

SISTEM ROUTING PROSES DELIVERY MENGUNAKAN SIMULATED ANNEALING (Studi Kasus: PT. X)

Budi Nur Siswanto¹, Afferdhy Ariffien², Ilham Jayakusuma³

^{1, 2, 3} Sekolah Tinggi Manajemen Logistik Indonesia

E-mail: ¹budi.nur.siswanto@gmail.com, ²ferdyocean@gmail.com, ³ilhamjeka@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan *e-commerce* dan sistem transportasi cerdas membuat aktivitas logistik menjadi bagian penting yang terus meningkat dalam kehidupan masyarakat. Kecepatan transportasi barang/delivery membuat perusahaan logistik menjadi lebih kompetitif dan biaya yang dikeluarkan untuk distribusi adalah masalah yang menjadi perhatian. Kurir di perusahaan delivery merupakan salah satu kekuatan utama operasional, sehingga penentuan rute harus ditentukan dengan baik. Penelitian ini membahas tentang pembuatan sistem routing dan proses bisnis usulan untuk perusahaan delivery PT. X dengan menerapkan *Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem (ACVRP)* menggunakan algoritma metaheuristik *Simulated Annealing* dengan konstanta perbandingan antara total jarak dan jarak maksimum satu rute 0.1; 0.5; dan 0.9. Keoptimalan sistem routing disesuaikan dengan kebutuhan dari pengambil keputusan untuk memfokuskan penentuan rutenya, apakah fokus ke total jarak atau jarak maksimum satu rute. Proses bisnis yang diusulkan dapat menghemat waktu sebanyak 2 jam.

Kata kunci: *routing, vrp, metaheuristik, simulated annealing, delivery.*

ABSTRACT

The development of *e-commerce* and intelligent transportation systems makes logistics activities an important and ever increasing part of people's lives. The speed of freight transportation makes logistics companies more competitive and the costs incurred for distribution are issues of concern. Couriers in a delivery company are one of the main operational strengths, so the determination of the route must be well defined. This study discusses the creation of routing system and proposed business processes for the delivery company (PT. X) by applying the *Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem (ACVRP)* using *Simulated Annealing* metaheuristic algorithm with a trade-off between the total distance and the maximum distance of one route 0.1; 0.5; and 0.9. The routing system optimization is adjusted to the needs of the decision maker to focus its route determination, whether it is focused on the total distance or the maximum distance of one route. The proposed business process can save as much as 2 hours.

Keywords: *routing, vrp, metaheuristics, simulated annealing, delivery.*

1. Pendahuluan

Dengan perkembangan platform dari e-commerce dan sistem transportasi cerdas, aktivitas logistik menjadi bagian penting yang terus meningkat dalam kehidupan masyarakat. Dapat diperkirakan berbagai segmen industri akan ikut terlibat dalam e-commerce, yang berarti logistik tidak hanya akan melibatkan layanan transportasi secara umum saja, tetapi juga merupakan sebuah sistem yang didasarkan pada teknologi informasi dan metode manajemen (Cao, 2018). Manufaktur mempertimbangkan biaya transportasi karena merupakan komponen yang berperan cukup besar dalam pembentukan harga produk dan kepuasan pelanggan sehingga mereka menggunakan situasi ini untuk meningkatkan kekuatan kompetitifnya. Oleh karena itu, masalah transportasi adalah masalah yang sangat penting di bidang logistik dan rantai pasok. (Shahdaei dan Rahimi, 2016).

Kecepatan transportasi barang/delivery membuat perusahaan logistik menjadi lebih kompetitif dan biaya yang dikeluarkan untuk distribusi adalah masalah inti yang menjadi perhatian (Fan, 2016). Dalam beberapa tahun ini, dengan bertambahnya tantangan untuk menyediakan layanan dengan kualitas yang lebih baik di samping menurunkan biaya operasional, aktivitas transportasi barang telah berubah menjadi aktivitas yang lebih kompleks, salah satunya adalah mengumpulkan suatu jenis barang dari banyak pemasok kemudian diantarkan ke banyak pelanggan, dengan menggunakan beberapa kendaraan dalam suatu batasan waktu yang spesifik (Euchi, 2017).

PT. X adalah salah satu perusahaan pengiriman yang beroperasi di Jakarta dengan cakupan layanan di seluruh Indonesia. Data pada tahun 2017 menunjukkan bahwa 13.274 (31%) kiriman berstatus terlambat (*late shipment*). PT. X mengatur pembagian tugas untuk kurir berdasarkan jadwal shift pengiriman. Jadwal kiriman dibentuk berdasarkan kelompok (cluster) wilayah yang sudah dibuat oleh PT. X dan kurir yang ditugaskan pada satu cluster di hari terkait. Pada kenyataannya, proses seperti saat ini menghambat mulainya proses delivery oleh kurir sehingga selalu terdapat kiriman yang terlambat sampai di tujuan (*late shipment*). (Gambar 1 Proses Bisnis Eksisting). Penyebabnya adalah lamanya proses *sorting* yang dilakukan oleh *station agent*. Dampaknya adalah jumlah paket yang dibawa kembali ke depot bertambah yang tentu merupakan pemborosan karena akan melakukan pengiriman lebih dari satu kali untuk paket yang sama.

Penentuan rute untuk pengiriman dilakukan sendiri oleh kurir sehingga keseluruhan jarak yang ditempuh oleh seluruh kurir untuk memenuhi seluruh

permintaan kiriman menjadi tidak terukur apakah keseluruhan rute tersebut merupakan rute yang efektif atau tidak. Ditambah lagi, jarak tempuh antar titik belum tentu memiliki panjang yang sama ketika dilewati dengan arah yang berbeda, utamanya jalan di Jakarta yang dinobatkan sebagai kota yang menempati urutan ke-12 sebagai kota termacet di dunia (INRIX, 2017). Selain itu, bisa saja terdapat rute-rute yang memiliki tujuan berdekatan, dilewati oleh beberapa kurir sekaligus. Sedangkan di sisi lain, kurir adalah salah satu kekuatan utama dari operasional perusahaan pengiriman, termasuk PT. X sehingga perencanaan mengenai penentuan rute harus dilakukan dengan cepat dan optimal agar kinerja operasional secara keseluruhan dapat berjalan dengan efektif.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir penelitian (Gambar 2 Diagram Alir Penelitian). Sub-proses pengolahan data menguraikan penjelasan mengenai tahap-tahap yang dilalui hingga memperoleh hasil penelitian (Gambar 3 Diagram Alir Sub-proses Pengolahan Data). Sub-proses analisis menjelaskan urutan analisis yang dilakukan terhadap hasil dari pengolahan data (Gambar 4 Diagram Alir Sub-proses Analisis).

3. Formulasi Model Matematis ACVRP

Proses delivery saat ini, menunjukkan bahwa permasalahan tersebut merupakan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Karena mempertimbangkan jarak tempuh yang mungkin tidaklah sama ketika berangkat dan kembali dari dan ke titik yang sama, digunakanlah ACVRP.

Secara matematis Herrero (2015) menunjukkan, ACVRP dapat didefinisikan sebagai berikut: diberikan sebuah graf berarah $G = (I, E)$ dimana $I = \{0, 1, \dots, n\}$ adalah himpunan dari *node* dan E adalah himpunan dari *edge/arc*. *Node* $i = 1, 2, \dots, n$ berkaitan dengan pelanggan, dan setiap permintaan deterministik $d_i \geq 0$. *Node* $i = 0$ adalah depot dengan nol permintaan $d_0 = 0$. $K > 0$ adalah jumlah dari kendaraan yang tersedia, dan semuanya memiliki kapasitas angkut yang sama $Q > 0$. c_{ij} adalah biaya berdasarkan jarak bernilai non-negatif yang diasosiasikan dengan *edge/arc* $(i, j) \in E$, dan $c_{ii} = +\infty, \forall i \in I$. Matriks jarak ditentukan asimetris, yang dapat dihitung menggunakan jarak sebenarnya antara sepasang lokasi (i, j) , yang dapat terjadi $c_{ij} \neq c_{ji}$. Formulasinya adalah sebagai berikut:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{i \in I \setminus \{j\}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in I \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in I \setminus \{i\}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I \setminus \{0\}} x_{i0} \leq K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I \setminus \{0\}} x_{i0} = \sum_{j \in I \setminus \{0\}} x_{0j} \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I \setminus \{j\}} y_{ij} + d_j = \sum_{i \in I} y_{ji} \quad \forall j \in I \setminus \{0\} \quad (6)$$

$$0 \leq d_i x_{ij} \leq y_{ij} \leq (Q - d_j) x_{ij} \quad \forall (i, j) \in E \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in E \quad (8)$$

$$y_{ij} \in [0, Q] \quad \forall (i, j) \in E \quad (9)$$

Variabel biner x_{ij} dalam (8) mengindikasikan apakah pelanggan j dikunjungi segera setelah i atau tidak. Terdapat juga variabel y , yang didefinisikan dalam persamaan (9) dimana y_{ij} merepresentasikan muatan dalam kendaraan yang tiba di pelanggan j setelah mengunjungi pelanggan i dalam satuan komoditas.

Fungsi objektif (1) memimasi total biaya dalam artian jarak dari *arc/edge* yang digunakan oleh rute yang dihasilkan. Pembatas (2) dan (3) mengharuskan setiap pelanggan dikunjungi satu kali, memiliki satu titik mulai dan satu titik akhir. Pembatas (4) memastikan bahwa jumlah kendaraan yang digunakan tidak melebihi kendaraan yang tersedia. Pembatas (5) berarti bahwa jumlah kendaraan yang meninggalkan depot sama dengan jumlah kendaraan yang kembali ke depot.

Pembatas (6) menyatakan bahwa kuantitas barang y_{ij} dalam kendaraan yang meninggalkan pelanggan j ditambah dengan permintaan dari pelanggan tersebut, sama dengan kuantitas barang dalam kendaraan yang meninggalkannya setelah layanan selesai. Pembatas (7) menjamin batas atas dan batas bawah memastikan bahwa kuantitas barang y_{ij} dalam kendaraan yang meninggalkan pelanggan i

sama dengan atau lebih besar dari permintaan, d_i ; dan total permintaan yang diselesaikan oleh setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas Q .

4. Penyelesaian ACVRP dengan *Simulated Annealing* (SA)

Penyelesaian ACVRP dengan *Simulated Annealing* dimulai dengan mengumpulkan data-data yang terkait dengan teori-teori yang diperoleh. Data-data tersebut di antaranya adalah data armada dan jadwal; data kiriman PT. X yang di dalamnya terdapat data pelanggan dan jumlah *demand*; dan proses bisnis mulai dari penjadwalan hingga *delivery* kiriman. Langkah selanjutnya setelah data terkumpul, pengolahan data dimulai dengan memperoleh data koordinat geografis pelanggan yang didapatkan secara manual di google maps (maps.google.com) dengan jumlah 104 koordinat (103 pelanggan dan 1 depot) yang selanjutnya dibuat matriks jarak antar koordinat pelanggan dengan satuan kilometer. Pengaturan dalam *google maps* tidak menggunakan jalan tol mengingat kendaraan yang digunakan adalah motor.

Deskripsi permasalahan ACVRP untuk diselesaikan dengan SA adalah jumlah pelanggan (103 pelanggan), jumlah kendaraan (9 kendaraan), kapasitas kendaraan (30 kg/motor), permintaan pelanggan, serta matriks jarak antar titik. Sedangkan parameter SA yang digunakan adalah iterasi maksimal (1200), iterasi dalam maksimal (300), suhu awal (200), tingkat penurunan suhu (0,95), dan perbandingan antara total jarak dan jarak maksimum rute (η) (0,1; 0,5, dan 0,9).

Loop atau pengulangan SA mengikuti algoritma sebagai berikut:

```
Input: Cooling schedule.  
s = s0 ; /* Generation of the initial solution */  
T = Tmax ; /* Starting temperature */  
Repeat  
  Repeat /* At a fixed temperature */  
    Generate a random neighbor s' ;  
     $\Delta E = f(s') - f(s)$  ;  
    If  $\Delta E \leq 0$  Then s = s' /* Accept the neighbor  
      solution */  
    Else Accept s' with a probability  $e^{\frac{-\Delta E}{T}}$  ;  
  Until Equilibrium condition  
  /* e.g. a given number of iterations executed at  
  each temperature T */  
  T = g(T) ; /* Temperature update */  
Until Stopping criteria satisfied /* e.g. T < Tmin  
*/  
Output: Best solution found.
```

Create Neighbor berperan sebagai *perturbation* (gangguan) terhadap solusi awal untuk memperoleh solusi yang lebih baik dari solusi sebelumnya. Dalam

penelitian ini digunakan tiga cara untuk membentuk solusi baru yaitu *swap*, *reversion*, dan *insertion* (Gambar 5 Operator Pembentuk *Neighbor*).

Cooling Schedule ditentukan menggunakan cara geometris dengan tingkat penurunan suhu $\alpha = 0.95$.

5. Hasil Penyelesaian dan Analisis

Penyelesaian dilakukan dalam MATLAB dengan menggunakan tiga nilai η : 0,1; 0,5; dan 0,9, dengan total jarak masing-masing 968,68 km; 789,88 km; dan 795,11 km. Jarak maksimum masing-masing adalah 132,67 km; 179,64 km; dan 190,88 km. Kendaraan yang digunakan masing-masing adalah 9 kendaraan; 6 kendaraan; dan 6 kendaraan, sedangkan titik terbanyak yang dilewati satu rute adalah 18 titik; 25 titik; dan 30 titik. Setiap kali penyelesaian diperoleh grafik rute (Gambar 5, 6, dan 7).

Nilai $\eta = 0,1$ memiliki dampak terhadap keseimbangan jarak yang merata untuk sembilan kendaraan. Ini menunjukkan bahwa Nilai $\eta = 0,1$ dapat membagi jarak rute secara merata sehingga tidak akan ada yang merasa bahwa rute yang ditempuhnya adalah rute yang paling jauh dibandingkan rute-rute yang lain. Dari sisi muatan pun hanya satu kendaraan saja yang mengangkut muatan sama dengan kapasitas kendaraan yaitu rute nomor 5 dengan jumlah titik yang dikunjungi sebanyak 13 titik. Diketahui bahwa hanya beberapa kendaraan saja yang memiliki utilitas di atas 50%. Sedangkan dari segi rasio jarak, paling besar adalah 14% dari total jarak, dan paling kecil adalah 6% dari total jarak dengan jangkauan 8%.

Nilai $\eta = 0,5$ tidak memberikan keseimbangan seperti sebelumnya. Dari sembilan kendaraan yang tersedia hanya enam rute saja yang dibangkitkan untuk memenuhi permintaan pelanggan dimana tiga di antaranya tidak digunakan yaitu rute nomor 5, 6, dan 7. Sebagai gantinya, rute lain harus mengantar ke lebih banyak alamat. Namun, dari segi muatan, tidak ada rute yang mengantarkan jumlah muatan sama dengan kapasitas kendaraannya. Diketahui bahwa utilitas dari enam kendaraan yang digunakan semuanya lebih dari 50%. Rasio jarak yang diperoleh setiap rute tergolong cukup tinggi jika dibandingkan dengan pada $\eta=0,1$ yang mencapai 23% untuk rute nomor 3 dan nomor 8, dengan jangkauan rasio 15% jika tidak memasukkan rute yang tidak digunakan

Nilai $\eta = 0,9$ juga tidak memberikan keseimbangan seperti pada nilai $\eta = 0,1$ juga. Dari sembilan kendaraan hanya dibangkitkan tujuh rute. Namun, sama seperti pada $\eta = 0,5$, jarak yang ditempuh masing-masing rute cukup jauh jika dibandingkan dengan $\eta = 0,1$. Dari ketiga hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa semakin besar nilai η , maka perhitungan akan difokuskan pada minimasi

jarak tempuh total dari seluruh rute. Sebaliknya, semakin kecil nilai η maka fokusnya adalah untuk meminimasi jarak maksimum yang ditempuh oleh suatu rute. Diketahui bahwa utilitas 5 kendaraan lebih dari 50%, hanya satu yang berada di bawahnya yaitu rute nomor 4 dengan utilitas 40%. Namun dari segi rasio jarak cukup besar yaitu mencapai 24%, serta jangkauan rasio sebesar 16%.

Dalam penerapannya, nilai η bergantung kepada keputusan manajemen PT. X, apakah akan fokus untuk meminimalkan jarak tempuh seluruh rute dengan konsekuensi terdapat rute yang sangat jauh, meminimalkan jarak maksimum rute dengan konsekuensi total jarak rute yang cukup jauh, atau memberikan keseimbangan untuk keduanya.

6. Sistem Routing dan Proses Bisnis

Diagram alir sistem *routing* (Gambar 8 Diagram Alir Sistem *Routing*) mengikuti langkah pengerjaan untuk menyelesaikan permasalahan *vehicle routing problem*, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan berapa banyak paket yang akan masuk ke dalam rencana *routing*. Setelah ditentukan jumlahnya, memeriksa alamat apakah data koordinat untuk alamat tersebut sudah ada dalam *database* atau tidak. Jika tidak ada, dilakukan pencarian koordinat untuk alamat yang belum ada koordinatnya kemudian disimpan ke dalam *database*, sedangkan jika seluruh koordinat untuk alamatnya sudah ada dapat langsung dibuat matriks jarak. Data-data seperti jumlah armada, kapasitas armada, jumlah alamat, termasuk matriks jarak, dimasukkan ke dalam *solver* untuk memperoleh rute yang ditetapkan untuk keseluruhan kiriman yang diinputkan.

Diagram alir sistem *routing* yang dilalui dengan asumsi bahwa PT. X memiliki *database* yang berisi koordinat-koordinat pelanggan yang dilayani serta dalam kondisi sudah memiliki akses API *key* GMaps untuk memperoleh akses *limit* yang lebih besar untuk memperoleh jarak dalam matriks.

Proses bisnis usulan (Gambar 9 Proses Bisnis Usulan) yaitu menghilangkan proses pemilihan kiriman oleh kurir sehingga kurir tidak dapat menolak kiriman yang menurutnya memiliki jarak tempuh yang jauh. Sebagai gantinya, proses *routing* dan *sorting* dilakukan oleh *station agent* di malam sebelumnya untuk kiriman hari tersebut sehingga ketika kurir datang pagi hari ke depot, dapat langsung membuat DRS dan melaksanakan *delivery* sesuai dengan sejumlah kiriman yang ditugaskan.

Proses bisnis usulan tersebut disimulasikan dengan *timeline* (Gambar 10 dan Gambar 11 *Timeline* Proses Bisnis). Hasilnya dapat diketahui bahwa

penghematan waktu yang diperlukan untuk dapat melakukan *delivery* adalah 2 jam. Dengan asumsi tidak ada kendala di jalan raya, seharusnya kurir dapat kembali ke depot tepat pada waktu *shift* berakhir.

7. Penutup

1. Usulan untuk penentuan rute di PT. X menggunakan algoritma *simulated annealing*. Sebelum proses penghitungan atau penentuan rute, perlu ditentukan terlebih dahulu kiriman yang akan dikirimkan, utamanya jumlah alamat dari kiriman-kiriman tersebut. Alamat tujuan dari kiriman tersebut dicari koordinatnya jika belum tersedia di *database* koordinat. Data-data seperti matriks jarak, jumlah armada, kapasitas armada, serta jumlah alamat, diinputkan ke dalam *solver* dengan beberapa parameter yang dapat diatur oleh pengambil keputusan seperti jumlah iterasi dan nilai perbandingan total jarak dan jarak maksimum (η). Output dari sistem *routing* adalah sekumpulan rute yang melayani keseluruhan alamat kiriman.
2. Ketika akan menerapkan sistem *routing* yang diusulkan dalam penelitian ini, proses bisnis *delivery* di PT. X perlu dilakukan perubahan. Usulan untuk perubahan proses bisnis adalah dengan memindahkan proses *sorting* oleh *station agent* ke hari sebelum kegiatan *delivery* dimulai dan secara otomatis menghilangkan proses pemilihan paket oleh kurir dengan diterapkannya sistem *routing*. Sistem *routing* juga menghilangkan jadwal wilayah kurir seperti pada Gambar 4.1, karena penentuan didasarkan pada penugasan oleh *station agent* dengan mengacu pada hasil dari sistem *routing*. Saat kurir datang ke depot di hari berikutnya, kurir hanya perlu membuat *Delivery Run Sheet* (DRS) saja dan langsung melakukan kegiatan *delivery*.
3. Dampak atau perubahan yang diberikan oleh proses bisnis *delivery* usulan terhadap proses bisnis *delivery* eksisting adalah penghematan waktu operasi dengan selisih 2 jam sehingga kurir dapat kembali ke depot tepat saat jam kerja *shift* 1 habis seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.2.

Daftar Pustaka

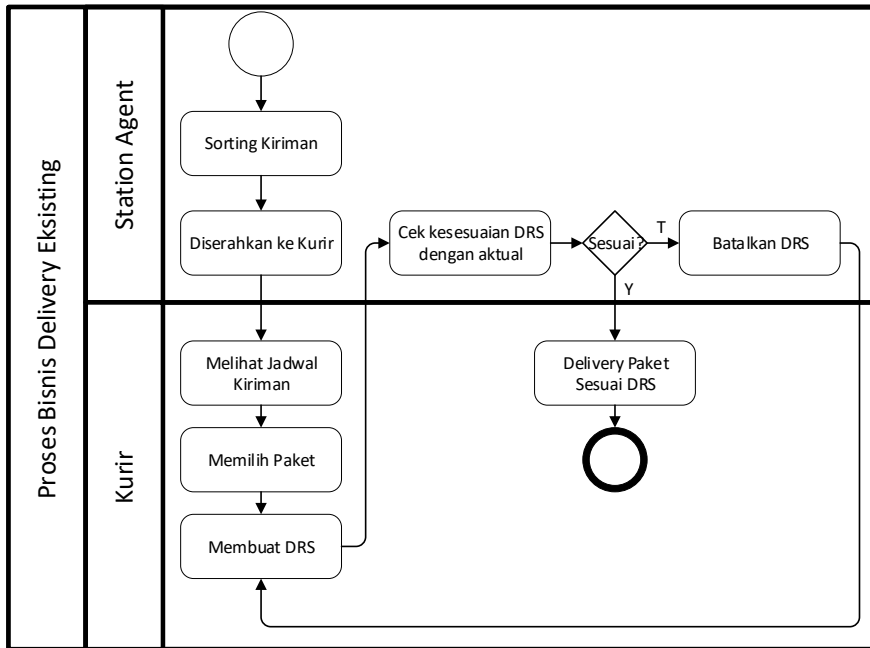
1. Amico, Mauro et al. 2007. Heuristic Approaches for the FSMVRP with Time Windows. *Transportation Science* 41(4). INFORMS. hal. 516-526.
2. Birnbaum, Duane. 2005. *Microsoft Excel VBA Programming for the Absolute Beginner second edition*. Thomson Course Technology PTR: USA.
3. Bizagi. 2013. *Bizagi Process Modeler, User Guide*.

4. Bjarnadottir, Aslaug. 2004. *Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms* (Tesis). Odense: Technical University of Denmark.
5. Blum, Christian. 2003. Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *Journal ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 35, issue 3. ACM: New York. hal. 268-308.
6. Borcinova, Zuzana. 2017. *Two Models of The Capacitated Vehicle Routing Problem*. CRORR.
7. Cao, Erbao. 2018. Research on the vehicle routing problem with interval demands. *Applied Mathematical Modelling* 54. Elsevier. hal. 332-346.
8. Cetin, Suna. 2015. A heuristic algorithm for vehicle routing problems with simultaneous pick-up and delivery and hard time windows. *Open Journal of Social Sciences*. SciRes. hal 35-41.
9. Chibante, Rui. 2010. *Simulated Annealing Theory with Applications*. SCIYO.
10. Coyle, John J. 2011. *Transportation a Supply Chain Perspective 7e*. Cengage Learning.
11. Danesh, Zoha. 2008. *Models and methods of the distribution merchandise* (tesis). Universidad de Sevilla.
12. Dethloff, J. 2001. *Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up*. Or Spectrum, 23(1), 79-96.
13. Dreoj, J et al. 2006. *Metaheuristics for Hard Optimization; Simulated Annealing, Tabu Search, Evolutionary and Genetic Algorithms, Ant Colonies, ... ; Methods and Case Studies*. Springer.
14. Euchi, Jalel. 2017. Genetic scatter search algorithm to solve the one-commodity pickup and delivery vehicle routing problem. *Journal of Modelling in Management* Vol. 12. Emerald Group.
15. Fan, Wenhui. 2016. Simulation on vehicle routing problems in logistics distributions. *The international journal for computation and mathematical in electrical and electronic engineering* 28. Emerald Group. hal. 1516-1531.
16. Gendreau, Michel. 2007. *Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and its Extensions: A Categorized Bibliography*. CIRRELT.
17. Gonzalez, Teofilo. 2007. *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*. Chapman & Hall/CRC.
18. Harmamani et al. 2011. *A Simulated Annealing Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem*. DBLP.
19. Herrero, Rosa. 2015. *Hybrid Methodologies for Symmetric and Asymmetric Vehicle Routing Problems* (thesis). Universitat Autònoma de Barcelona.

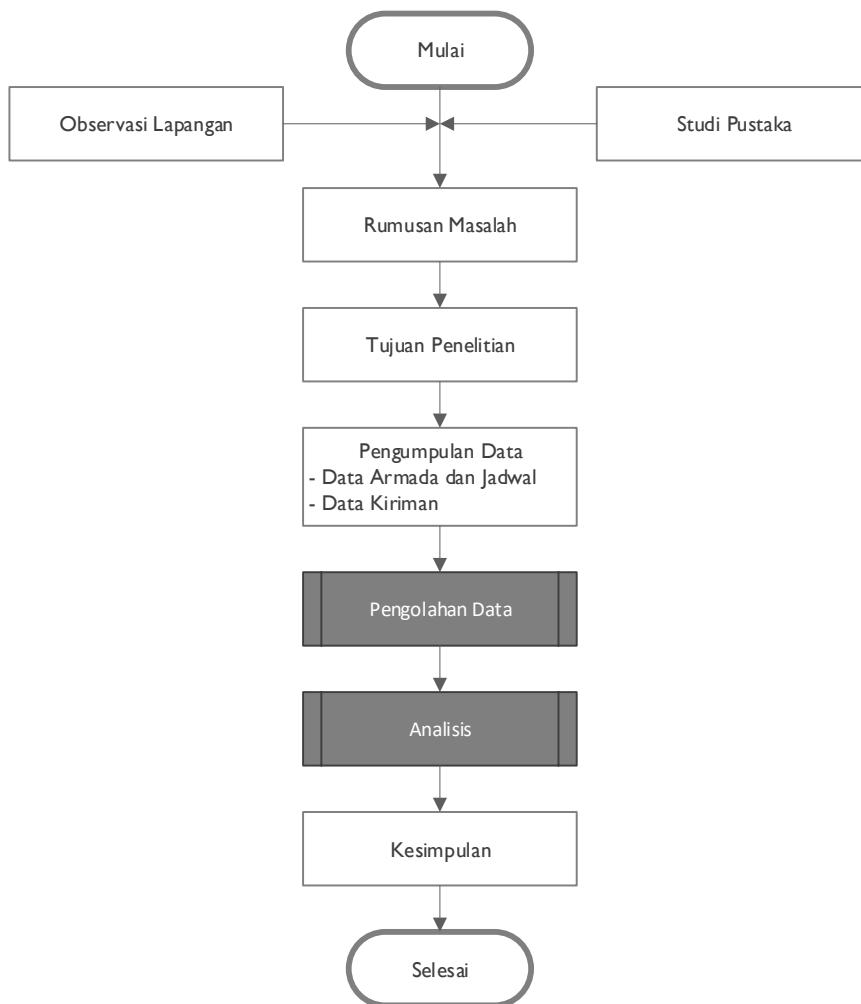
20. Ibarra-Rojas, O. J. 2017. *The Accessibility Vehicle Routing Problem*. Elsevier.
21. INRIX. 2017. *Global Traffic Scorecard*.
22. Janati, Farzam et al. 2015. *Multi-Robot Task Allocation using Clustering*. Conference Paper.
23. Kanthavel dan Prasad. 2011. *Optimization of Capacitated Vehicle Routing Problem by Nested Particle Swarm Optimization*. Science Publications.
24. Korte, Bernhard. 2011. *Combinatorial Optimization Theory and Algorithms Fifth Edition*. Springer.
25. Laarhoven dan Aarts. 1987. *Simulated Annealing: Theory and Applications*. Springer.
26. Lee, Tzong-Ru. 1998. A study of vehicle routing problems with load-balancing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol 29 No 10*. Emerald Group. hal. 646-658.
27. Luke, Sean. 2009. *Essentials of Metaheuristics*. Lulu.
28. Mu, Dong. 2016. Solving vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery using parallel simulated annealing algorithm. *International Journal of Shipping and Transport Logistics, Vol. 8, No. 1*. Inderscience Enterprises. hal 81-106.
29. Munari, Pedro. 2017. *A Generalized Formulation for Vehicle Routing Problems*.
30. Nielsen, Joyce J. 2016. *Microsoft Official Academic Course Microsoft Excel 2016*. Wiley & Microsoft.
31. Nugraha, Dwi. 2015. *Optimasi Vehicle Routing Problem with Time Windows pada Distribusi Katering Menggunakan Algoritma Genetika*. SNSII.
32. Pandey, Kirti. 2015. Comparison of Different Heuristic, Metaheuristic, Nature Based Optimization Algorithms for Travelling Salesman Problem Solution. *International Journal of Management and Applied Science, Vol. 1, Issue-2*.
33. Ropke, S. 2006. *Heuristics and exact algorithms for vehicle routing problems* (tesis). DTU Library.
34. Shahdaei dan Rahimi. 2016. *Solving Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery with The Application of Genetic Algorithm*. CIBTech.
35. Shen, Hai. 2009. *Particle Swarm Optimization in Solving Vehicle Routing Problem*. ICICTA.
36. Soenandi, Iwan. *Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) dengan Pendekatan Metaheuristik (Studi Kasus Distribusi Bahan Baku Makanan)*.
37. Solomon, Marius. 1984. *Algorithms for The Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints*. ORS America.

38. Talbi, El-Ghazali. 2009. *Metaheuristics from Design to Implementation*. John Wiley & Sons, Inc.
39. Tanujaya, William. 2011. *Penerapan Algoritma Genetik untuk Penyelesaian Masalah Vehicle Routing di PT. MIF*. Widya Teknik.
40. Toth, Paolo et al. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics: Philadelphia.
41. Toth, Paolo et al. 2014. *Vehicle Routing Problems, Methods, and Applications Second Edition*. MOM-SIAM Philadelphia.
42. Wang, Chao. 2015. *A Parallel Simulated Annealing Method for The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup-Delivery and Time Windows*. Elsevier.
43. Wang, Xinyu. 2015. *Novel Ant Colony Optimization Method for Simplifying Solution Construction in Vehicle Routing Problems*.
44. Analystcave. 2014. *Excel VBA Calculate Distance between Two Addresses or Coordinates*. Analystcave. (<https://analystcave.com/excel-calculate-distances-between-addresses/>)
45. Heris, Mostapha. 2015. *Solving Vehicle Routing Problem using Simulated Annealing*. Yarpiz. (<http://yarpiz.com/372/ypap108-vehicle-routing-problem/>)
46. Izane. 2016. *Vehicle Routing Problem (VRP) using Simulated Annealing (SA) with Matlab*. Github. (<https://github.com/Izane/VRP-using-SA-with-Matlab/>)
47. GoogleMaps. 2018 (<https://maps.google.com/>)
48. Hamstermap. 2018. *Quickmap*. (<http://www.hamstermap.com/quickmap.php/>)
49. Wikipedia. 2018. *Google Maps*. (https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Maps/)

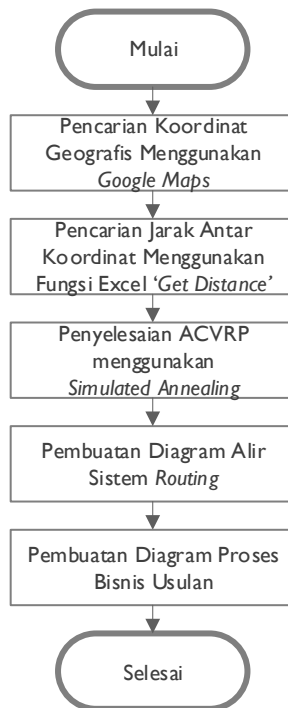
Gambar 1 Proses Bisnis Eksisting



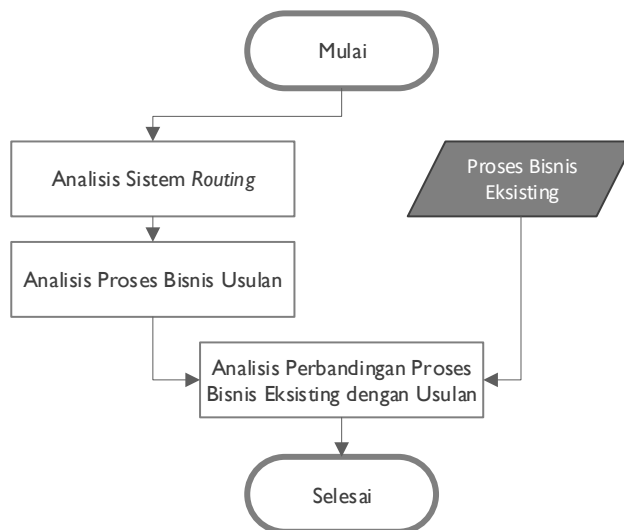
Gambar 2 Diagram Alir Penelitian



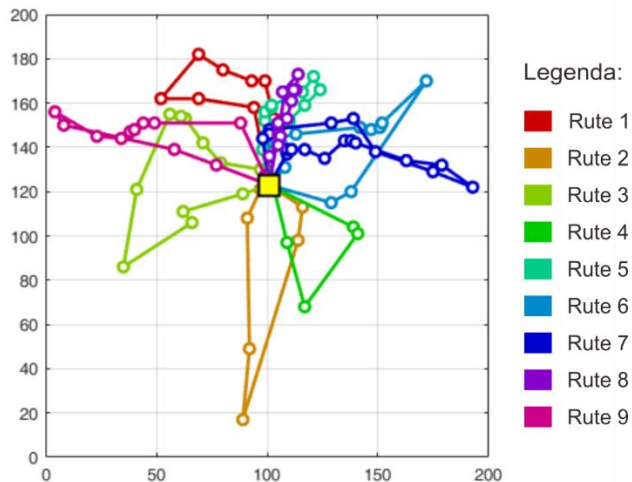
Gambar 3 Diagram Alir Sub-Proses Pengolahan Data



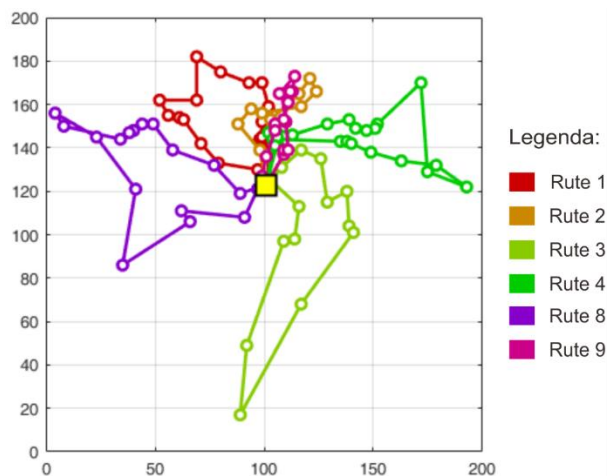
Gambar 4 Diagram Alir Sub-Proses Analisis



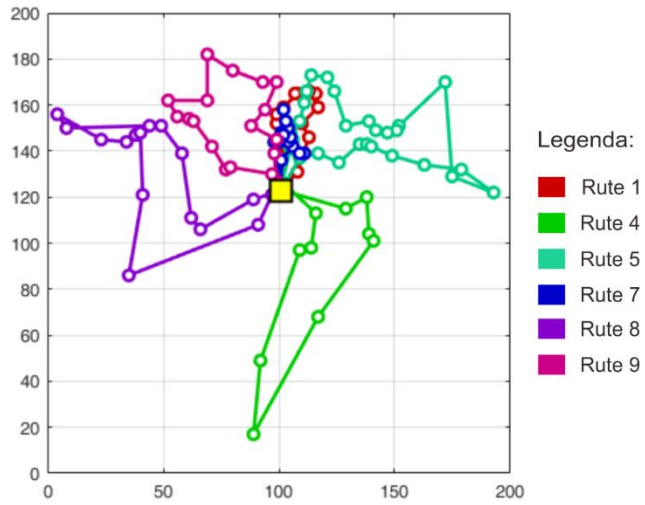
Gambar 5 Grafik Jaringan Rute Pada $\eta = 0,1$



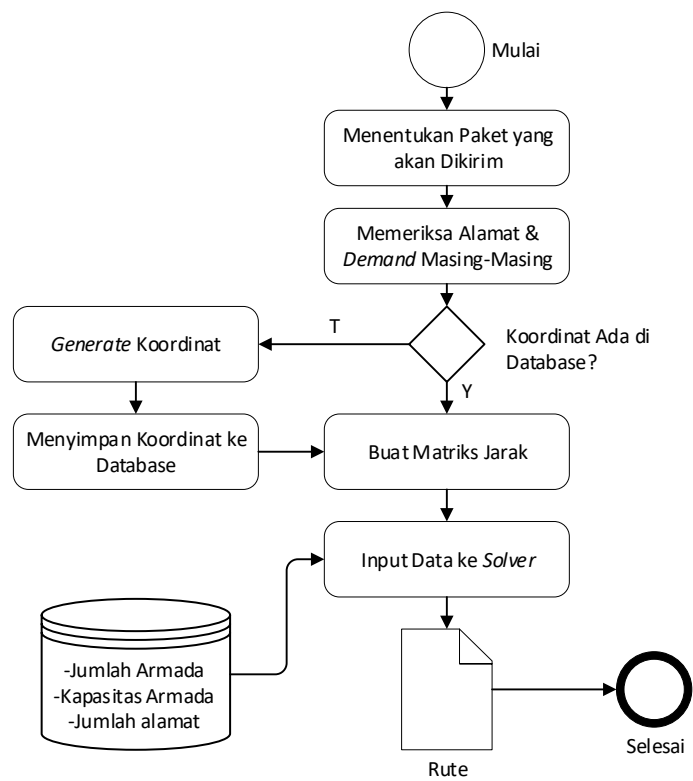
Gambar 6 Grafik Jaringan Rute Pada $\eta = 0,5$



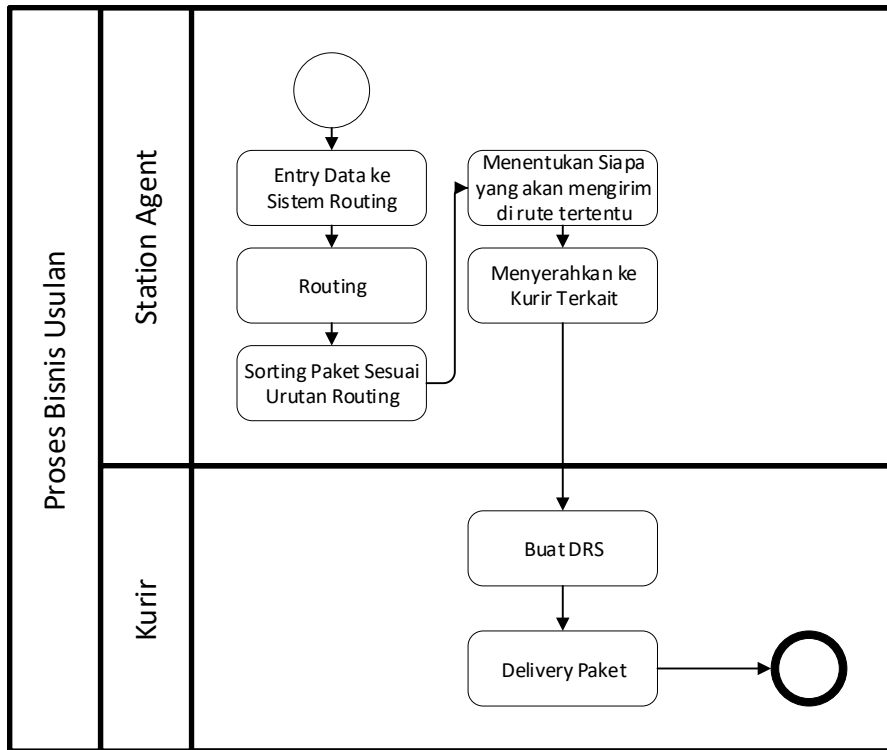
Gambar 7 Grafik Jaringan Rute Pada $\eta = 0,9$



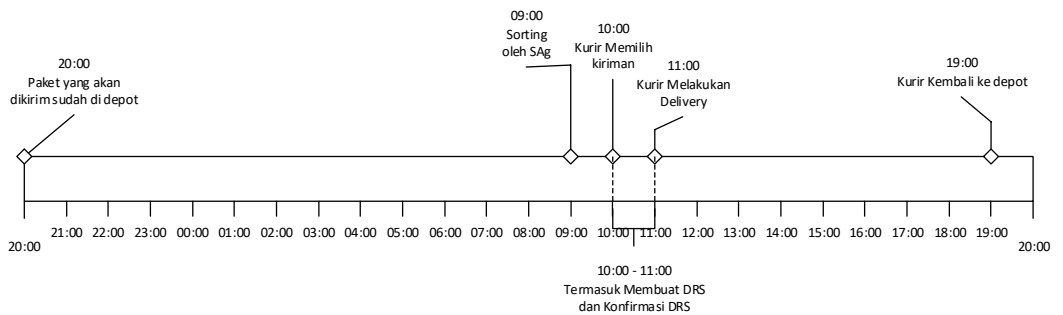
Gambar 8 Diagram Alir Sistem *Routing*



Gambar 9 Proses Bisnis Usulan



Gambar 10 *Timeline* Proses Bisnis Eksisting



Gambar 11 *Timeline* Proses Bisnis Usulan

