian sebesar Rp. -12.744 (dalam jutaan). Namun, pada proses optimasi dengan mengubah jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang, profit dari pengiriman menunjukkan hasil yang baik. Perubahan frekuensi keberangkatan kereta api barang yang ditetapkan dalam tahunan maupun bulanan menunjukkan perolehan profit yang lebih baik dibandingkan dengan frekuensi keberangkatan eksisting.

5.3.3 Hasil Percobaan Skenario 3

Pada percobaan numerik skenario 3 dilakukan analisa dengan alokasi kontainer dengan kapasitas penuh (*full capacity*), komoditi semen sebagai inti dan sisanya digunakan untuk non semen. Hasil optimasi diperoleh sebagaimana pada tabel berikut:

Tabel 5.12 Hasil variabel keputusan skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (*annually*)

One-Day Response (Y_1)	*Two-Day Response* (Y_2)	*Three-Day Response* (Y_3)
0	1	0

Pada tabel 5.12 didapatkan hasil perhitungan numerik pada skenario 3 dengan memasukkan beberapa parameter. Variabel keputusan dari hasil optimasi ialah pemilihan jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang selama setahun (*annually*). Hasil menunjukkan nilai $Y_2 = 1$, yang artinya selama satu tahun frekuensi keberangkatan setiap dua hari sekali (*Two-Day Response*) dapat dipilih dalam menentukan jadwal pengiriman.

Tabel 5.13 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan selama setahun (*annually*)

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Jumlah Kontainer Non-Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Jan	636	114	2.110,75	1.882,50	228,25
Feb	648	102	2.115,94	1.882,50	233,44
Mar	631	119	2.108,59	1.882,50	226,09
Apr	638	112	2.111,62	1.882,50	229,12
Mei	379	221	1.632,53	1.506,00	126,53
Jun	572	178	2.083,10	1.882,50	200,60
Jul	773	27	2.292,34	2.008,00	284,34
Aug	730	20	2.151,36	1.882,50	268,86
Sep	730	20	2.151,36	1.882,50	268,86
Oct	780	20	2.295,36	2.008,00	287,36
Nov	628	122	2.107,30	1.882,50	224,80
Dec	614	136	2.101,25	1.882,50	218,75
Total	7.759	1.191	25.261,49	22.464,50	2.796,99

Dengan mengatur jadwal keberangkatan setiap dua hari sekali maka didapatkan hasil perhitungan sebagaimana pada tabel 5.13, total jumlah maksimal kontainer yang dapat dikirim dalam satu tahun mencapai 8.950 unit. Alokasi kontainer terdiri dari komoditi semen sebanyak 7.759 unit dan non semen sebanyak 1.191 unit. Nilai rata-rata alokasi kontainer non semen per bulan mencapai 100 unit atau setara dengan penambahan 7 unit per hari. Kemudian hasil optimasi pada maksimasi profit menunjukkan perolehan sebesar Rp 2.796,99 (dalam jutaan) selama setahun.

Tabel 5.14 Hasil variabel keputusan skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (*periodic*)

Bulan	*One-Day Response* (Y_1)	*Two-Day Response* (Y_2)	*Three-Day Response* (Y_3)
Jan	0	1	0
Feb	0	1	0
Mar	0	1	0
Apr	0	1	0
Mei	0	0	1
Jun	0	1	0
Jul	1	0	0
Aug	1	0	0
Sep	1	0	0
Oct	1	0	0
Nov	0	1	0
Dec	0	1	0

Pada tabel 5.14 merupakan hasil perhitungan numerik pada skenario 3 dengan penetapan jadwal frekuensi keberangkatan kereta api barang setiap bulanan (*periodic*). Hasil penetapan jadwal keberangkatan kereta api sebagian besar ditetapkan setiap dua hari sekali (*Two-Day Response*) dengan hasil perhitungan $Y_2 = 1$. Sedangkan untuk bulan lainnya didapatkan hasil keputusan keberangkatan kereta api barang setiap sehari sekali (*One-Day Response*) dengan nilai $Y_1 = 1$, Berikut ini merupakan hasil percobaan numerik model matematis pada skenario 3:

Dengan mengatur jadwal keberangkatan seperti pada tabel 5.14, maka akan diperoleh hasil perhitungan jumlah alokasi kontainer dan perolehan profit. Hasil dapat dilihat pada tabel 5.15, total kontainer yang dapat dikirim mencapai 11.800 unit. Alokasi kontainer terdiri dari komoditi semen sebanyak 8.424 unit dan non semen sebanyak 3.376 unit. Nilai rata-rata alokasi kontainer non semen per bulan mencapai 280 unit atau setara dengan penambahan 12 unit per hari.

Kemudian hasil optimasi pada maksimasi profit menunjukkan perolehan sebesar Rp 2.907,57 (dalam jutaan) selama setahun.

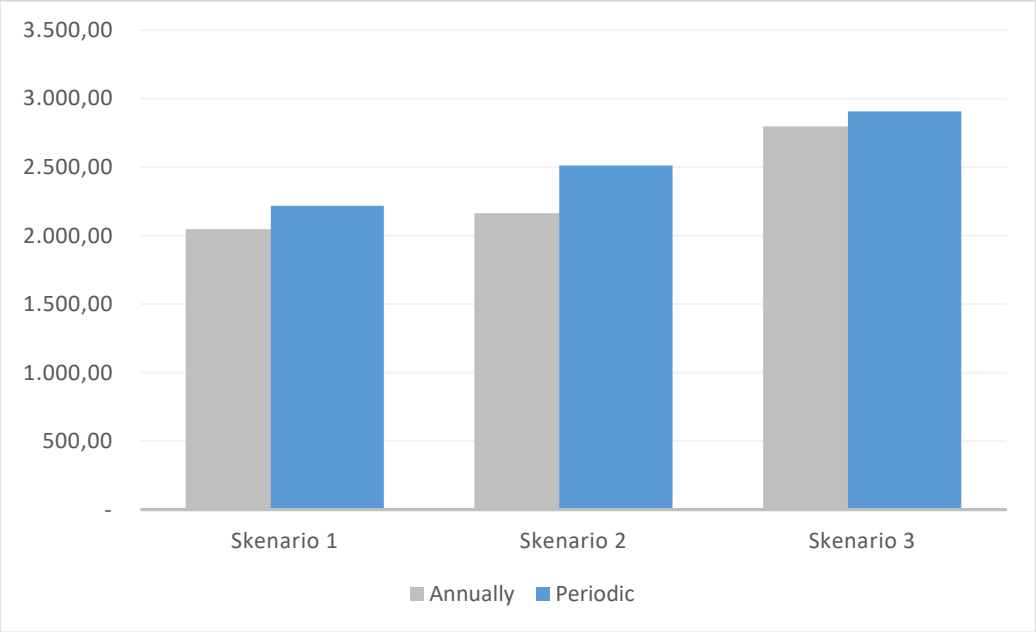
Tabel 5.15 Hasil perhitungan profit (Rp-Jutaan) dan alokasi kontainer skenario 3 pada penetapan frekuensi keberangkatan setiap bulanan (*periodic*)

Bulan	Jumlah Kontainer Semen	Jumlah Kontainer Non-Semen	Total Pendapatan (*TR*)	Total Biaya (TC)	Profit
Jan	636	114	2.110,75	1.882,50	228,25
Feb	648	102	2.115,94	1.882,50	233,44
Mar	631	119	2.108,59	1.882,50	226,09
Apr	638	112	2.111,62	1.882,50	229,12
Mei	369	31	1.138,61	1.004,00	134,61
Jun	572	178	2.083,10	1.882,50	200,60
Jul	932	618	4.197,02	3.890,50	306,52
Aug	898	652	4.182,34	3.890,50	291,84
Sep	924	576	4.071,17	3.765,00	306,17
Oct	934	616	4.197,89	3.890,50	307,39
Nov	628	122	2.107,30	1.882,50	224,80
Dec	614	136	2.101,25	1.882,50	218,75
Total	8.424	3.376	32.525,57	29.618,00	2.907,57

Pada analisa percobaan terhadap jadwal frekuensi keberangkatan dan alokasi kontainer semen maupun non semen maka didapatkan hasil perbandingan sebagaimana berikut:

Tabel 5.16 Perbandingan perolehan profit pada masing-masing skenario

Profit (Rp-Jutaan)	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Annually	2.047,78	2.162,62	2.796,99
Periodic	2.217,04	2.511,45	2.907,57



Gambar 5.6 Perbandingan perolehan profit pada masing-masing skenario

Berdasarkan perbandingan hasil profit pada masing-masing skenario diatas maka dapat disimpulkan skenario 3 memberikan kontribusi yang lebih baik baik dibandingkan dengan skenario lainnya. Penambahan alokasi kontainer sebanyak 7 kontainer non semen pada setiap pengiriman dapat memberikan kontribusi profit sebesar Rp 2.796,99 (dalam jutaan) selama setahun. Kemudian pada perbandingan analisa tersebut juga menunjukkan penetapan jadwal

keberatangan kereta api barang setiap periodik lebih baik dibandingkan dengan setiap tahunan. Namun hal tersebut tetap mengacu pada perjanjian kontrak kerja antar masing-masing perusahaan.

5.4 Kebijakan Penurunan Harga

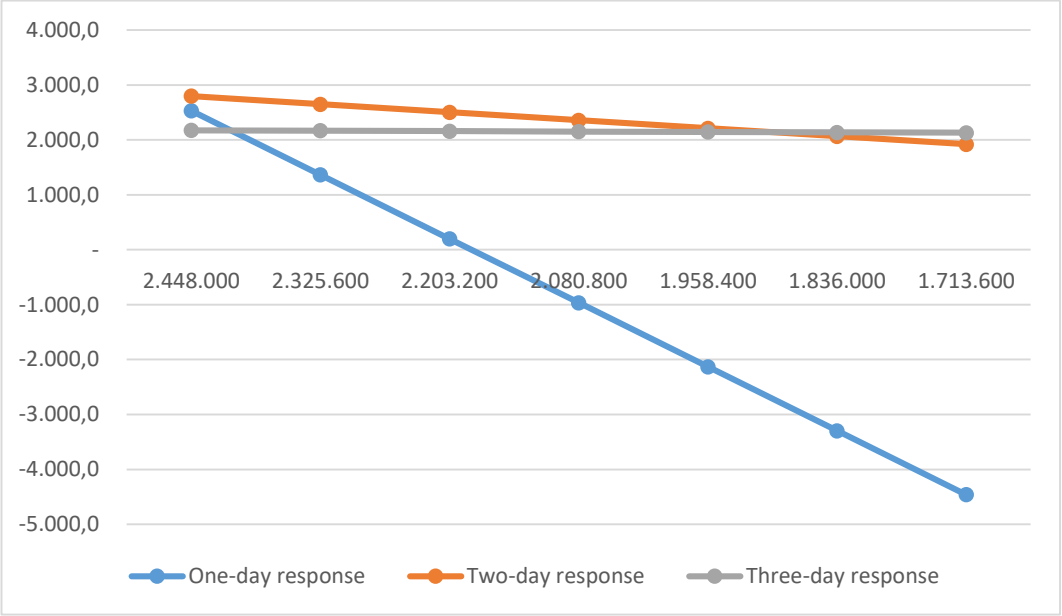
Berdasarkan hasil penelitian maka didapatkan hasil yang optimal apabila pengiriman kontainer semen maupun non semen dilakukan dengan mempertimbangkan frekuensi keberangkatannya. Analisa dilanjutkan dengan menentukan kebijakan penurunan harga pengiriman terutama untuk setiap kontainer non semen. Tujuan dari analisa ini berfungsi untuk menentukan berapa batas minimal yang diizinkan dalam menetapkan harga kepada pelanggan. Karena dengan melakukan penurunan harga setiap kontainer non semen diharapkan dapat menarik minta pelanggan untuk menggunakan jasa transportasi multimoda kereta api. Selain itu, kebijakan penurunan harga ini diharapkan dapat mengetahui akibat dari perubahan nilai parameter sehingga dapat mengetahui perfomansi model dan antisipasi terhadap perubahan yang ada.

Hasil analisa penurunan harga pengiriman kontainer non semen dapat diamati pada tabel 5.17 sebagaimana berikut:

Tabel 5.17 Hasil optimasi pada penurunan harga pengiriman kontainer non semen

α	Harga Non Semen (P^n)	*One-day response*		*Two-day response*		*Three-day response*	
		Ct^n_{tf}	Profit	Ct^n_{tf}	Profit	Ct^n_{tf}	Profit
100%	2.448.000	9.518	2.529,7	1.191	2.797	61	2.175,1
95%	2.325.600	9.518	1.364,7	1.191	2.651,2	61	2.167,7
90%	2.203.200	9.518	199,7	1.191	2.505,4	61	2.160,2
85%	2.080.800	9.518	-965,3	1.191	2.359,7	61	2.152,7
80%	1.958.400	9.518	-2.130,3	1.191	2.213,9	61	2.145,3
85%	1.836.000	9.518	-3.295,3	1.191	2.068	61	2.137,8
80%	1.958.400	9.518	-2.130,3	1.191	2.213,9	61	2.145,3
75%	1.836.000	9.518	-3.295,3	1.191	2.068,1	61	2.137,8
70%	1.713.600	9.518	-4.460,3	1.191	1.922,3	61	2.130,3

Parameter yang akan dirubah pada penelitian ini adalah harga pengiriman per unit kontainer untuk komoditi non semen. Penurunan harga disimulasikan menurun 5% berturut-turut dari harga awal. Faktor pengali ditambahkan pada model matematis yang ditunjukkan dengan simbol α yang bermakna persen penurunan harga kontainer non semen. Objek analisa penurunan harga yang akan diamati menggunakan skenario 3 dengan model kapasitas penuh yang diisi oleh komoditi semen sebagai inti dan sisanya akan dialokasikan untuk komoditi non semen.



Gambar 5.7 Grafik perbandingan penurunan harga terhadap perolehan profit pada masing-masing skenario

Pada tabel 5.17 didapatkan hasil optimasi perolehan profit terhadap penurunan harga setiap kontainer non semen. Hasil optimasi pada skenario 3 nilai profit tertinggi pada keberangkatan setiap dua hari sekali pada harga per unit kontainer non semen sebesar Rp. 2.448.000 dan mendapatkan perolehan profit sebesar Rp 2.796,99 (dalam jutaan) selama setahun.

Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini mencoba untuk melakukan penurunan harga dengan tujuan untuk menarik minat pelanggan sehingga dapat menaikkan volume pengiriman kontainer non semen. Pada tabel 5.17 menunjukkan

penurunan harga pengiriman hingga 20% dari harga awal masih menunjukkan nilai yang optimal dibandingkan dengan jadwal keberangkatan kereta yang lainnya. Dengan harga pengiriman kontainer non semen yang turun hingga Rp. 1.958.400, profit yang didapatkan oleh perusahaan mencapai Rp. 2.213,9 (dalam jutaan).

5.5 Analisis Sensitivitas

Dalam melakukan analisis sensitivitas menjelaskan gambaran sampai sejauh mana suatu hasil keputusan masih memiliki nilai yang konsisten walaupun parameter yang digunakan telah berubah. Pada penelitian ini pengujian sensitivitas menggunakan perubahan parameter pada kebutuhan dan permintaan pelanggan di area Jakarta, Jawa Barat, dan Banten. Hal ini disebabkan karena permintaan pelanggan terhadap komoditi semen maupun non semen masih bersifat fluktuatif dan tidak menentu.

Analisis sensitivitas dikelompokan berdasarkan faktor risiko dan menggunakan tiga asumsi dasar dalam bentuk kemungkinan, yaitu: *base, optimistic* dan *pessimistic*. Pada skenario *optimistic* dilakukan apabila dimungkinkan terjadi kenaikan permintaan pelanggan, sebaliknya pada skenario *pessimistic* mengacu pada penurunan minat beli pelanggan terhadap produk semen dan non semen. Hasil analisis sensitivitas akan menguji sampai sebatas mana merubah variabel keputusan penjadwalan keberangkatan kereta api barang dan alokasi kebutuhan kontainer.

5.5.1 Analisis Sensitivitas pada Skenario 1

Pada tabel 5.18 didapatkan hasil perhitungan numerik analisis sensitivitas pada skenario 1 dengan memasukkan beberapa parameter. Berikut ini merupakan hasil percobaan numerik model matematis pada skenario 1 dengan skema penentuan jadwal pengiriman setiap tahunan:

Tabel 5.18 Hasil analisis sensitivitas skenario 1

Kebutuhan Pelanggan	Jumlah Kontainer	Frekuensi Keberangkatan			Profit (Rp -Jutaan)
		Y_1	Y_2	Y_3	
+40%	8.647	0	1	0	2.547,94
+20%	5.936	0	0	1	2.166,22
0	5.889	0	0	1	2.047,78
-20%	5.625	0	0	1	1.382,5
-40%	4.868	0	0	1	-525,14

Namun setelah melakukan perubahan nilai permintaan kebutuhan semen maka terjadi perubahan keputusan penjadwalan. Hasil didapatkan pada skenario optimis dengan adanya penambahan permintaan kebutuhan semen hingga 8.647 unit kontainer atau setara dengan peningkatan kebutuhan 40% dari nilai awal menunjukkan perubahan jadwal frekuensi keberangkatan setiap dua hari sekali.

5.5.2 Analisis Sensitivitas pada Skenario 2

Pada skenario 2 menggunakan alokasi kontainer untuk komoditi semen dan potensi pengiriman non semen pada kondisi saat ini. Berikut ini merupakan hasil percobaan analisis sensitivitas pada skenario 2:

Tabel 5.19 Hasil analisis sensitivitas skenario 2

Kebutuhan Pelanggan	Jumlah Kontainer	Frekuensi Keberangkatan			Profit (Rp -Jutaan)
		Y_1	Y_2	Y_3	
+40%	8.893	0	1	0	3.061,59
+20%	8.761	0	1	0	2.646,01
0	5.946	0	0	1	2.166,79
-20%	5.893	0	0	1	1.942,09

Kebutuhan Pelanggan	Jumlah Kontainer	Frekuensi Keberangkatan			Profit (Rp -Jutaan)
		Y_1	Y_2	Y_3	
-40%	5.534	0	0	1	856,47

Pada tabel 5.19 menunjukkan hasil analisis sensitivitas pada skenario 2 dengan variabel keputusan pada kondisi saat ini dipilih frekuensi keberangkatan setiap tiga hari sekali. Total kontainer yang dapat diangkut sebanyak 5.946 unit kontainer dan perolehan profit sebesar Rp. 2.166,79 (-dalam jutaan). Kemudian dengan melakukan analisis sensitivitas perubahan nilai permintaan kebutuhan semen maka terjadi perubahan keputusan penjadwalan. Hasil didapatkan pada skenario optimis dengan adanya penambahan permintaan kebutuhan semen hingga 8.761 unit kontainer atau setara dengan 20% dari nilai awal menunjukkan perubahan jadwal frekuensi keberangkatan setiap dua hari sekali.

5.5.3 Analisis Sensitivitas pada Skenario 3

Pada percobaan numerik skenario 3 dilakukan analisa dengan alokasi kontainer dengan kapasitas penuh (*full capacity*), komoditi semen sebagai inti dan sisanya digunakan untuk non semen. Hasil analisis sensitivitas diperoleh sebagaimana pada tabel berikut:

Tabel 5.20 Hasil analisis sensitivitas skenario 3

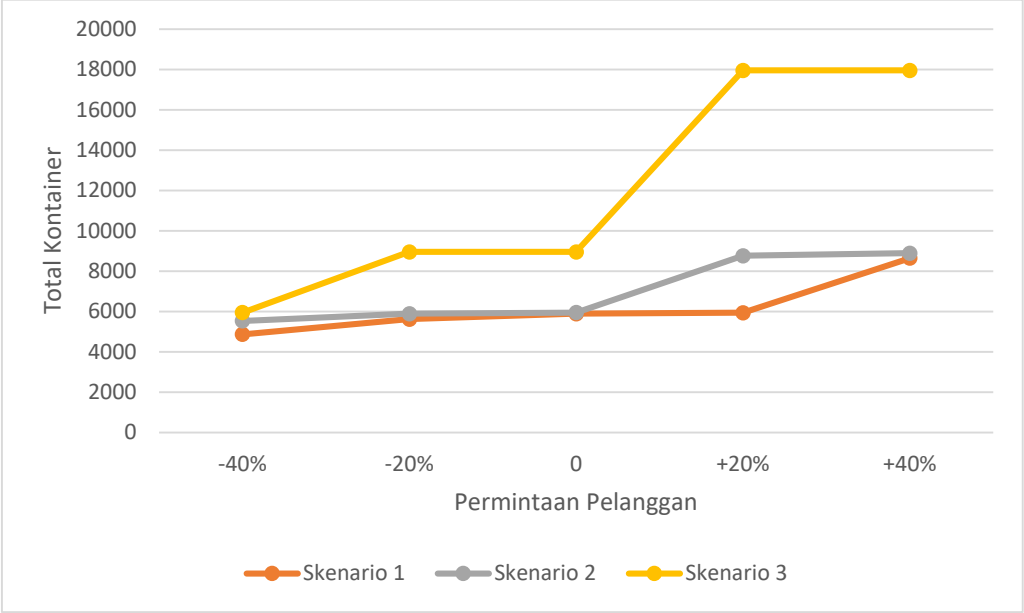
Kebutuhan Pelanggan	Jumlah Kontainer	Frekuensi Keberangkatan			Profit (Rp -Jutaan)
		Y_1	Y_2	Y_3	
+40%	17.950	1	0	0	4.021,85
+20%	17.950	1	0	0	3.297,82
0	8.950	0	1	0	2.796,98
-20%	8.950	0	1	0	2.307,53
-40%	5.950	0	0	1	1.734,08

Pada tabel 5.20 didapatkan hasil perhitungan numerik pada skenario 3 dengan memasukkan beberapa parameter. Hasil optimasi skenario 3 pada kondisi normal menunjukkan variabel keputusan frekuensi keberangkatan yang dipilih setiap dua hari sekali. Total kontainer yang dapat diangkut sebanyak 8.950 unit kontainer dan perolehan profit sebesar Rp. 2.796,98 (-dalam jutaan). Namun setelah melakukan perubahan nilai permintaan kebutuhan semen maka terjadi perubahan keputusan penjadwalan. Hasil didapatkan pada skenario optimis dengan adanya penambahan permintaan kebutuhan semen hingga 20% dari nilai awal menunjukkan perubahan jadwal frekuensi keberangkatan setiap sehari sekali. Kemudian pada skenario pesimis apabila terjadi penurunan kebutuhan pelanggan variabel keputusan frekuensi keberangkatan akan berubah apabila turun hingga 40% dari kebutuhan awal.

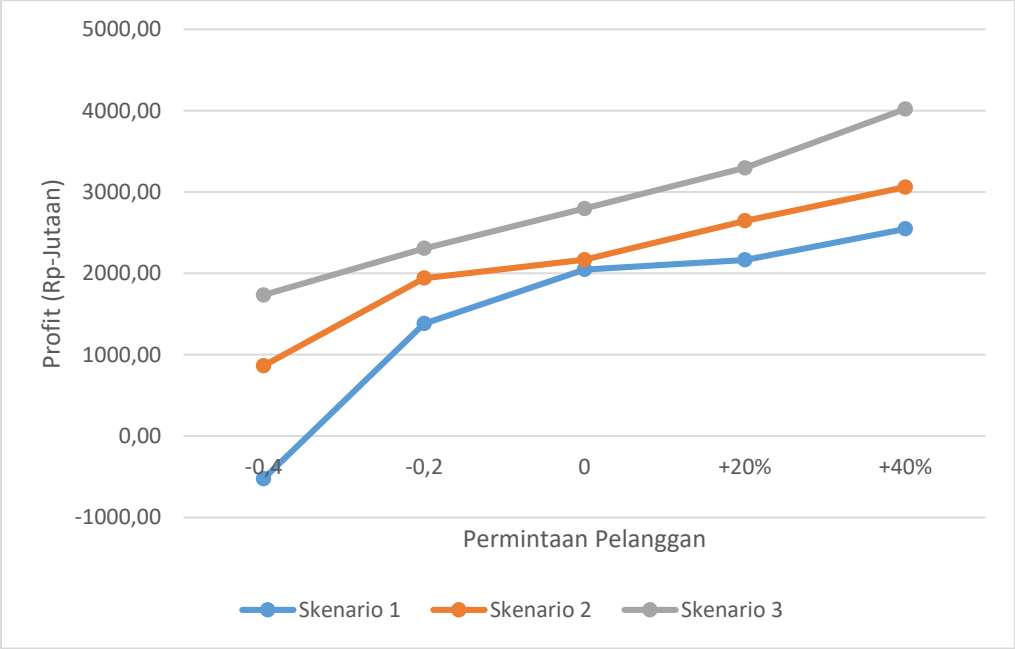
5.5.4 Hasil Analisis Sensitivitas pada Ketiga Skenario

Hasil pengujian analisis sensitivitas pada masing-masing skenario dilakukan penambahan dan pengurangan prosentase pada kebutuhan pasar. Tujuannya untuk menguji sampai sejauh mana perubahan prosentase kebutuhan pelanggan berpengaruh terhadap variabel keputusannya. Pada kondisi optimistic dilakukan analisa dengan menaikkan prosentase permintaan pelanggan, kemudian pada skenario pessimistic mengacu pada penurunan minat beli pelanggan terhadap produk semen dan non semen.

Dengan permintaan pelanggan yang masih memenuhi kapasitas pengiriman kereta api barang, maka prosentase permintaan disimulasikan dengan penurunan dimulai dari 40% hingga menjadi kenaikan 40%. Uji sensitivitas menunjukan bahwa perubahan prosentase atas kebijakan permintaan pelanggan maka dapat berkorelasi positif terhadap jumlah angkutan yang dapat dikirim dan perolehan profit. Semakin meningkat perubahan prosentase kebutuhan pelanggan maka akan semakin meningkat pula potensi total kontainer yang dapat dikirim dan perolehan profit yang didapatkan perusahaan. Adapun perbandingan hasil analisis sensitivitas pada masing-masing skenario adalah sebagai berikut:



Gambar 5.8 Perbandingan hasil analisis sensitivitas antara kebutuhan pelanggan dengan jumlah kontainer



Gambar 5.9 Perbandingan hasil analisis sensitivitas antara kebutuhan pelanggan dengan profit

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil percobaan numerik dan analisa maka pada bab ini membahas mengenai kesimpulan yang menjawab perumusan masalah dan tujuan penelitian. Kemudian pada bab ini juga memberikan saran perbaikan serta potensi untuk pengembangan penelitian yang akan datang.

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini membahas mengenai permasalahan distribusi semen dengan menggunakan moda transportasi kereta api barang. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, maka diperoleh kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Pada pengiriman kereta api semen dan non semen yang terisi penuh maka keputusan jadwal pengiriman dapat dilakukan dengan keberangkatan setiap dua hari sekali (*Two-day response*) dengan alokasi penambahan kontainer non semen sebanyak 7 unit pada setiap pengiriman.
2. Kebijakan penurunan harga pengiriman angkutan kereta api barang per unit kontainer diharapkan dapat menarik minat pelanggan dan meningkatkan volume pengiriman komoditi semen. Berdasarkan hasil analisa penelitian maka didapatkan batasan penurunan harga pengiriman hingga 20% atau setara dengan Rp. 1.958.400 per unit kontainer.

6.2 Saran

Penelitian ini masih memerlukan pengembangan dan diharapkan dapat dilanjutkan pada penelitian yang lain. Dalam penelitian mendatang dapat menambahkan beberapa permasalahan terkait pengiriman dengan menggunakan kereta api barang. Berikut merupakan saran perbaikan yang diusulkan dari penulis:

1. Penelitian ini mengacu pada permasalahan distribusi rantai pasok semen menggunakan transportasi intermoda. Saat ini pembahasan dibatasi pada kereta api barang saja, selanjutnya dapat mempertimbangkan keseluruhan moda transportasi. Seperti contohnya, penambahan permasalahan pada

transportasi darat mengenai pengiriman dari asal pemuatan ke stasiun dan pengiriman lanjutan dari stasiun ke distributor

2. Pada penelitian ini membahas pengiriman barang yang dimulai dari Stasiun Babat menuju ke Stasiun Pasoso. Pengembangan model pada penelitian selanjutnya dapat membahas tentang penambahan beberapa stasiun tujuan. Hal ini bertujuan untuk menambah cakupan area dan pemerataan distribusi pengiriman
3. Kemudian dengan menambah beberapa stasiun tujuan, maka penelitian selanjutnya akan sangat menarik untuk membahas permasalahan tentang perbedaan kebutuhan pelanggan pada setiap area pengiriman dan perbedaan kapasitas muat pada setiap jenis barang yang diangkut

DAFTAR PUSTAKA

Andriansyah. (2015). *Manajemen Transportasi dalam Kajian dan Teori*. Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Prof. Dr. Moestopo Beragama. Jakarta

Bowersox, D.J., Closs, D.J., & Cooper, M.B. (2013). *Supply Chain Logistics Management*. Mc.Graw-Hill. New York, United States of America

Brigham, E.F. & Houston, J.F. (2006). *Dasar-Dasar Manajemen Keuangan*. Salemba Empat Edisi 10. Jakarta

Chang, T.-S. (2008). *Best Routes Selection in International Intermodal Networks*. Computers & Operations Research. 35(9), 2877–2891

Chopra, S. & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations - 6th Edition*. Pearson Education. United States of America

Coyle, J.J. Novack, R.A., & Brian J. Gibson. (2016). *Transportation a Global Supply Chain Perspective*. Cengange Learning. Boston, United States of America

Doerner, K.F., et al. (2007). *Metaheuristics: Progress in Complex Systems Optimization*. Springer Science Business Media. New York, United Stated of America

Gittinger, J. P. (1986). *Analisa Ekonomi Proyek-Proyek Pertanian*. Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta

Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill. New York, United Stated of America

Hoover, S. V., & Perry, R. F. (1989). *Simulation: a problem-solving approach*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Kasmir. (2010). *Pengantar Manajemen Keuangan*. Kencana Prenada Media Group. Jakarta

Lu, H. A., Chu, C. W., & Che, P. Y. (2010). *Seasonal Slot Allocation Planning for a Container Liner Shipping.* Journal of Marine Science and Technology, Vol. 18, No. 1, pp. 84-92

Magnanti, T.L., & Wong, R.T. (1985). *Network Design and Transportation Planning Models and Algorithms*. Transportation Science, 18(1), 1–55

Miro, F. (2005). *Perencanaan Transportasi untuk Mahasiswa, Perencana, dan Praktisi*. Erlangga. Jakarta

Nasution, M. N. (2004). *Manajemen Transportasi*. Ghalia Indonesia. Jakarta

Newman, A.M. & Yano, C.A. (2000). *Centralized and Decentralized train scheduling for intermodal operations*. IEE Transactions, 32 (8), 743-754

Nikolopoulus, K., et al. (2011). *An aggregate-disaggregate intermittent demand approach (ADIDA) to forecasting: an empirical proposition and analysis*. Journal of the Operation Research Society, 62, 544-554

Nurcahyani, R. (2014). *Penyelesaian Model Nonlinear Menggunakan Separable Programming pada Portofolio Optimal*. Skripsi. UNY, Yogyakarta

Pujawan, N.I. & Er, Mahendrawathi. (2010). *Supply Chain Management - Edisi 3*. Andi. Yogyakarta

Rao, S. S. (2009). *Engineering Optimization Theory and Practice 4thed.* John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey

Sari, A.R. & Rusdiansyah, A. (2018). *Feasibility Model for Freight Train Insertation in One Way - Train Schedule*. *MATEC Web of Conferences, 204*

Setijadi. (2013). *Pengguna Moda Transportasi Kereta Api Untuk Efisiensi Logistik Indonesia.* Diakses pada tanggal 02 Januari 2020, dari http://www.kalogistics.co.id/news/detail/penggunaan_moda_transportasi_kereta_api_untuk_efisiensi_logistik_indonesia

Ulku, M. A. (2009). *Analysis of Shipment Consolidation in the Logistics Supply Chain*. Thesis. University of Waterloo, Canada

Wardhana, A.S., Rusdiansyah, A., & Siswanto, N. (2015). *Model Simulasi Diskrit untuk Penjadwalan Kereta Barang dengan Pengembangan Algoritma Penyalipan Kereta di Jalur Ganda Utara Pulau Jawa, Indonesia*. Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIII. No. A-13-1

Wijaya, H., Purnawan., & Gunawan, H. (2014). *Penentuan Tarif Angkutan Barang Moda Kereta Api Jalur Padang-Solok*. Jurnal Rekayasa Sipil, Vol.10, No.1, 57-67

Yaghini, M. & Akhnavan, R. (2012). *Multicommodity Network Design Problem in Rail Freight Transportation Planning*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 43, 728-739

Zhang, X., Li, L., & Zhang, J. (2019). *An Optimal Service Model for Rail Freight Transportation Pricing, Planning, and Backlog Controlling*. Journal of Cleaner Production 218, 565-574

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Faris Putra Ardiansyah, lahir di Surabaya pada tanggal 10 September 1993. Pendidikan Sarjana diselesaikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2015 sampai 2018 penulis bekerja disalah satu perusahaan yang bergerak dibidang transportasi dan distribusi bahan material di Tuban, Jawa Timur. Dengan pengalaman kerja di bidang logistik dan rantai pasok, penulis mendapatkan beasiswa dari perusahaan dan memutuskan untuk melanjutkan studi Pascasarjana di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS, dengan mengambil konsentrasi studi dibidang Manajemen Logistrik dan Rantai Pasok pada tahun 2018. Penulis menutup kuliah di kampus dengan mengerjakan Tugas Akhir yang berjudul "**Pengembangan Model Optimasi Penggunaan Kereta Api Semen dengan Mempertimbangkan Frekuensi Keberangkatan dan Alokasi Produk Non Semen**".

Email : faris.ardiansyah19@gmail.com