

**PERANCANGAN SISTEM REKOMENDASI LOKASI
PENCACAHAN SECARA *REAL TIME* BERBASIS KONTEKS**

THESIS

Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Magister dari
Institut Teknologi Bandung

oleh
ARIS PRAWISUDATAMA
23215131



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2017

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM REKOMENDASI LOKASI PENCACAHAN SECARA *REAL-TIME* BERBASIS KONTEKS

Oleh
Aris Prawisudatama
NIM: 23215131
(Program Studi Magister Teknik Elektro)

Pengumpulan data lapangan merupakan salah satu tugas dan kewenangan yang dimiliki oleh institusi statistik sebuah negara, tidak terkecuali Badan Pusat Statistik (BPS). Pada praktiknya, BPS menggunakan Blok Sensus (BS) yang merupakan wilayah kerja dari seorang petugas pencacahan. Pengalokasian wilayah kerja seringkali dilakukan secara subyektif, sehingga menimbulkan ketimpangan waktu penyelesaian antar petugas pencacahan, yang pada akhirnya menyebabkan keterlambatan kegiatan pengumpulan data secara keseluruhan. Walaupun permasalahan alokasi petugas pengumpulan data memiliki kemiripan dengan permasalahan *Multi Depot Vehicle Routing Problem* (VRP), algoritma penyelesaian MDVRP tidak serta merta dapat digunakan, karena informasi terkait lama pencacahan pada suatu wilayah kerja tidak tersedia.

Pada penelitian ini diusulkan sebuah sistem yang dapat digunakan untuk membuat rekomendasi yang lebih merata. Sistem usulan bekerja secara bertahap, dengan menggabungkan algoritma penyelesaian MDVRP dengan mekanisme *Publish/Subscribe*. Agar rekomendasi yang dibuat oleh sistem akurat, digunakan konteks dari setiap petugas pada saat pencarian solusi.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan sistem usulan dengan program pembandingan, yaitu algoritma MDVRP tanpa menggunakan mekanisme *Publish/Subscribe*. Berdasarkan hasil pengujian, sistem usulan dapat memberikan rekomendasi dengan lebih efisien pada sebagian besar kasus.

Kata Kunci: rekomendasi; *location routing*; VRP; MDVRP; *publish/subscribe*

ABSTRACT

CONTEXT-AWARE REAL-TIME LOCATION RECOMMENDATION SYSTEM

By
Aris Prawisudatama
NIM: 23215131
(Master of Electrical Engineering)

Data collection is one of the main duties of a statistical agency in every country, including Badan Pusat Statistik (BPS). Practically, BPS use Census Block (BS) that is working area of every enumerator. Allocation of working area often done subjectively, causing imbalance completion time between enumerators. It will have an impact on the overall completion of the data collection. Despite the problem of enumerator allocation has similarities with MDVRP problem, MDVRP solver algorithm cannot directly solve this problem, because information of enumeration time is not available.

In this research, a system that can be used for generating recommendation of location is proposed. This system aims to provide a more equitable recommendation. Proposed system works gradually, by combining MDVRP solver algorithm with Publish/Subscribe mechanism. It will use context of each enumerator to make recommendation precisely.

Experiment was conducted by comparing proposed system and benchmark program, that is MDVRP algorithm without Publish/Subscribe mechanism. The result shows proposed system generate better recommendation in the most case.

Keywords: recommendation; location routing; VRP; MDVRP; publish/subscribe

**PERANCANGAN SISTEM REKOMENDASI LOKASI
PENCACAHAN SECARA *REAL TIME* BERBASIS KONTEKS**

Oleh
Aris Prawisudatama
NIM: 23215131
(Program Studi Magister Teknik Elektro)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Pembimbing

27 April 2017

(Dr. I Gusti Bagus Baskara Nugraha, S.T., M.T.)

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tesis ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Prawisudatama, A. (2017): *Perancangan Sistem Rekomendasi Lokasi Pencacahan Secara Real Time Berbasis Konteks*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Prawisudatama, A. (2017): *Context-aware Real Time Location Recommendation System*, Masters Program Thesis, Institut Teknologi Bandung.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Dekan Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

Dipersembahkan kepada orang tua, istriku, dan anakku

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan kuasa-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Perancangan Sistem Rekomendasi Lokasi Pencacahan Secara *Real Time* Berbasis Konteks" pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung.

Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bimbingan, arahan, petunjuk, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Erika Mukhlisina Siregar, istri yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan doa yang tulus beserta anakku tercinta, Muhammad Alif Arka Putra.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan penyusunan tesis ini.
3. Bapak Dr. I Gusti Bagus Baskara Nugraha, S.T., M.T. selaku pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, masukan, kritik, saran, dan koreksi selama penyelesaian tesis ini.
4. Ibu Dr. Ir. Aciek Ida Wuryandari, M.T., Ibu Dra. Harlili, M.Sc, dan Bapak Fadhil Hidayat, S.Kom., MT. selaku penguji dari Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan masukan dan arahan untuk penyempurnaan tesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. Albarda, MT. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama menempuh pendidikan di Institut Teknologi Bandung.
6. Seluruh dosen dan staf Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung yang telah meluangkan waktu untuk memberikan ilmu dan bantuannya.
7. Pimpinan Badan Pusat Statistik yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Bandung.
8. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan dukungan dan membantu selama perkuliahan.

9. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah mendukung dan membantu penulis dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan perlu pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar tesis ini dapat menjadi lebih baik serta dapat menjadi masukan bagi penulis untuk penelitian di masa yang akan datang.

Bandung, April 2017

Aris Prawisudatama

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	v
LEMBAR PERUNTUKAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR ALGORITMA	xv
DAFTAR KODE	xvi
1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	5
I.3 Tujuan Penelitian	5
I.4 Batasan Masalah	6
I.5 Manfaat dan Kontribusi	6
I.6 Sistematika Penulisan	6
2 STUDI LITERATUR	8
II.1 <i>Literature Map</i>	8
II.2 Badan Pusat Statistik	9
II.3 <i>Context-aware Computing</i>	10
II.3.1 Definisi <i>Context</i>	10
II.3.2 Kategori <i>Context</i>	10
II.3.2.1 <i>Individuality Context</i>	10
II.3.2.2 <i>Time Context</i>	11
II.3.2.3 <i>Location Context</i>	11
II.3.2.4 <i>Activity Context</i>	12
II.3.2.5 <i>Relations Context</i>	12
II.3.3 <i>Context-aware Computing</i>	12

II.4	<i>Location Routing</i>	13
II.4.1	<i>Vehicle Routing Problem</i>	15
II.4.2	<i>Multi-Depot Vehicle Routing Problem</i>	17
II.4.3	<i>Cooperative Evolution Strategy</i>	21
II.5	<i>Messaging Solution</i>	23
II.5.1	<i>Mekanisme Publish/Subscribe</i>	24
3	METODOLOGI	27
III.1	<i>Awareness of Problem</i>	27
III.2	<i>Suggestion</i>	28
III.3	<i>Development</i>	28
III.4	<i>Evaluation</i>	28
III.5	<i>Conclusion</i>	28
4	ANALISIS DAN PERANCANGAN	29
IV.1	<i>Analisis</i>	29
IV.1.1	<i>Dataset</i>	30
IV.1.1.1	<i>Lokasi Pencacahan</i>	30
IV.1.1.2	<i>Petugas Pencacahan</i>	30
IV.1.1.3	<i>Jarak dan Waktu Tempuh</i>	31
IV.1.2	<i>Algoritma dan Implementasi</i>	33
IV.1.2.1	<i>Definisi Masalah</i>	33
IV.1.2.2	<i>Konfigurasi Algoritma</i>	35
IV.1.2.3	<i>Pencarian Solusi dan Penentuan Solusi Terbaik</i>	35
IV.1.3	<i>Hasil dan Analisis</i>	35
IV.2	<i>Perancangan Solusi</i>	39
IV.2.1	<i>Garis Besar Sistem Usulan</i>	41
IV.2.2	<i>Publisher Rekomendasi</i>	41
IV.2.3	<i>VRP Solver</i>	46
IV.2.4	<i>Message Broker</i>	47
5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	50
V.1	<i>Implementasi</i>	50
V.1.1	<i>VRP Solver</i>	50
V.1.2	<i>Publisher Rekomendasi</i>	50
V.2	<i>Pengujian</i>	51
V.2.1	<i>Lingkungan Pengujian</i>	51
V.2.2	<i>Dataset dan Metric</i>	51
V.2.2.1	<i>Dataset</i>	51
V.2.2.2	<i>Metric</i>	53
V.2.3	<i>Skenario dan Hasil Pengujian</i>	54
V.2.3.1	<i>Message Broker Setup</i>	56
V.2.3.2	<i>Publisher Setup</i>	56
V.2.3.3	<i>Subscriber Setup</i>	57
V.2.3.4	<i>Pengujian Kondisi Normal dengan Service Time pada Data Cordeau</i>	58

V.2.3.5	Pengujian Kondisi Normal dengan <i>Service Time</i> pada Data Lapangan	63
V.2.3.6	Pengujian Kondisi <i>Delay</i> dengan <i>Service Time</i> pada Data Lapangan	66
6	KESIMPULAN DAN SARAN	73
VI.1	Kesimpulan	73
VI.2	Saran	74
	DAFTAR PUSTAKA	76
	LAMPIRAN	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Pembagian Blok Sensus dalam Desa/Kelurahan	1
Gambar I.2	Ilustrasi <i>Multi Depot Vehicle Routing Problem</i>	2
Gambar I.3	<i>Timeline</i> Sebelum dan Setelah Dikunjungi	4
Gambar I.4	<i>Timeline</i> Solusi Bertahap	4
Gambar II.1	<i>Literature Map</i> Penelitian	8
Gambar II.2	Kategori dari <i>Context</i>	11
Gambar II.3	Ilustrasi <i>Vehicle Routing Problem (VRP)</i>	16
Gambar II.4	Hierarki variasi dari VRP (Weise et al., 2009)	17
Gambar II.5	Ilustrasi <i>Multi Depot VRP</i>	18
Gambar II.6	<i>Lifecycle</i> pada <i>Cooperative Coevolution</i> (de Oliveira et al., 2016)	24
Gambar II.7	Arsitektur dasar pada Pub/Sub (Eugster et al., 2003)	25
Gambar II.8	Pemisahan informasi pada Pub/Sub (Eugster et al., 2003)	26
Gambar III.1	Tahapan <i>Design Science Research Methods and Patterns</i>	27
Gambar IV.1	<i>Google Direction API Response</i>	32
Gambar IV.2	Rute yang dihasilkan oleh JSprit	36
Gambar IV.3	Ilustrasi <i>Timeline</i> Rute yang Dikalkulasi Tanpa Melibatkan Waktu Pencacahan	39
Gambar IV.4	Ilustrasi <i>Timeline</i> Penerapan MDVRP Secara <i>Real Time</i>	40
Gambar IV.5	Garis Besar Sistem Usulan	41
Gambar IV.6	<i>Flowchart Topic Watcher</i>	43
Gambar IV.7	Ilustrasi <i>Global Best Solution</i>	44
Gambar IV.8	<i>Flowchart recommendation publisher</i>	48
Gambar IV.9	Ilustrasi <i>Timeline</i> Proses Pencarian Solusi Berdasarkan	49
Gambar IV.10	Ilustrasi <i>Publish-Subscribe</i> terdistribusi	49
Gambar V.1	Ilustrasi Rute yang Dihasilkan	54
Gambar V.2	Interaksi antar komponen dalam pengujian	55
Gambar V.3	<i>Flowchart</i> Subsistem pada Pengujian	59
Gambar V.4	Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau	61
Gambar V.5	Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau	62
Gambar V.6	Maksimum Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau	63

Gambar V.7 Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	65
Gambar V.8 Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	65
Gambar V.9 Maksimum Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	66
Gambar V.10 Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	71
Gambar V.11 Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	71
Gambar V.12 Maksimum Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Delay dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Lokasi Pencacahan	30
Tabel 2	Pencacah	31
Tabel 3	Data Jarak dan Waktu Tempuh	32
Tabel 4	Waktu total dari setiap rute yang dihasilkan oleh JSprit	36
Tabel 1	Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau	61
Tabel 2	Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau	62
Tabel 3	Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	64
Tabel 4	Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	64
Tabel 5	Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Delay dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	69
Tabel 6	Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Delay dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan	69

DAFTAR ALGORITMA

Algoritma II.1	Algoritma Evolution Strategy	22
Algoritma IV.1	TopicWatcher	42
Algoritma IV.2	<i>RecommendationPublisher</i>	44

DAFTAR KODE

Kode IV.1	<i>Google Direction API Request</i>	32
Kode IV.2	Definisi Lokasi Pencacahan	33
Kode IV.3	Definisi Pencacah dari File .csv	34
Kode IV.4	Definisi Penimbang Jarak dan Waktu Tempuh dari File .csv	34
Kode IV.5	Pendefinisian Masalah	34
Kode IV.6	Penentuan Algoritma	35
Kode IV.7	Pencarian Solusi	35
Kode IV.8	Detail rute yang dihasilkan oleh JSprit	37
Kode V.1	Konfigurasi Redis Cluster	56
Kode V.2	Pembuatan Redis Cluster	56
Kode V.3	Respon Pembuatan Redis Cluster	57
Kode V.4	Format penggunaan Publisher	58

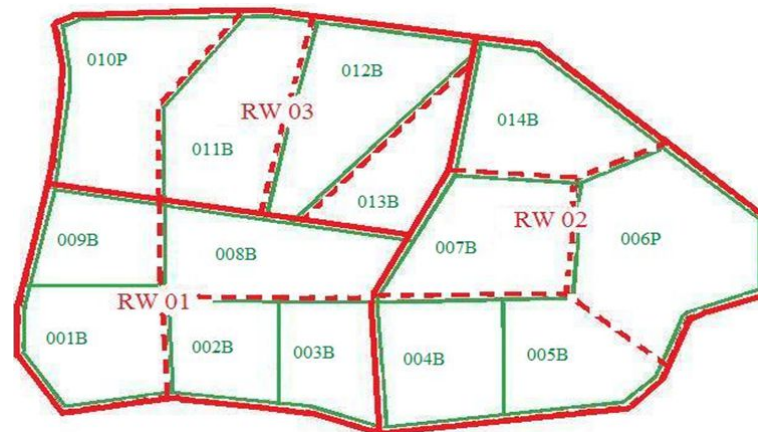
BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Badan Pusat Statistik (BPS) merupakan suatu lembaga pemerintah non-departemen yang bertanggung jawab dalam penyediaan statistik dasar di Indonesia (BPS, 2016a). Sebagai penyedia data, BPS melakukan pengumpulan data dengan menggunakan 2 (dua) metode, yaitu primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan melalui wawancara langsung terhadap responden, baik responden individu, rumah tangga, maupun perusahaan. Di sisi lain, pengumpulan data sekunder dilakukan dengan melakukan kompilasi data yang telah dikumpulkan oleh pihak lain, tanpa adanya proses wawancara.

Dalam pengumpulan data primer yang disebut dengan pencacahan, suatu wilayah administrasi dibagi menjadi beberapa Blok Sensus (BS). Blok Sensus merupakan satuan terkecil wilayah kerja dalam pencacahan.(BPS, 2016b). Setiap petugas pencacahan memiliki beban tugas berupa 1 (satu) atau lebih BS. Pada setiap BS terdapat 1 (satu) atau lebih rumah tangga yang menjadi target pencacahan. Gambar.I.1 memberikan ilustrasi pembagian BS dalam desa/kelurahan.



Gambar I.1: Pembagian Blok Sensus dalam Desa/Kelurahan

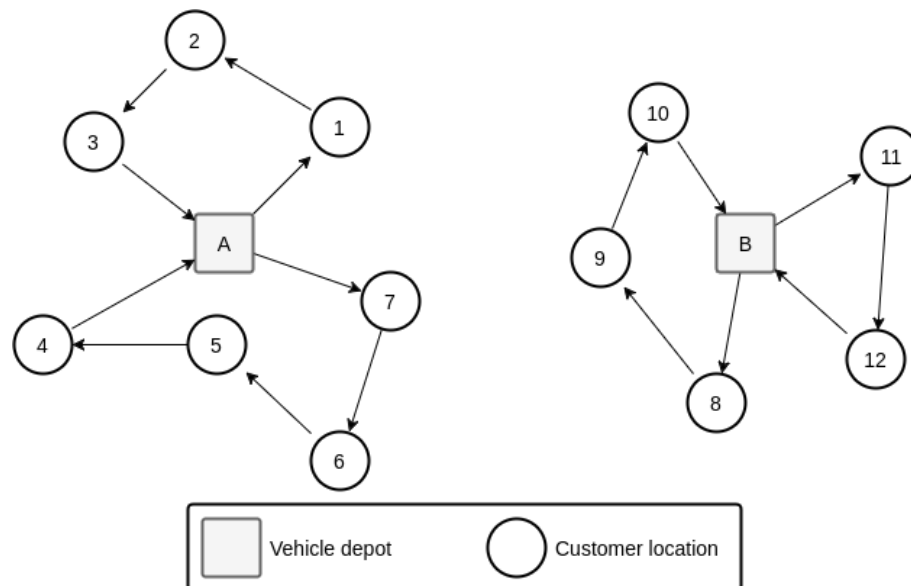
Alokasi BS kepada setiap petugas pencacahan ditentukan oleh BPS sebagai *subject matter* dengan memperhatikan kriteria berikut:

1. Minimum total waktu dan biaya
2. Lokasi tugas relatif dekat dengan kantor BPS atau wilayah domisili petugas.

Pengalokasian BS dapat menjadi suatu hal yang problematik karena alokasi yang kurang cermat akan menyebabkan terjadinya ketimpangan pada total waktu penyelesaian pencacahan antar petugas. Kondisi ini dapat mengakibatkan terlambatnya kegiatan pencacahan secara keseluruhan.

Total waktu pencacahan merupakan akumulasi dari waktu tempuh antar wilayah kerja dan lama pencacahan dari seluruh wilayah kerja. Lama pencacahan pada suatu wilayah kerja tersusun atas waktu tempuh antar rumah tangga dan lama wawancara pada seluruh rumah tangga di wilayah kerja tersebut. Berdasarkan (Sudman, 1965), komposisi waktu yang dihabiskan oleh seorang pencacah adalah 21 persen untuk berpindah antar wilayah kerja, 15 persen untuk berpindah antar rumah tangga, 15 persen untuk proses wawancara, dan sisanya untuk kegiatan lain seperti pengenalan wilayah dan perbaikan data.

Permasalahan alokasi wilayah kerja pencacahan memiliki kesamaan karakteristik dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP), khususnya *Multi Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP). VRP merupakan suatu permasalahan penentuan rute terbaik yang harus ditempuh oleh beberapa kendaraan untuk mengirimkan barang kepada konsumen (Dantzig and Ramser, 1959). Sementara MDVRP adalah sebuah variasi dari VRP yang menggunakan lebih dari 1 (satu) depot sebagai lokasi dimulainya sekaligus berakhirnya perjalanan. Gambar. I.2 memberikan ilustrasi tentang MDVRP.



Gambar I.2: Ilustrasi *Multi Depot Vehicle Routing Problem*

Penyelesaian MDVRP bertujuan untuk mendapatkan solusi dengan total biaya terkecil. Solusi yang dihasilkan berupa sekumpulan rute dengan sejumlah konsumen yang harus dikunjungi oleh masing-masing kendaraan. Penyelesaian

MDVRP harus mengikuti beberapa aturan, yaitu:

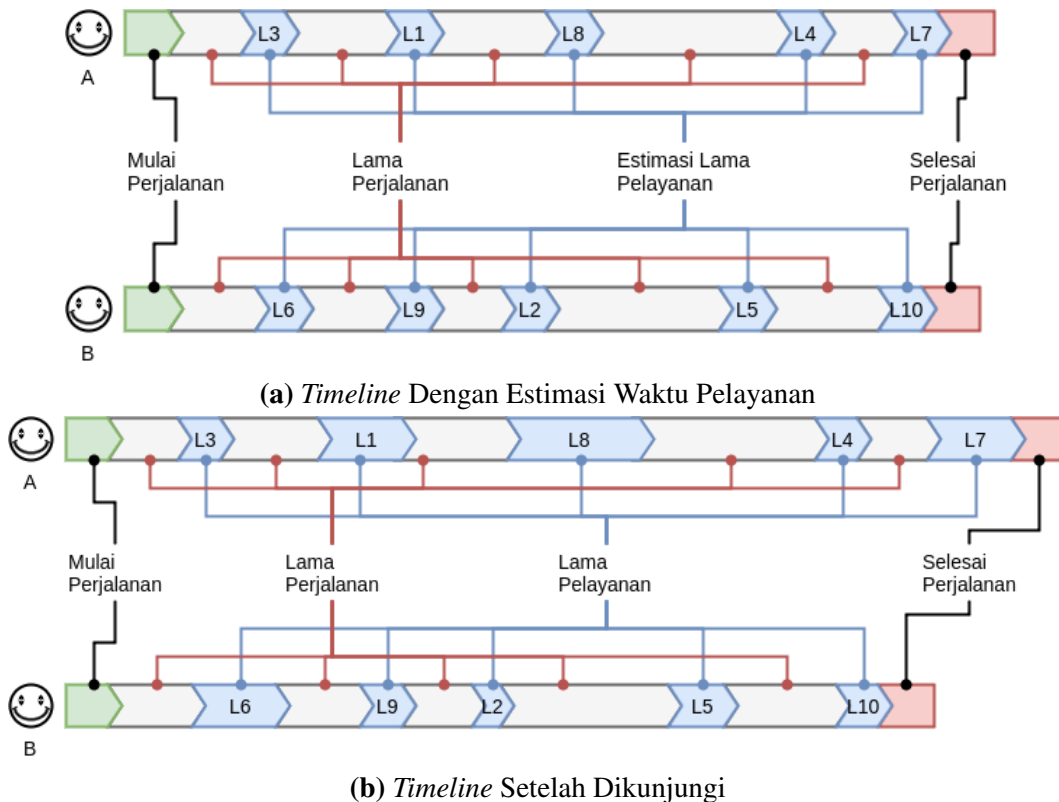
1. Setiap konsumen hanya dapat dikunjungi sekali dan hanya oleh satu kendaraan.
2. Setiap kendaraan memulai dan mengakhiri perjalanan pada sebuah depot yang sama.
3. Total permintaan/*demand* dari seluruh konsumen pada setiap rute tidak melebihi kapasitas dari kendaraan.

Terdapat 2 (dua) variabel yang dapat mempengaruhi solusi atau rute yang dihasilkan, yaitu waktu tempuh antar konsumen dan lama pelayanan pada setiap konsumen. Kedua variabel ini analog dengan waktu tempuh antar wilayah kerja dan lama pencacahan dari setiap wilayah kerja pada permasalahan alokasi wilayah kerja. Lebih jauh lagi, terkait dengan terminologi yang digunakan, pencacah dapat dianalogikan sebagai kendaraan, wilayah kerja dimisalkan sebagai konsumen, dan lokasi di mana pencacah memulai perjalanan (rumah atau kantor) dapat diibaratkan sebagai depot.

Lama tempuh antar wilayah kerja dapat diestimasi dengan beberapa pendekatan, seperti melalui perkiraan, survei lokasi, atau menggunakan *service* seperti Google Direction API (Google, 2016). Akan tetapi, lama pelayanan pada setiap wilayah kerja tidak dapat diketahui hingga wilayah kerja tersebut selesai dicacah. Hal ini menyebabkan rute-rute yang dihasilkan berpotensi memiliki standar deviasi dan bias yang tinggi. Gambar.I.3 memberikan ilustrasi untuk potensi masalah ini yang dijabarkan sebagai berikut:

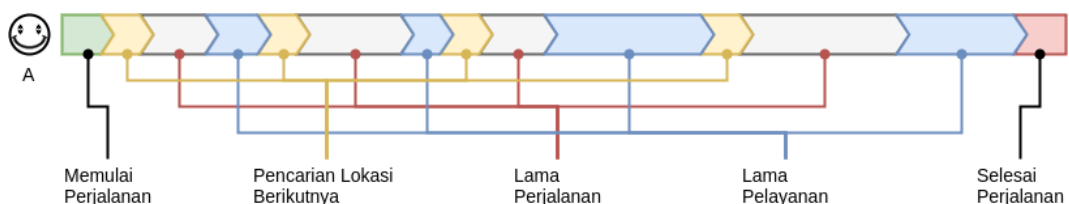
1. Solusi yang diperoleh dengan menggunakan estimasi lama pelayanan pada setiap wilayah kerja menghasilkan rute terbaik yang relatif seimbang dari segi total waktu (Gambar.I.3a),
2. Selanjutnya, setelah semua wilayah kerja dikunjungi, ternyata lama pelayanan pada masing-masing wilayah kerja bervariasi. Lama pelayanan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tingkat kesulitan medan yang dihadapi, jumlah anggota rumah tangga dalam suatu rumah tangga, dan kemampuan responden dalam menangkap maksud dari pertanyaan. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya kesenjangan yang cukup besar terhadap total waktu pencacahan antar petugas (Gambar.I.3b).

Solusi yang ditawarkan agar rute yang dihasilkan memiliki total waktu pencacahan yang relatif setara adalah dengan menggunakan mekanisme pencarian



Gambar I.3: Timeline Sebelum dan Setelah Dikunjungi

solusi bertahap. Pada mekanisme ini setiap tahap hanya akan menghasilkan solusi/rute untuk 1 wilayah kerja yang akan dikunjungi berikutnya oleh setiap pencacah (Gambar.I.4).



Gambar I.4: Timeline Solusi Bertahap

Agar ‘wilayah kerja berikutnya’ yang dihasilkan lebih akurat, maka pencarian solusi harus dilakukan secara tersentralisasi dengan melibatkan konteks dari seluruh pencacah. Dalam sistem komputer, tidak terdapat definisi konteks yang tunggal. Sebagian besar peneliti sepakat bahwa konteks adalah sesuatu yang harus dilakukan terkait interaksi pengguna dan sistem komputer (Chen et al., 2000). (Schilit et al., 1994) dan (Schmidt et al., 1999), misalnya, mendefinisikan konteks sebagai pengetahuan tentang kondisi dari pengguna dan perangkat IT, termasuk lingkungan, situasi, dan lokasi. Sementara (Abowd et al., 1999) mendefinisikan konteks sebagai segala informasi yang dapat digunakan untuk mencirikan kondisi dari suatu entitas.

Pencarian solusi yang tersentralisasi membutuhkan mekanisme komunikasi antara *client* (pencacah yang melakukan permintaan ‘wilayah kerja berikutnya’) dan *server* (pihak yang memproses permintaan dan mencari ‘wilayah kerja berikutnya’). Ada beragam opsi mekanisme komunikasi *client-server* yang dapat digunakan, seperti *Web service*, *Request/Reply*, dan *Publish/Subscribe* (Weise et al., 2009; Sengoku and Yoshihara, 1998; Sarmenta et al., 2002; Mhl, 2002). Mekanisme yang tepat diperlukan agar komunikasi antara *client* dan *server* dapat dilakukan dalam berbagai kondisi jaringan komunikasi.

Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini dirancang untuk menciptakan sebuah sistem yang dapat digunakan dalam menentukan rekomendasi lokasi pencacahan. Peneliti mengusulkan penggunaan mekanisme pencarian solusi secara bertahap dengan mekanisme *Publish/Subscribe* berdasarkan konteks dari pencacah.

I.2 Rumusan Masalah

Fokus pada penelitian ini adalah bagaimana merancang sebuah sistem rekomendasi lokasi pencacahan sesuai dengan konteks dari pencacah. Adapun detail dari permasalahan yang akan dikaji adalah sebagai berikut:

- Bagaimana menentukan konteks dari pencacah yang cocok untuk digunakan dalam kasus rekomendasi lokasi pencacahan?
- Bagaimana menyusun algoritma pencarian rekomendasi lokasi dengan memanfaatkan konteks dari pencacah?
- Bagaimana menyusun mekanisme *conflict resolution*, agar sistem tidak merekomendasikan lokasi yang sama pada dua atau lebih pencacah?
- Apa mekanisme *real-time* yang sesuai digunakan dalam berbagai kondisi jaringan komunikasi yang bervariasi?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka dapat ditentukan tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang sebuah sistem rekomendasi lokasi pencacahan secara *real-time* berdasarkan konteks dari pencacah.

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- Menentukan konteks yang sesuai digunakan pada kasus rekomendasi lokasi pencacahan.

- Menyusun algoritma rekomendasi lokasi sehingga sistem memberikan rekomendasi terbaik secara global.
- Menyusun algoritma *location conflict* sehingga tidak terjadi duplikasi rekomendasi.
- Menganalisis dan mengimplementasikan mekanisme komunikasi yang tepat untuk digunakan pada sistem.

I.4 Batasan Masalah

Masalah dalam penelitian ini memiliki batasan sebagai berikut:

- Lokasi pencacahan yang menjadi rujukan adalah Blok Sensus (BS) yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS).
- Penelitian tidak berfokus pada algoritma MDVRP, sehingga pengujian hanya dilakukan dengan menggunakan salah satu algoritma MDVRP.

I.5 Manfaat dan Kontribusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi secara khusus kepada BPS, berupa kemudahan bagi *subject matter* dalam melakukan alokasi petugas pencacahan. Ketepatan alokasi petugas memiliki implikasi pada seimbangnya beban setiap pencacah serta meratanya waktu penyelesaian pencacahan.

Sistem yang dihasilkan di dalam penelitian ini tidak hanya dapat digunakan secara spesifik untuk kasus pengumpulan data, tetapi juga dapat digunakan pada kasus lain terkait dengan *Vehicle Routing Problem*. Ditinjau dari prospek pemanfaatannya yang luas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih terhadap kemajuan bidang akademis.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini terdiri atas enam bab dengan perincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN. Pada bab ini dijelaskan fenomena dan masalah yang diangkat dalam penelitian ini. Selain itu, dipaparkan pula mengenai rumusan masalah, tujuan penelitian, dan kontribusi penelitian.

BAB II STUDI LITERATUR. Bab ini menjelaskan landasan teori yang digunakan dalam penelitian, teknologi pendukung, serta penelitian terkait dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN. Pada bagian ini dijelaskan metode penelitian yaitu alur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian.

BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN. Bab ini memaparkan analisis terhadap permasalahan yang dihadapi, serta kriteria yang dibutuhkan pada algoritma yang dirancang. Dari analisis permasalahan, diuraikan pendekatan yang dibuat yang merupakan solusi atas permasalahan yang dikemukakan.

BAB V IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN. Proses dan hasil implementasi rancangan dijelaskan dalam bab ini. Proses pengujian diuraikan mulai dari skenario pengujian hingga hasil pengujian.

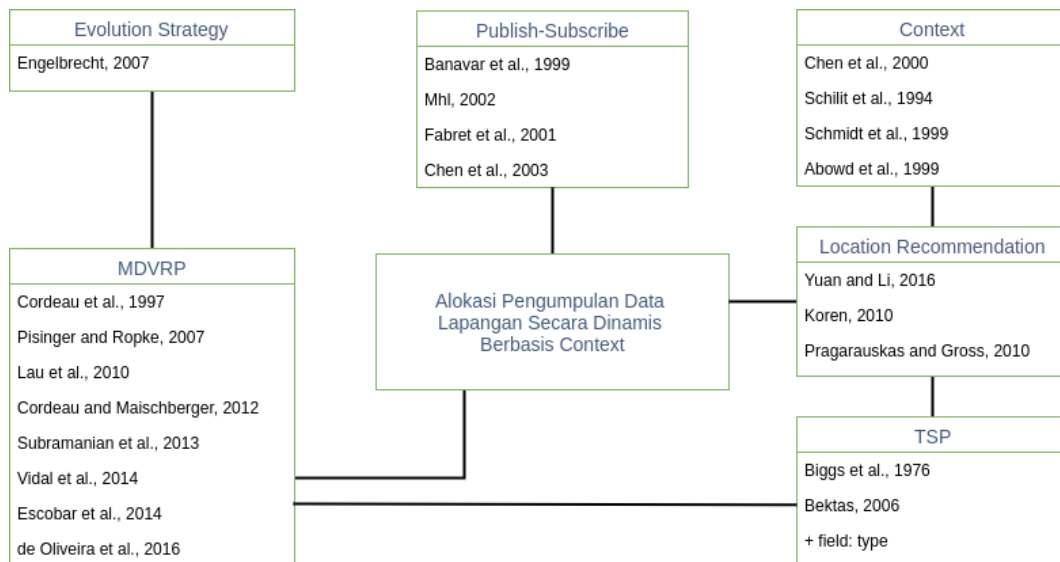
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN. Bab ini memaparkan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini, serta saran untuk pihak terkait dan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik penelitian ini

BAB 2

STUDI LITERATUR

II.1 Literature Map

Literature Map merupakan sebuah visualisasi yang memuat *summary* penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya. *Literature Map* biasanya direpresentasikan dalam sebuah gambar, misalnya menggunakan struktur hierarki *top-down* dalam mempresentasikan literatur (Creswell, 2013). Ide utama dari penggambaran *literature map* adalah untuk membuat visualisasi dari penelitian terdahulu tentang sebuah topik.



Gambar II.1: *Literature Map* Penelitian

Berdasarkan review dari literatur yang terkait dengan penelitian ini (Gambar.II.1), arsitektur dari rekomendasi lokasi pada pengumpulan data lapangan dapat dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok: *context-aware computing*, *location routing*, dan mekanisme komunikasi.

Context-aware computing akan membahas beberapa literatur yang berkaitan dengan definisi dari konteks itu sendiri dan pemanfaatannya dalam komputasi. *Location routing* akan membahas literatur terkait beberapa algoritma yang biasa digunakan dalam penyelesaian masalah *location routing*. Sementara mekanisme komunikasi akan mendiskusikan tentang beberapa metode yang dapat digunakan oleh *client* dan *server* dalam berkomunikasi.

II.2 Badan Pusat Statistik

Badan Pusat Statistik (BPS) adalah Lembaga Pemerintah Non-Departemen yang bertanggung jawab dan memiliki peranan dalam penyediaan data. Berdasarkan Rencana Strategis BPS 2015-2019, BPS memiliki misi yang harus dijalankan yaitu:

1. Menyediakan data statistik berkualitas melalui kegiatan statistik yang terintegrasi dan berstandar nasional maupun internasional.
Dalam rangka menyediakan data berkualitas, data yang dihasilkan BPS harus memenuhi dimensi kualitas yakni relevan, akurat, disajikan tepat waktu, koheren, dapat diakses, dan dapat diinterpretasikan.
2. Memperkuat Sistem Statistik Nasional yang berkesinambungan melalui pembinaan dan koordinasi di bidang statistik.
3. Membangun insan statistik yang profesional, berintegritas dan amanah untuk kemajuan perstatistikan. Dalam menyelenggarakan kegiatan statistik, insan statistik harus memiliki kapasitas dan kapabilitas yang diperlukan untuk menghasilkan data statistik yang berkualitas.

Di dalam menjalankan peranan sebagai penyedia data, BPS menyelenggarakan statistik dasar dengan cara sensus, survei, dan kompilasi administrasi untuk mendapatkan data. Data yang berkualitas hanya dapat diperoleh melalui proses yang berkualitas pula. Terdapat berbagai variabel yang menjadi parameter proses yang berkualitas, salah satunya adalah ketepatan waktu dalam proses pengumpulan data.

Pengumpulan data merupakan suatu proses yang sangat fleksibel. Ketepatan waktu pengumpulan data sangat rentan terhadap pengaruh berbagai faktor, seperti kualitas petugas pengumpulan data, kualitas responden, jumlah anggota rumah tangga yang didata, jarak antar lokasi pencacahan, jarak antar rumah tangga dalam satu segmen, dan kondisi alam. Alokasi petugas pengumpulan data secara baku yang hanya memperhatikan jumlah lokasi pencacahan dan petugas, tidak dapat mengakomodir faktor-faktor tersebut. Akibatnya, waktu penyelesaian pengumpulan data bisa bervariasi antara satu petugas dengan petugas lainnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode baru dalam pengalokasian petugas yang dapat mengantisipasi terjadinya kesenjangan beban tugas baik dari segi waktu maupun kuantitas.

II.3 *Context-aware Computing*

II.3.1 *Definisi Context*

Semenjak *Context-aware computing* pertama kali diperkenalkan oleh (Schilit et al., 1994), berbagai definisi mengenai *context* dan *context-awareness* telah berkembang luas. Sebagian besar definisi yang ada saat ini, menurut (Zimmermann et al., 2007), dapat dikelompokkan menjadi dua: definisi menurut sinonim dan definisi menurut contoh. *Context* mengalami berbagai penggolongan menggunakan sinonim seperti *application environment* (Hull et al., 1997) atau situasi (Brown, 1995). Sementara beberapa authors, seperti (Brown et al., 1997), (Gross and Specht, 2001), dan (Ryan et al., 1999), mendefinisikan *context by example* dan *context element* seperti lokasi, identitas, waktu, suhu, kebisingan sama dengan kepercayaan, keinginan, komitmen, dan hubungan dengan manusia (Chen et al., 2003).

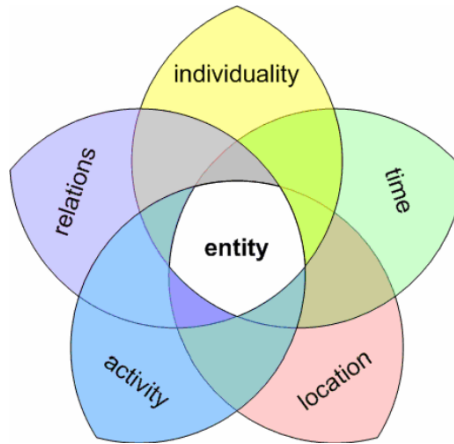
Secara umum, dapat dikatakan bahwasanya *context* adalah informasi yang dapat digunakan dalam menjelaskan situasi dari sebuah entitas. Entitas dapat berupa manusia, lokasi, atau obyek yang relevan dengan interaksi antara seorang pengguna dan aplikasi, termasuk pengguna dan aplikasi itu sendiri (Dey, 2001). (Schilit et al., 1994) menyebutkan bahwa yang termasuk ke dalam *context* adalah: lokasi dari penggunaan, kumpulan orang-orang sekitar, *hosts*, dan *accessible devices*, serta perubahan hal-hal tersebut dari waktu ke waktu. (Dey, 2001) mengembangkan definisi dari (Schilit et al., 1994) dengan menyatakan "Context adalah lokasi, identitas dan status dari individu, kelompok, dan obyek komputasi".

II.3.2 *Kategori Context*

Dari berbagai informasi yang menjelaskan entitas dari *context*, semuanya mengarah ke 5 (lima) kategori, yaitu: *individuality*, aktivitas, lokasi, waktu, dan relasi, seperti pada Gambar II.2 (Zimmermann et al., 2007). Kategori *individuality* memuat properti dan atribut yang menjelaskan entitas itu sendiri. Kategori aktivitas mencakup seluruh kegiatan yang dilakukan entitas tersebut. Kategori lokasi dan waktu menyediakan koordinat *spatio-temporal* dari entitas. Sementara kategori relasi merepresentasikan informasi tentang hubungan antara sebuah entitas dengan entitas yang lain.

II.3.2.1 *Individuality Context*

Kategori ini memberi akses kepada informasi yang bersifat kontekstual tentang entitas terkait. Informasi ini dapat berupa apa saja terkait entitas tersebut, tetapi



Gambar II.2: Kategori dari *Context*

umumnya adalah *state* dari entitas. Entitas dapat berupa entitas individu atau sekelompok entitas yang saling berbagi *context* yang terkait. Entitas dapat berupa entitas yang *real* (eksis secara nyata), maupun virtual (hanya terdapat di lingkup informasi). Selain itu, terdapat juga entitas yang bersifat *mobile*, *movable*, maupun *fixed*. kategori *individuality context* dikelompokkan menjadi empat, yaitu: *natural*, *human*, *artificial*, dan *group entities*.

II.3.2.2 *Time Context*

Waktu merupakan aspek yang vital dalam klasifikasi *context*, karena sebagian besar pernyataan sangat terkait dengan dimensi *temporal*. Kategori ini mengkalkulasi informasi seperti *time zone* dari *client*, dan *current time* atau *virtual time*. Contoh representasi dari waktu adalah *time zone*, misalnya format *Central European Time (CET)*, yang menyediakan fasilitas kalkulasi secara matematis dan komparasi waktu. Model dimensi waktu yang sering diimplementasikan dalam *context-aware computing* misalnya jam kerja atau hari libur.

Context yang disimpan secara persisten dapat membentuk sebuah *data pool* yang berisi histori dari informasi terkait *context* tersebut. Histori tersebut membentuk basis data untuk *context information* dari event yang telah lampau. Basis data yang dipersistenkan dapat digunakan sebagai bahan analisis dari kebiasaan dari pengguna dan prediksi.

II.3.2.3 *Location Context*

Dengan semakin berkembangnya *portable/mobile devices*, lokasi menjadi parameter yang penting dalam *context-aware system*. Obyek-obyek fisik dan perangkat tersusun secara spasial, dipengaruhi oleh pergerakan pengguna. Kategori

ini berisi model lokasi yang terklasifikasi secara fisik maupun virtual, misalnya *IP address* sebagai posisi komputer dalam sebuah jaringan, koordinat, maupun informasi spasial terkait seperti kecepatan dan orientasi. Lokasi dapat berupa lokasi absolut atau lokasi relatif, yaitu lokasi yang diperhitungkan dari objek yang lain. Model dapat juga terdiri dari lokasi kuantitatif (geometrik) dan kualitatif (simbol).

Lokasi yang bersifat kuantitatif merujuk kepada koordinat dengan dua dimensi, tiga dimensi, atau lebih. Sebagai contoh, koordinat dua dimensi secara geografis melambangkan setiap lokasi di bumi secara lintang dan bujur. Informasi terkait koordinat geografis biasanya diperoleh melalui *Global Positioning System* dengan menggunakan satelit. Selain itu, lokasi juga dapat diklasifikasikan menjadi dalam dan luar ruangan, sinyal radio atau cahaya, dll. Sementara itu, lokasi yang bersifat kualitatif dan berupa bangunan, ruangan, jalan, negara, dan sebagainya.

II.3.2.4 Activity Context

Context aktivitas meliputi aktivitas yang sedang dikerjakan oleh sebuah entitas. Kategori ini dapat diterjemahkan menjadi: tujuan, kegiatan, dan aksi. Sebuah *task* merupakan aktivitas yang berorientasi pada capaian. Capaian atau *goals* dapat bersifat *low-level* yang sering berganti, atau *high-level* yang bersifat konsisten.

II.3.2.5 Relations Context

Kategori ini mencakup relasi dari sebuah entitas yang berhubungan dengan entitas yang lain. Entitas yang lain tersebut dapat berupa manusia, benda, layanan, atau informasi (misalnya teks, gambar, film, suara). Karakteristik dari *environment* biasanya dibangun secara spasial dan temporal. Individu dalam kelompok saling mempengaruhi kelompok dalam satu relasi, misalnya seluruh manusia dengan umur yang sama.

II.3.3 Context-aware Computing

(Dey, 2001) menjelaskan, sebuah sistem dikatakan *context-aware* jika dia menggunakan *context* untuk menyediakan informasi atau layanan yang relevan kepada pengguna, yang relevansinya tergantung dari apa yang pengguna kerjakan. Terdapat berbagai contoh sistem yang bersifat *context-aware*. (Tsai et al., 2016) misalnya, menggunakan *context* untuk menciptakan *smart home environment*. (Magara et al., 2016) menggabungkan beberapa *context* seperti: lokasi dan aktivitas pengguna, preferensi, label, dan *tags* untuk membuat rekomendasi musik yang akan

diputar. Sementara (Said et al., 2013) menciptakan rekomendasi film berdasarkan *time, mood, dan social recommendation*.

Pada aplikasi yang bersifat *mobile, context* biasanya diperoleh dengan menggunakan sensor yang tersemat dalam *mobile device* tersebut. Sekarang ini, telah banyak ditemui *mobile device*, terutama *programmable smartphone*, yang telah dilengkapi dengan berbagai sensor (Cao et al., 2015). (Do and Gatica-Perez, 2011), misalnya mem-*propose* GroupUs, framework yang mengelompokkan pengguna berdasarkan aktivitas sehari-hari yang dikumpulkan dengan menggunakan *proximity sensor*. (Dai et al., 2010b) menciptakan *drunk driving detection* dengan memanfaatkan sensor *accelerometer* yang tersemat dalam *smartphone*. Sementara (Zou et al., 2016), memanfaatkan sensor *Global Positioning System* (GPS) dan *Micro-Electro-Mechanical System* (MEMS) untuk membuat rekomendasi transportasi. Begitu pula sensor-sensor yang lain juga telah dimanfaatkan dalam berbagai penelitian (Dai et al., 2010a; Lu et al., 2009; Bao and Roy Choudhury, 2010; Rubel et al., 2005; Atzmueller and Hilgenberg, 2013).

Pada kasus yang dijadikan dasar dari penelitian ini, yaitu terkait pengumpulan data lapangan, *context* yang akan digunakan adalah *spatio-temporal context*, yang meliputi lokasi dan waktu dari setiap pencacah.

II.4 *Location Routing*

Location routing problem (LRP), menurut (Nagy and Salhi, 2007), secara umum dapat dikatakan sebagai sebuah pendekatan dalam pemodelan dan penyelesaian permasalahan terkait lokasi. Definisi ini mengikuti konsep dari (Bruns, 1998), yaitu perencanaan lokasi yang mempertimbangkan perencanaan *tour*. Definisi ini juga senada dengan (Balakrishnan et al., 1987), yang menyatakan bahwa *location routing problem* merupakan keputusan strategis yang berfokus pada lokasi fasilitas.

Lokasi dari fasilitas dan *vehicle routing* merupakan area yang saling terkait. (Maranzana, 1964) menyatakan bahwa "*the location of factories, warehouses and supply points in general...is often influenced by transport costs*". Tetapi beberapa peneliti, sebagaimana (Nagy and Salhi, 2007), menolak korelasi tersebut dengan beberapa alasan:

1. Terdapat beberapa kondisi, *location problem* tidak memiliki aspek *routing*,
2. Permasalah lokasi bersifat strategis, sementara permasalahan *routing* bersifat taktis. Rute dapat dikalkulasi dan diputuskan secara berkala (bahkan terkadang harian).

Location Routing Problem meliputi topik bahasan yang luas. Menurut (Nagy and Salhi, 2007), LRP setidaknya dapat dikelompokkan dalam 4 (empat) klasifikasi:

1. Berdasarkan struktur hierarkinya.

Sebagian besar LRP terdiri dari beberapa fasilitas yang melayani sejumlah pelanggan, yang terhubung dengan masing-masing depot berdasarkan *tour*. Akan tetapi, ada beberapa struktur LRP yang tidak standar, antara lain:

- (a) *transportation-location problem* tidak melibatkan perencanaan *tour*,
- (b) *many-to-many routing problem*, yang selain melibatkan perencanaan *tour* antara fasilitas-pelanggan, juga melibatkan rute antara fasilitas,
- (c) *vehicle routing-allocation problem* menyertakan rencana *tour* antar fasilitas, tetapi tidak antara fasilitas dan pelanggan,
- (d) *multi-level location-routing problem* mengikutsertakan rencana *tour* untuk kedua *layer*, dan bahkan mungkin lebih dari satu level fasilitas.

2. Tipe input data.

Terdapat dua macam tipe input data: *deterministic* dan *stochastic*. Sebagian besar kasus pada LRP bersifat *deterministic*. Adapun pada kasus LRP yang bersifat *stochastic*, variabel *stochastic* biasanya hanya terdapat pada *demand*.

3. Periode perencanaan.

Berdasarkan periode perencanaan, terdapat *single-period* dan *multi-depot*. Permasalahan ini juga sering disebut dengan *static* dan *dynamic*. Umumnya, mayoritas penelitian lebih berfokus pada permasalahan *static* LRP.

4. Metode solusi.

Berdasarkan metode solusi, terdapat metode *exact* dan *heuristic*. Sebagian besar peneliti menggunakan metode *exact*, walaupun untuk sebagian kasus, penggunaan metode *exact* lebih sukses.

Sementara itu, berdasarkan strukturnya, LRP juga setidaknya dapat dipecah menjadi lima jenis:

1. Fungsi objektif.

Objektif yang paling umum digunakan dalam permasalahan *location routing* adalah minimum *total cost*. *Cost* dapat dipecah menjadi *depot cost* dan *vehicle cost*. Hanya terdapat sedikit penelitian yang menggunakan fungsi objektif selain *total overall cost* atau *multiobjective*, antara lain (Averbakh and Berman, 1994) dan (Averbakh and Berman, 1995).

2. *Solution space.*

Solution space dapat berupa diskrit, kontinyu, atau *network*. Sebagian besar literatur dalam permasalahan LRP menggunakan lokasi yang bersifat diskrit. Akan tetapi ada beberapa permasalahan *round-trip location* yang terbatas pada *path* atau *tree network*, salah satunya (Simchi-Levi, 1991).

3. Jumlah depot.

Berdasarkan jumlah depot yang digunakan, terdapat *single depot* dan *multi depot* LRP. Sebagian besar penelitian menggunakan *multi depot*, meskipun ada beberapa kasus yang terbatas hanya pada *single depot*, antara lain (Laporte and Nobert, 1981), (Averbakh and Berman, 1994), dan (Simchi-Levi, 1991).

4. Jumlah dan tipe kendaraan.

Pada sebagian besar penelitian LRP, jumlah kendaraan yang digunakan tidak tetap dan tipe kendaraan bersifat homogen. Meskipun begitu, terdapat juga penelitian yang menggunakan kendaraan yang bertipe heterogen, seperti (Bookbinder and Reece, 1988) dan (Salhi and Fraser, 1996). Selain itu, terdapat kasus khusus ketika sebuah depot hanya terdapat satu kendaraan, misalnya (Branco and Coelho, 1990).

5. Struktur rute.

Struktur rute yang biasa dipakai adalah dengan memulai dari sebuah depot, kemudian mengunjungi sejumlah pelanggan, dan kembali lagi ke depot asal. Terdapat pula struktur rute yang memungkinkan adanya *multiple trip*, dan *pickup-delivery*.

II.4.1 *Vehicle Routing Problem*

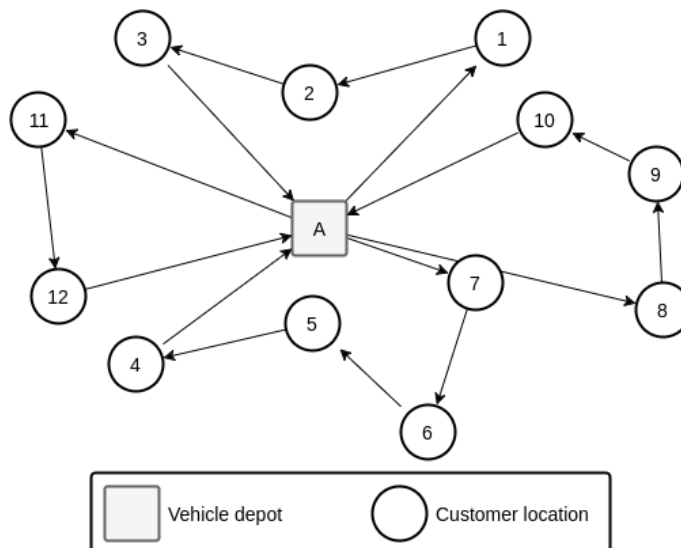
Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan salah satu permasalahan optimasi kombinatorial yang diusulkan pertama kali oleh (Dantzig and Ramser, 1959). VRP dapat dideskripsikan sebagai permasalahan dalam menentukan desain pengiriman yang optimal atau koleksi rute dari satu atau lebih depot ke sejumlah kota atau pelanggan (pelanggan) yang tersebar secara geografis (Laporte, 1992). VRP memiliki peran yang penting dalam distribusi logistik. Pada VRP (Gambar.II.3), kunjungan dimulai dengan kendaraan meninggalkan depot, melayani sejumlah pelanggan, dan kembali lagi ke depot asal. Masing-masing pelanggan ditandai dengan *demand*. VRP klasik merupakan generalisasi dari *Traveling*

Salesman Problem (TSP) dan *Bin Packaging Problem (BPP)* (Garey and Johnson, 2002).

VRP dapat didefinisikan sebagai berikut, $G = (V, A)$ adalah sebuah *graph*. $V = 1, \dots, n$ adalah sebuah set dari simpul(*vertex*) yang merepresentasikan kota dengan depot berada pada vertex 1. Sementara A merupakan sebuah set dari busur(*arc*). Setiap $arc(i, j)$ $i \neq j$ diasosiasikan dengan matrik jarak *non-negative* $C = (c_{ij})$. Dalam beberapa konteks, c_{ij} dapat diinterpretasikan sebagai *travel cost* atau *travel time*. Ketika C bersifat simetris, maka seringkali A diganti dengan satu set E dari *undirected edges*. Sebagai tambahan, jika diasumsikan terdapat m kendaraan yang berada pada depot, $m_L < m < m_U$, maka ketika $m_L = m_U$, maka m dikatakan *fixed*, dan ketika $m_L = 1$ dan $m_U = n - 1$, maka m dikatakan *free*. Jika m tidak *fixed*, maka seringkali diasosiasikan *fixed cost* f untuk setiap kendaraan. Pada VRP klasik, asumsi bahwasannya setiap kendaraan identik dan memiliki kapasitas yang sama, yaitu D .

VRP terdiri dari satu set rute dari kendaraan yang memiliki *cost* terkecil, dengan ketentuan:

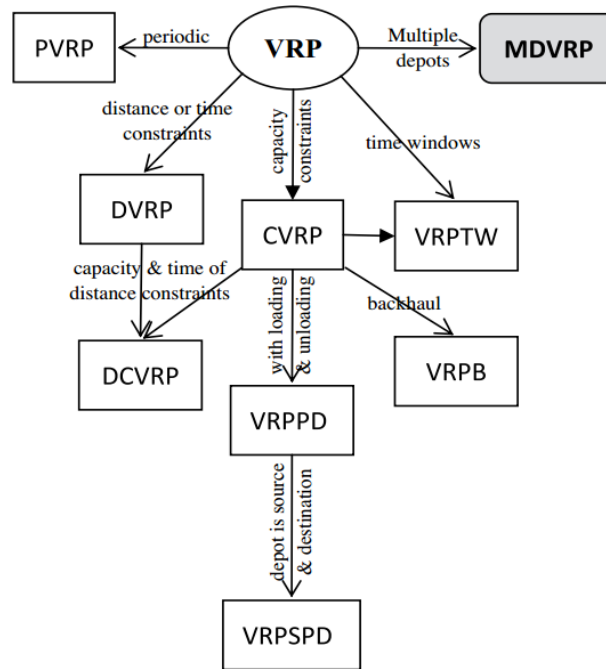
1. Setiap pelanggan pada V dikunjungi hanya sekali dan oleh satu kendaraan,
2. Semua kendaraan memulai dan mengakhiri perjalanan pada satu depot,
3. Total *demand* dari seluruh pelanggan pada setiap rute tidak melebihi Q ,
4. Durasi total dari rute tidak melebihi D



Gambar II.3: Ilustrasi *Vehicle Routing Problem (VRP)*

Terdapat sejumlah variasi dari VRP klasik yang telah diteliti, antara lain: *Capacitated VRP (CVRP)* yang diteliti oleh (Baldacci et al., 2010), (Cordeau et al.,

2007), dan (Toth and Vigo, 2002); *VRP with Time Windows (VRPTW)*, *VRP with Pickup and Delivery (VRPPD)*, dan *Periodic VRP (PVRP)* oleh (Solomon and Desrosiers, 1988); *Dynamic VRP (DVRP)* oleh (Psaraftis, 1995), dan berbagai varian lainnya, yang hanya mempertimbangkan satu buah depot. Sementara itu, *Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)* merupakan salah satu varian dari VRP klasik yang menggunakan lebih dari satu depot. Gambar II.4 memberikan ilustrasi hierarki variasi dari VRP.

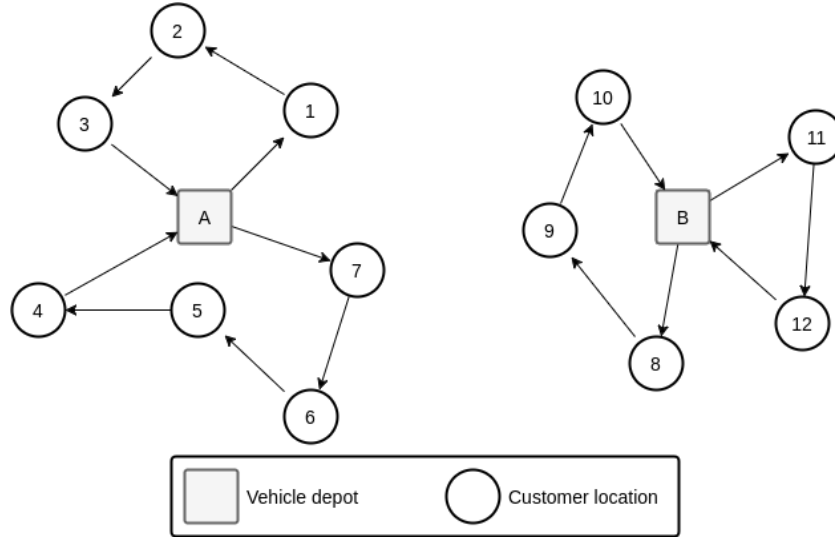


Gambar II.4: Hierarki variasi dari VRP (Weise et al., 2009)

II.4.2 Multi-Depot Vehicle Routing Problem

Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) merupakan salah satu varian dari VRP klasik yang menggunakan lebih dari satu depot. Pada variasi ini, setiap pelanggan akan dikunjungi oleh kendaraan yang berasal dari salah satu dari beberapa depot. Pada MDVRP standar, kendaraan harus memulai dan mengakhiri rute pada depot yang sama. Gambar II.5 memberikan ilustrasi tentang MDVRP.

Berdasarkan (Renaud et al., 1996b), MDVRP dapat diformulasikan sebagai berikut, $G = (V, A)$ adalah sebuah *graph*. V adalah sebuah set dari simpul(*vertex* atau *node*) dan A adalah sebuah set dari busur(*arcs*). *Node* dibagi menjadi 2 (dua) *subset*: pelanggan yang akan dilayani $V_C = \{1, \dots, N\}$, dan satu set depot $V_D = \{N+1, \dots, N+M\}$, dan memiliki syarat $V_C \cup V_D = V$ dan $V_C \cap V_D = \emptyset$. Terdapat biaya *non-negative* c_{ij} yang diasosiasikan untuk setiap *arc* $(i, j) \in A$. *Demand*



Gambar II.5: Ilustrasi *Multi Depot VRP*

untuk masing-masing pelanggan adalah d_i , dan tidak ada *demand* pada *depot node*. Terdapat juga sejumlah K kendaraan yang identik, yang masing-masing memiliki kapasitas Q . *Service time* untuk masing-masing pelanggan i adalah t_i , sementara waktu durasi maksimum untuk masing-masing rute adalah T . Faktor konversi w_{ij} mungkin dibutuhkan untuk menkonversi *cost* c_{ij} menjadi unit waktu. Pada MDVRP klasik, *cost* sama dengan waktu dan unit jarak, sehingga $w_{ij} = 1$.

Dalam formula matematika, berdasarkan (Kulkarni and Bhawe, 1985), variabel biner x_{ijk} sama dengan 1 ketika kendaraan k mengunjungi *node* j tepat setelah *node* i . Variabel tambahan y_i juga digunakan untuk mengeliminasi *subtour*. Persamaan 2.1 meminimalisasi *total cost*. Persamaan 2.2 dan 2.3 menjamin bahwa setiap pelanggan hanya dilayani tepat satu kali oleh satu kendaraan. Alur kendaraan dijamin dengan persamaan 2.4. Kapasitas kendaraan dan batasan durasi untuk setiap rute terdapat pada persamaan 2.5 and 2.6. Persamaan 2.7 dan 2.8 mengecek keberadaan kendaraan. Eliminasi *subtour* terdapat pada persamaan 2.9. Terakhir, persamaan 2.10 dan 2.11 mendefinisikan x dan y sebagai variabel biner.

$$\sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk}; \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 (j = 1, \dots, N); \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 (j = 1, \dots, N); \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^{N+M} x_{ihk} - \sum_{j=1}^{N+M} x_{hjk} = 0 \quad (2.4)$$

$$(k = 1, \dots, K; h = 1, \dots, N+M);$$

$$\sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} d_i x_{ijk} \leq Q (k = 1, \dots, K); \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} (c_{ij} w_{ij} + t_i) x_{ijk} \leq T (k = 1, \dots, K); \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=N+1}^{N+M} \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq 1 (k = 1, \dots, K); \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=N+1}^{N+M} \sum_{i=1}^N x_{ijk} \leq 1 (k = 1, \dots, K); \quad (2.8)$$

$$y_i - y_j + (M + N) x_{ijk} \leq N + M - 1; \quad (2.9)$$

$$for 1 \leq i \neq j \leq N and 1 \leq k \leq K;$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \forall i, j, k; \quad (2.10)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \forall i; \quad (2.11)$$

Terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan

permasalahan MDVRP. (Laporte et al., 1984) dan (Laporte et al., 1988) mengembangkan algoritma *branch-and-bound*, tetapi, algoritma ini hanya dapat digunakan untuk sejumlah kecil *instance*. Sejumlah algoritma *heuristic* juga telah diteliti untuk MDVRP. Algoritma heuristic yang relatif awal, yang berbasis pada prosedur *simple construction and improvement* diteliti oleh (Tillman, 1969), (Tillman and Cain, 1972), (Tillman and Hering, 1971), (Wren and Holliday, 1972), (Gillett and Johnson, 1976), (Golden et al., 1977), dan (Raft, 1982). Penelitian yang lebih baru, (Chao et al., 1993) mengusulkan sebuah prosedur pencarian yang mengkombinasikan metode lokal *record-to-record* (Dueck, 1993) untuk mengalokasikan ulang pelanggan ke rute kendaraan yang berbeda, yang dilanjutkan dengan prosedur 2-opt (Lin, 1965) untuk meningkatkan rute individual.

Penelitian yang lain, (Renaud et al., 1996b) menggunakan *tabu search heuristic*. solusi awal pada *tabu search heuristic* disusun dengan meng-assign setiap pelanggan dengan depot terdekatnya. Algoritma *petal* yang dirancang oleh penulis yang sama, (Renaud et al., 1996a), kemudian digunakan untuk mencari solusi dari setiap VRP yang diasosiasikan pada masing-masing depot. Terakhir terdapat fase *improvement*, baik dengan menggunakan subset dari pertukaran 4-opt untuk meningkatkan rute individual, menukar pelanggan antar rute dari depot yang sama maupun berbeda, atau menukar pelanggan antara 3 (tiga) rute.

Penggunaan *tabu search* juga dilakukan oleh (Cordeau et al., 1997). Solusi awal pada *tabu search* diperoleh dengan memetakan setiap pelanggan dengan depot terdekat dan solusi digenerate untuk masing-masing depot dengan menggunakan algoritma sweep. *Improvement* dilakukan dengan memindahkan pelanggan antara dua rute kepada depot yang sama, atau dengan merelokasi pelanggan pada rute ke depot yang lain. *Reinsertion* dilakukan dengan menggunakan *GENI heuristic* (Gendreau et al., 1992).

Selain *tabu search*, terdapat juga beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan MDVRP, yaitu: adaptive large neighborhood search (ALNS) (Pisinger and Ropke, 2007), fuzzy logic guided genetic algorithm (FLGA) (Lau et al., 2010), paralel iterated *tabu search* (ITS) (Cordeau and Maischberger, 2012), hybrid algorithm combining Iterated Local Search and Set Partitioning (ILS-RVND-SP) (Subramanian et al., 2013), hybrid genetic algorithm with adaptive diversity control (HGSADC+) (Vidal et al., 2014), hybrid Granular Tabu Search (ELTG) (Escobar et al., 2014), dan evolution algorithms (EAs) (Weise et al., 2009).

II.4.3 Cooperative Evolution Strategy

Evolution Strategies (ESs) merupakan salah satu *family* dari algoritma optimasi yang terinspirasi dari alam. ESs pertama kali diteliti oleh (Rechenberg, 1965) dan (Huning et al., 1976), yang kemudian diteliti lebih lanjut oleh (Schwefel, 1975). Pada ESs, setiap individu direpresentasikan oleh *genetic building blocks* dan parameter strategi yang memodelkan perilaku individu pada lingkungannya. Evolusi kemudian terjadi, yang terdiri dari perkembangan dari karakteristik genetik dan parameter strategi. Evolusi dari karakteristik genetik dikontrol oleh parameter strategi.

ESs merepresentasikan individu sebagai sebuah *tuple*, yang terdiri dari *decision vector* x yang akan dioptimalisasi, dan vector parameter strategi σ yang merepresentasikan jumlah mutasi dari setiap dimensi.

$$\chi(t) = (x(t), \sigma(t)) \quad (2.12)$$

Berdasarkan observasi biologi, keturunan (*offspring*) harus mempunyai kesamaan dengan induknya,

$$\chi'(t) = (x'(t), \sigma'(t)) \quad (2.13)$$

Operator seleksi kemudian akan menentukan yang terbaik antara induk dan keturunannya. Asumsi yang digunakan adalah,

$$x(t+1) = \begin{cases} x'(t) & f(x'(t)) < f(x(t)) \\ x(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.14)$$

dan

$$\sigma(t+1) = \begin{cases} \sigma'(t) & f(x'(t)) < f(x(t)) \\ \sigma(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.15)$$

Algoritma II.1 merupakan framework generik pada implementasi ES. Parameter μ and λ mengindikasikan jumlah induk dan jumlah keturunannya. Komponen utama dari algoritma ES adalah:

1. **Initialization:** Untuk setiap individu, *genotype*-nya diinisialisasi sesuai

dengan konstrain dari masalah. Parameter dari strategi juga diinisialisasi.

2. **Recombination:** Keturunan diproduksi dengan melalui operator *crossover* pada dua atau lebih induk.
3. **Mutation:** Keturunan kemudian bermutasi, yang jumlah mutasinya diukur dari parameter strategi adaptasi.
4. **Evaluation:** *Absolute fitness function* digunakan untuk mengukur kualitas dari solusi yang direpresentasikan dengan *genotype* dari individu.
5. **Selection:** Operator seleksi digunakan untuk dua tujuan: memilih induk untuk rekomendasi, dan menentukan individu yang masih bertahan.

Algoritma II.1 Algoritma Evolution Strategy

- 1: Set the generation counter, $t = 0$;
 - 2: Initialize the strategy parameters;
 - 3: Create and initialize the population, $C(0)$, of μ individuals;
 - 4: **for** each individual, $\chi_i(t) \in C(t)$ **do**
 - 5: Evaluate the fitness, $f(\chi_i(t))$;
 - 6: **end for**
 - 7: **while** stopping condition(s) not true **do**
 - 8: **for** $i = 1, \dots, \lambda$ **do**
 - 9: Choose $p \geq 2$ parents at random;
 - 10: Create offspring through application of crossover operator on parent genotypes and strategy parameters;
 - 11: Mutate offspring strategy parameters and genotype;
 - 12: Evaluate the fitness of the offspring;
 - 13: **end for**
 - 14: Select the new population, $C(t + 1)$;
 - 15: $t = t + 1$;
 - 16: **end while**
-

Jika *evolution algorithm* (EA) memandang evolusi hanya sebagai suatu usaha populasi untuk beradaptasi dengan lingkungan yang tetap, maka algoritma *coevolution* (CoEA) memandang evolusi dari pendekatan yang lebih bersifat natural dengan memperhatikan hubungan yang saling melengkapi (komplemen) antara spesies terkait. Ilustrasi *coevolution* antara dua spesies adalah seperti dicontohkan oleh (Holland and others, 1990), yaitu interaksi antara tanaman dan serangga. Agar tetap dapat bertahan, tanaman membutuhkan mekanisme evolusi untuk mempertahankan diri dari serangga, sementara serangga membutuhkan tanaman sebagai sumber makanan. Keduanya, tanaman dan serangga, masing-masing berevolusi untuk mendapatkan karakteristik yang membuat mereka bertahan hidup.

Perbedaan antara algoritma CoEA dengan EA adalah CoEA tidak hanya terkait antar populasi, tetapi juga merespon perubahan lingkungan yang disebabkan oleh populasi yang lain. Perbedaan lain yang cukup signifikan adalah EA mendefinisikan solusi optimal melalui fungsi *fitness* yang bersifat absolut yang mendorong terjadinya evolusi. Sebaliknya, CoEA tidak mendefinisikan fungsi *fitness*, sehingga proses evolusi terus berlangsung. Solusi yang paling optimal diperoleh dengan cara mengalahkan lawan.

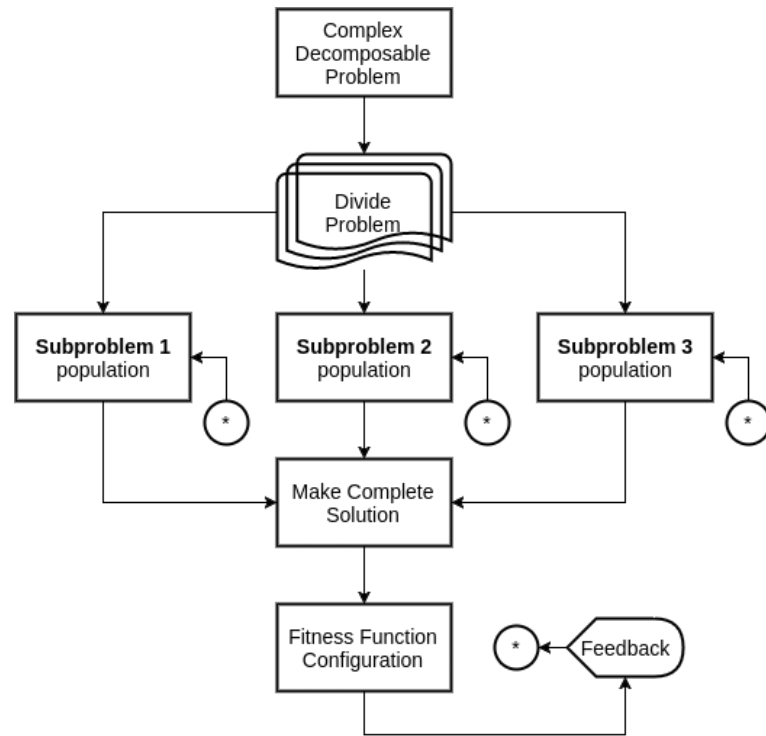
Terdapat dua macam pendekatan berbasis *coevolution*, yaitu *competitive coevolution* dan *cooperative coevolution*. *Competitive coevolution* dibagi menjadi dua: 1) **Competition**, yaitu kondisi ketika satu atau lebih populasi saling menghambat. Keberhasilan satu populasi membuat populasi lain gagal. 2) **Amensalism**, yaitu kondisi ketika terhambatnya satu populasi tidak berpengaruh terhadap populasi lain. Sementara *cooperative coevolution* juga dibagi menjadi tiga: 1) **Mutualism**, yaitu kondisi ketika satu atau lebih populasi saling menguntungkan. 2) **Commensalism**, yaitu kondisi ketika hanya sebagian populasi diuntungkan, sementara populasi yang lain tidak terpengaruh. 3) **Parasitism**, yaitu kondisi ketika sebagian populasi mengambil keuntungan dari populasi yang lain.

Penelitian yang menggunakan CoEA, dalam kaitannya dengan penyelesaian masalah MDVRP, salah satunya dilakukan oleh (de Oliveira et al., 2016). (de Oliveira et al., 2016) membagi masalah menjadi beberapa submasalah. Tiap-tiap submasalah akan menjadi sebuah populasi yang akan berinteraksi dengan populasi yang lain. Setiap populasi kemudian akan berevolusi. Sebagaimana pada teori *coevolution*, evolusi dari satu populasi akan mempengaruhi populasi yang lain. Pada penelitian (de Oliveira et al., 2016), hubungan yang terjadi pada setiap populasi bersifat kooperatif. Seluruh populasi akan saling bekerja sama membentuk solusi terbaik.

II.5 Messaging Solution

Ketika dua buah aplikasi ingin saling bertukar data, mereka akan melakukannya dengan mengirimkan data melalui *channel* yang akan menghubungkan keduanya. Yang menjadi tantangan adalah memilih mekanisme yang tepat dalam pengiriman pesan.

Dari beragam metode interaksi antara *client* dengan *server*, cara yang paling banyak digunakan adalah dengan melalui media web. Hal senada juga terjadi dalam implementasi *location routing problem* yang sebagian besar menggunakan media web, seperti (Weise et al., 2009), (Sengoku and Yoshihara, 1998), (Sarmenta et al.,



Gambar II.6: Lifecycle pada Cooperative Coevolution (de Oliveira et al., 2016)

2002), dan (Diaz, 2012). Akan tetapi, teknologi web bekerja secara *synchronous*, yaitu setiap *request* dan *reply* akan diproses secara berurutan, sehingga tidak sesuai untuk diimplementasikan pada sistem yang bersifat *information driven* (Mhl, 2002). Selain itu, komunikasi *point-to-point* dan *synchronous* membuat pengembangan menjadi tidak fleksibel (Eugster et al., 2003).

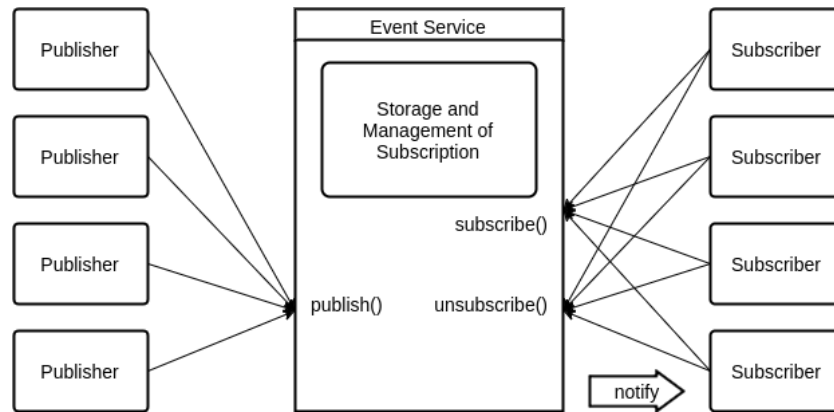
II.5.1 Mekanisme *Publish/Subscribe*

Publish/subscribe interaction merupakan salah satu alternatif untuk komunikasi antara *client* dan *server*. Paradigma interaksi pada *publish/subscribe* adalah adanya *subscriber* yang memiliki ketertarikan pada suatu *event* atau *pattern of event* dan ingin mendapatkan notifikasi tiap kali *event* yang menjadi *interest*-nya di-*publish* oleh *publisher*.

Model dasar dari sistem berbasis *publish/subscribe*, seperti Gambar II.7, bergantung pada *event notification service* yang menyediakan penyimpanan dan manajemen dari *subscription*. *Event service* tersebut berperan sebagai mediator antara *publisher* yang berperan sebagai produsen *event* dan *subscriber* yang berperan sebagai konsumen dari *event*.

Subscriber mendaftarkan ketertarikannya pada sebuah *event* tanpa perlu mengetahui sumber dari *event* tersebut, dengan memanggil operasi *subscribe()* pada

event service. Informasi *subscription* ini tetap tersimpan di dalam penyimpanan pada *event service*. Untuk menciptakan *event*, *publisher* memanggil operasi *publish()*. *Event service* kemudian meneruskan *event* yang diproduksi tersebut kepada *subscriber* yang bersesuaian.



Gambar II.7: Arsitektur dasar pada Pub/Sub (Eugster et al., 2003)

Paradigma *publish/subscribe* memiliki sifat *loose coupling*. Pemisahan (*decoupling*) informasi yang terjadi antara *subscriber* dan *publisher* dapat dibedakan ke dalam 3 (tiga) dimensi, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar II.8. *Decoupling* informasi tersebut berlangsung sebagai berikut:

1. *Space decoupling*.

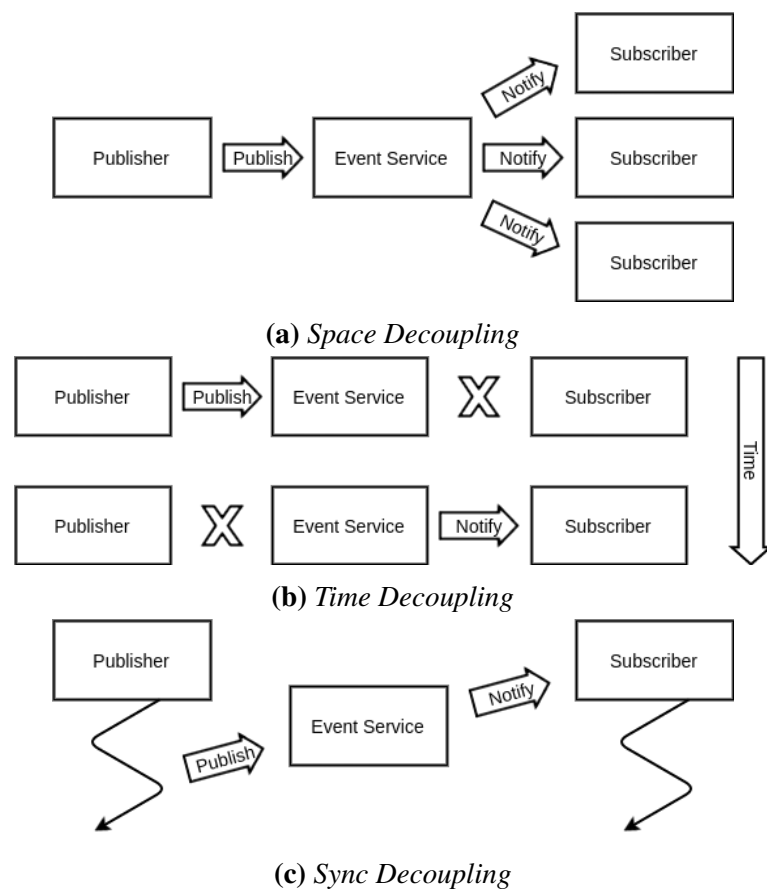
Interaksi antara *publisher* dan *subscriber* tidak perlu saling mengetahui satu dengan yang lain. *Publisher* mengirimkan *event*, dan *subscriber* menerima *event* secara tidak langsung melalui *event service*. *Publisher* biasanya tidak memiliki referensi tentang *subscriber*. Begitu juga sebaliknya, *subscriber* biasanya tidak memegang referensi tentang *publisher*.

2. *Time decoupling*.

Pihak-pihak yang berinteraksi tidak harus berinteraksi pada waktu yang bersamaan. *Publisher* dapat mengirimkan *event* pada saat *subscriber* dalam kondisi terputus (*offline*). Begitu juga sebaliknya, *subscriber* tetap dapat menerima *event*, meskipun *original publisher* sedang dalam kondisi terputus (*offline*).

3. *Synchronizing decoupling*.

Publisher dan *subscriber* tidak berada dalam *main flow*, sehingga tidak berinteraksi secara *synchronous*. *Publisher* tetap dapat mengirimkan informasi meskipun sedang memproduksi *event* lain dan *subscriber* tetap dapat memperoleh informasi meskipun sedang mengerjakan tugas yang lain.

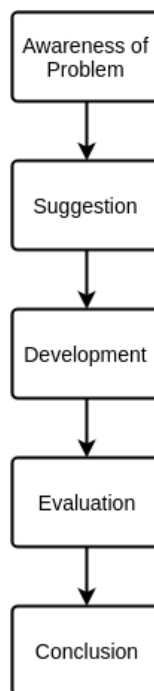


Gambar II.8: Pemisahan informasi pada Pub/Sub (Eugster et al., 2003)

BAB 3

METODOLOGI

Metodologi penelitian yang akan dilakukan di dalam penelitian ini adalah *Design Science Research Methods and Patterns* (Vaishnavi and Kuechler, 2007). Metodologi penelitian terdiri dari 5 (lima) tahapan seperti digambarkan pada Gambar III.1 yaitu: *Awareness of Problem*, *Suggestion*, *Development*, *Evaluation*, dan *Conclusion*.



Gambar III.1: Tahapan *Design Science Research Methods and Patterns*

III.1 *Awareness of Problem*

Langkah pertama dalam *Design Science Research Methods and Patterns* adalah *awareness of problem*. Langkah ini merupakan proses identifikasi dan definisi masalah. Permasalahan yang diidentifikasi dapat tersusun dari permasalahan nyata (*real problem*) maupun permasalahan penelitian (*research problem*). *Real problem* diidentifikasi melalui analisis dan wawancara dengan *subject matter*. Sementara *research problem* diidentifikasi dari riset-riset yang meneliti permasalahan yang terkait dengan *real problem*.

III.2 *Suggestion*

Setelah masalah terdefiniskan, maka tahapan berikutnya adalah menemukan solusi dari masalah tersebut. Serangkaian analisis dan *preliminary research* dilakukan untuk menemukan kandidat solusi dari permasalahan. Pada tahapan ini, akan diperoleh keluaran berupa *tentative design* atau *design overview*.

III.3 *Development*

Tentative design yang diperoleh pada tahap sebelumnya kemudian dikembangkan dan diimplementasikan pada tahap ini. Elaborasi dari *tentative design* memerlukan kreativitas. Complete design diimplementasikan dalam sejumlah bahasa pemrograman yang bervariasi, kemudian dikombinasikan dengan sejumlah perangkat lunak untuk membentuk sebuah prototipe sistem. Sebuah mekanisme komunikasi juga dipilih pada tahap ini untuk mendukung implementasi dari sistem.

III.4 *Evaluation*

Prototipe sistem yang diimplementasikan pada tahap sebelumnya kemudian diuji dengan menggunakan serangkaian skenario. Sejumlah data juga digunakan pada tahapan ini. Hasil pengujian kemudian direpresentasikan dalam tabel dan grafik untuk memudahkan dalam menarik kesimpulan.

III.5 *Conclusion*

Kesimpulan merupakan tahapan akhir dari penelitian. Kesimpulan yang diambil harus dapat menjawab masalah yang telah didefinisikan di awal penelitian.

BAB 4

ANALISIS DAN PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan tentang perancangan sistem usulan, yaitu sistem rekomendasi lokasi pencacahan. Sebelum dijelaskan tentang sistem usulan, terlebih dahulu akan dilakukan eksperimen dan analisis terhadap solusi yang telah ada.

IV.1 Analisis

Pada kondisi saat ini (sistem berjalan), lokasi pencacahan sudah ditentukan sejak awal dengan menggunakan metode sampling tertentu. Pada tahap perancangan, sejumlah petugas direkrut dan ditugas pada sejumlah lokasi pencacahan. Pengalokasian seringkali dilakukan secara subjektif berdasarkan kedekatan lokasi pencacahan dengan domisili petugas pencacahan. Akibatnya, terjadi ketidakmerataan beban kerja dan variasi total waktu penyelesaian pekerjaan yang sangat tinggi antar petugas.

Untuk mengatasi masalah ini, algoritma MDVRP dipilih karena memiliki karakteristik yang serupa dengan permasalahan alokasi petugas, yakni:

1. Terdapat lebih dari satu kendaraan. Tiap-tiap kendaraan memiliki depot yang berbeda. Hal ini analog dengan permasalahan alokasi petugas yang melibatkan lebih dari satu pencacah dan tiap-tiap pencacah memiliki titik mulai pencacahan yang berbeda.
2. Terdapat biaya yang harus dikeluarkan untuk melakukan perjalanan dari satu pelanggan ke pelanggan yang lain. Ini sejalan dengan konsep dalam pencacahan, yaitu terdapat biaya untuk mengunjungi satu responden ke responden lainnya.

Pada proses pencacahan, biaya dapat berupa waktu tempuh, jarak tempuh, atau biaya perjalanan. Dalam penelitian ini, waktu tempuh dipilih sebagai representasi dari biaya karena waktu tempuh menggambarkan tingkat kesulitan akses dalam mengunjungi tiap-tiap wilayah kerja. Semakin sulit akses ke suatu wilayah, semakin lama waktu tempuh yang diperlukan.

Eksperimen dilakukan untuk membuktikan fisibilitas algoritma MDVRP dalam penyelesaian permasalahan alokasi petugas. Eksperimen melibatkan 2 (dua) komponen utama:

1. Sejumlah pencacah dengan depotnya masing-masing.
2. Sejumlah lokasi pencacahan/blok sensus yang setiap blok sensusnya memiliki beberapa responden.

Subbab. IV.1.1 hingga Subbab. IV.1.3 menyajikan penjelasan rinci mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam eksperimen.

IV.1.1 Dataset

IV.1.1.1 Lokasi Pencacahan

Merujuk kepada konsep MDVRP, lokasi pencacahan dapat dianalogikan sebagai pelanggan yang akan dikunjungi oleh petugas pencacahan (kendaraan). Pengujian dilakukan dengan menggunakan data 182 lokasi nagari/kelurahan yang bersumber dari data wilayah administratif di Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat. Masing-masing lokasi memiliki atribut ID dan posisi koordinat menurut garis lintang dan bujur, seperti yang terlihat pada Tabel. 1.

Tabel 1: Lokasi Pencacahan

	Koordinat	
	Lintang	Bujur
1302011001	-2.3504	101.1434
1302011002	-2.4233	101.0285
1302011003	-2.3798	101.0427
1302011004	-2.3884	101.049
1302011005	-2.3936	101.0546
...		
1302110019	-1.2387	100.4853
1302110020	-1.1408	100.4938
1302110021	-1.0883	100.4652
1302110022	-1.0886	100.489
1302110023	-1.1523	100.4978

IV.1.1.2 Petugas Pencacahan

Berdasarkan konsep MDVRP, petugas pencacahan diibaratkan sebagai kendaraan yang harus berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain secara berurutan. Selain

memiliki atribut ID, masing-masing pencacah juga dilengkapi dengan atribut depot, yaitu lokasi di mana pencacah harus memulai dan mengakhiri kunjungan. Eksperimen ini menggunakan 15 pencacah dengan lokasi depot yang bervariasi, seperti contoh yang tercantum pada Tabel.2.

Tabel 2: Pencacah

	Koordinat Depot	
	Lintang	Bujur
1302011008	-2.3905	101.1214
1302012003	-2.199	101.1188
1302020006	-2.1225	101.0687
...		
1302100002	-1.23265	100.54314
1302101005	-1.19831	100.58078
1302110003	-1.2475	100.4745

IV.1.1.3 Jarak dan Waktu Tempuh

Jarak dan waktu tempuh antar lokasi pencacahan digunakan sebagai penimbang dalam penentuan rekomendasi lokasi. Penghitungan jarak dan waktu tempuh dapat dilakukan dengan cara manual (menggunakan hasil survei lokasi dan perkiraan *subject matter*) atau memanfaatkan *Google Directions API* (Google, 2016).

Secara teknis, *Google Direction API* lebih unggul dibandingkan metode manual karena secara otomatis memperhitungkan faktor rute tercepat, kondisi geografis, moda transportasi yang digunakan, dan kemacetan lalu lintas dalam memperkirakan jarak dan waktu tempuh. Namun, *Google Direction API* mengandalkan kontribusi para pengguna *Google* sebagai sumber informasi, sehingga ada kemungkinan rute-rute yang jarang dilewati akan memiliki informasi yang minim dan cenderung bias. Sebagai konsekuensinya, terdapat resiko hasil kalkulasi yang kurang tepat untuk rute-rute tersebut.

Kode IV.1 menggambarkan contoh *requests URL* yang dikirimkan ke *Google Direction API*. *Request URL* ini dapat dieksekusi dengan menggunakan *HTTP client*, seperti *curl* dan *wget*, atau *HTTP client library*, seperti *requests* dan *urllib* di Python. Contoh *response* Google Direction API dapat dilihat pada Gambar.IV.1.

Hasil kalkulasi jarak dan waktu tempuh kemudian disimpan dalam bentuk matriks seperti yang terlihat pada Tabel 3. Jika lokasi depot dari pencacah tidak

tercakup dalam lokasi pencacahan yang ada, maka lokasi depot tersebut harus ditambahkan ke dalam matriks jarak dan waktu tempuh.

```
https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin=origin_lat,
origin_lon&destination=dest_lat,dest_lon&departure_time=timestamp&
traffic_model=best_guess&key=API_KEY
```

Kode IV.1: *Google Direction API Request*

```
{
+ geocoded_waypoints: [...],
- routes: [
  - {
    + bounds: {...},
    copyrights: "Map data ©2016 Google",
    - legs: [
      - {
        - distance: {
          text: "0.5 km",
          value: 511
        },
        - duration: {
          text: "2 mins",
          value: 130
        },
        - duration_in_traffic: {
          text: "2 mins",
          value: 129
        },
      },
    ],
  },
],
}
```

Gambar IV.1: *Google Direction API Response*

Tabel 3: Data Jarak dan Waktu Tempuh

Lokasi A	Lokasi B	Jarak (m)	Waktu Tempuh (det)
1302021001	1302021003	11119	1055
1302021001	1302021002	9373	868
1302021001	1302021005	490	38
1302021001	1302021004	22760	2044
...			
1302040015	1302012010	77889	8305
1302040014	1302100015	103893	9984
1302040014	1302012010	73561	7546
1302100015	1302012010	171636	16801

IV.1.2 Algoritma dan Implementasi

Terdapat banyak *library* yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan MDVRP, baik yang berbayar maupun *open source*. Dua *open source library* yang cukup banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan MDVRP adalah Jsprit (jsprit, 2014) dan Optaplanner (OptaPlanner, 2016). Eksperimen ini menggunakan JSprit karena JSprit lebih berfokus pada pencarian rute serta lebih mudah untuk diimplementasikan.

Jsprit merupakan sebuah *library* berbasis java yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *traveling salesman problem* (TSP) dan *vehicle routing problems* (VRP). JSprit mencakup berbagai skenario seperti: *pickups and deliveries, back hauls, heterogeneous fleets, finite and infinite fleets, multiple depots, time windows, open routes, different start and end locations, multiple capacity dimensions, initial loads*, dan *skills*. JSpirit bekerja secara terstruktur, mulai dari pendefinisian masalah, pemilihan algoritma, pencarian solusi, hingga pemilihan solusi terbaik.

IV.1.2.1 Definisi Masalah

Pendefinisian masalah dengan *library* Jsprit dilakukan dengan mendefinisikan lokasi pencacahan, para pencacah, dan matriks jarak dan waktu tempuh yang diimplementasikan dalam Kode IV.2, Kode IV.3, dan Kode IV.4. Ketiga variabel ini kemudian di-*build* menjadi satu dengan menggunakan *syntax* yang tercantum pada Kode IV.5.

```
Service.Builder builder = Service.Builder.newInstance(line[0]);

try {
    Location loc = Location.Builder.newInstance()
        .setId(line[0])
        .setCoordinate(
            Coordinate.newInstance(Double.parseDouble(line[2]),
                Double.parseDouble(line[1]))).build();
    builder.setLocation(loc);
} catch (Exception e) {}

Service node = builder.build();
vrpBuilder.addJob(node);
```

Kode IV.2: Definisi Lokasi Pencacahan

```

VehicleTypeImpl.Builder vehicleTypeBuilder =
    ↪ VehicleTypeImpl.Builder.newInstance("enumerator");
vehicleTypeBuilder.setCostPerDistance(0);
vehicleTypeBuilder.setCostPerTransportTime(1);
vehicleTypeBuilder.setCostPerServiceTime(1);
VehicleType vehicleType = vehicleTypeBuilder.build();

VehicleImpl.Builder builder = VehicleImpl.Builder.newInstance(line[0]);

try {
    Location loc = Location.Builder.newInstance()
        .setId(line[0])
        .setCoordinate(Coordinate.newInstance(
            Double.parseDouble(line[2]),
            ↪ Double.parseDouble(line[1])))
        .build();
    builder.setStartLocation(loc);
} catch (Exception e) {}

builder.setType(vehicleType);
VehicleImpl vehicle = builder.build();
vrpBuilder.addVehicle(vehicle);

```

Kode IV.3: Definisi Pencacah dari File .csv

```

VehicleRoutingTransportCostsMatrix.Builder costMatrixBuilder =
    ↪ VehicleRoutingTransportCostsMatrix.Builder.newInstance(true);

while ((line = reader.readNext()) != null) {
    try {
        costMatrixBuilder.addTransportDistance(line[0],
        ↪ line[1], Double.parseDouble(line[2]));
        costMatrixBuilder.addTransportTime(line[0], line[1],
        ↪ Double.parseDouble(line[3]));
    } catch (Exception e) {
        costMatrixBuilder.addTransportDistance(line[0],
        ↪ line[1], 0.0);
        costMatrixBuilder.addTransportTime(line[0], line[1],
        ↪ 0.0);
    }
}

VehicleRoutingTransportCosts costMatrix = costMatrixBuilder.build();
vrpBuilder.setRoutingCost(costMatrix);

```

Kode IV.4: Definisi Penimbang Jarak dan Waktu Tempuh dari File .csv

```

VehicleRoutingProblem.Builder vrpBuilder =
    ↪ VehicleRoutingProblem.Builder.newInstance();
vrpBuilder.setFleetSize(VehicleRoutingProblem.FleetSize.FINITE);
VehicleRoutingProblem problem = vrpBuilder.build();

```

Kode IV.5: Pendefinisian Masalah

IV.1.2.2 Konfigurasi Algoritma

Berdasarkan masalah yang telah didefinisikan sebelumnya, Jsprit kemudian akan membuat konfigurasi algoritma. Secara *default* algoritma yang digunakan adalah *Tabu Search*. Selain itu, jumlah iterasi dan *thread* yang digunakan juga dapat didefinisikan. Kode IV.6 merupakan *syntax* konfigurasi algoritma yang digunakan.

```
VehicleRoutingAlgorithm algorithm =  
→ Jsprit.Builder.newInstance(problem)  
  .setProperty(Jsprit.Parameter.THREADS, 5).buildAlgorithm();  
algorithm.setMaxIterations(iterations);
```

Kode IV.6: Penentuan Algoritma

IV.1.2.3 Pencarian Solusi dan Penentuan Solusi Terbaik

Pencarian solusi dilakukan dengan menggunakan algoritma yang didefinisikan pada tahap sebelumnya. Jika algoritma memproduksi lebih dari satu solusi, maka Jsprit akan melakukan pemilihan solusi terbaik seperti yang terlihat pada Kode IV.7. Secara *default*, solusi terbaik merupakan solusi yang memiliki total biaya terendah.

```
Collection<VehicleRoutingProblemSolution> solutions =  
→ algorithm.searchSolutions();  
VehicleRoutingProblemSolution bestSolution =  
→ Solutions.bestOf(solutions);
```

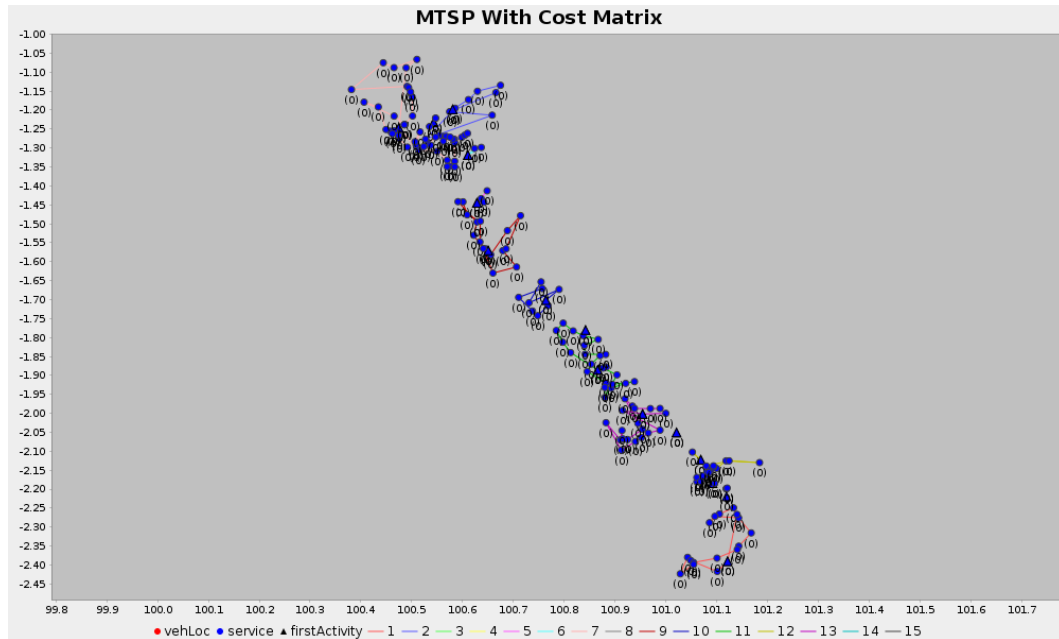
Kode IV.7: Pencarian Solusi

IV.1.3 Hasil dan Analisis

Berdasarkan hasil dari eksperimen, diperoleh rute seperti yang digambarkan pada Gambar IV.2 dan Listing IV.8 untuk detail dari setiap pencacah. Berdasarkan rute tersebut kemudian dilakukan simulasi pencacahan dengan menyertakan waktu tempuh dan lama pencacahan pada tiap-tiap lokasi. Lama pencacahan untuk tiap-tiap lokasi pencacahan dibuat dengan mengikuti distribusi normal. Pengujian dengan menggunakan 182 lokasi pencacahan dan 15 petugas pencacahan menghasilkan rata-rata dan standar deviasi waktu penyelesaian tugas sebesar:

$$\mu = 82,24 \text{ jam}$$

$$\sigma = 88,95 \text{ jam}$$



Gambar IV.2: Rute yang dihasilkan oleh JSprit

Tabel 4: Waktu total dari setiap rute yang dihasilkan oleh JSprit

Pencacah	Total Waktu (jam)
1302021005	13.3
1302101005	60.8
1302070006	116
1302050007	6
1302100002	26.6
1302030005	6
1302110003	341
1302012003	19.9
1302080006	27.1
1302031005	136
1302060005	61.3
1302020006	121
1302011008	116
1302040002	162
1302090004	20.2

Nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan terjadinya ketidakmerataan beban kerja antar pencacah. Ini sekaligus menunjukkan bahwa algoritma

```

1302021005 : 1302021001 --> 1302021005
1302101005 : 1302101005 --> 1302101001 --> 1302100010 --> 1302100014
↳ --> 1302100011 --> 1302101004 --> 1302101006 --> 1302101003 -->
↳ 1302101002
1302070006 : 1302070006 --> 1302070002 --> 1302070003 --> 1302080009
↳ --> 1302080004 --> 1302080001 --> 1302080005 --> 1302080003 -->
↳ 1302070012 --> 1302070011 --> 1302070001 --> 1302070004 -->
↳ 1302070007 --> 1302070008 --> 1302070010 --> 1302070009 -->
↳ 1302070005
1302050007 : 1302050007
1302100002 : 1302100002 --> 1302100003 --> 1302100013 --> 1302100012
1302030005 : 1302030005
1302110003 : 1302110003 --> 1302100001 --> 1302090006 --> 1302090012
↳ --> 1302090003 --> 1302090014 --> 1302090009 --> 1302090015 -->
↳ 1302090018 --> 1302090016 --> 1302090017 --> 1302090013 -->
↳ 1302090005 --> 1302090007 --> 1302090002 --> 1302090008 -->
↳ 1302090001 --> 1302100015 --> 1302100004 --> 1302100016 -->
↳ 1302090011 --> 1302090010 --> 1302100017 --> 1302100006 -->
↳ 1302100007 --> 1302100009 --> 1302100008 --> 1302100005 -->
↳ 1302110001 --> 1302110010 --> 1302110013 --> 1302110002 -->
↳ 1302110014 --> 1302110015 --> 1302110011 --> 1302110016 -->
↳ 1302110017 --> 1302110004 --> 1302110018 --> 1302110019 -->
↳ 1302110005 --> 1302110012 --> 1302110023 --> 1302110020 -->
↳ 1302110006 --> 1302110007 --> 1302110008 --> 1302110021 -->
↳ 1302110009 --> 1302110022
1302012003 : 1302012007 --> 1302012003 --> 1302012008
1302080006 : 1302080006 --> 1302080008 --> 1302080002 --> 1302080007
1302031005 : 1302031005 --> 1302031008 --> 1302030014 --> 1302030006
↳ --> 1302030009 --> 1302030004 --> 1302030010 --> 1302031003 -->
↳ 1302030002 --> 1302031004 --> 1302030003 --> 1302030012 -->
↳ 1302031001 --> 1302031006 --> 1302040011 --> 1302031009 -->
↳ 1302031010 --> 1302031002 --> 1302031007 --> 1302030001
1302060005 : 1302060005 --> 1302060009 --> 1302060006 --> 1302060008
↳ --> 1302060002 --> 1302060007 --> 1302060001 --> 1302060003 -->
↳ 1302060004
1302020006 : 1302020006 --> 1302020015 --> 1302020011 --> 1302020009
↳ --> 1302020010 --> 1302020001 --> 1302020003 --> 1302020005 -->
↳ 1302021006 --> 1302021002 --> 1302021007 --> 1302021008 -->
↳ 1302021003 --> 1302021009 --> 1302021004 --> 1302021010 -->
↳ 1302020016 --> 1302020017
1302011008 : 1302011008 --> 1302011007 --> 1302011004 --> 1302011003
↳ --> 1302011002 --> 1302011006 --> 1302011005 --> 1302011009 -->
↳ 1302011010 --> 1302011001 --> 1302012005 --> 1302012002 -->
↳ 1302012009 --> 1302012010 --> 1302012004 --> 1302012001 -->
↳ 1302012006
1302040002 : 1302040002 --> 1302040003 --> 1302040004 --> 1302040015
↳ --> 1302040008 --> 1302040009 --> 1302040010 --> 1302040014 -->
↳ 1302040012 --> 1302040013 --> 1302040001 --> 1302040016 -->
↳ 1302040007 --> 1302040006 --> 1302040005 --> 1302050001 -->
↳ 1302050004 --> 1302050006 --> 1302050002 --> 1302050008 -->
↳ 1302050010 --> 1302050009 --> 1302050005 --> 1302050003
1302090004 : 1302090004 --> 1302090019 --> 1302090020

```

Kode IV.8: Detail rute yang dihasilkan oleh JSprit

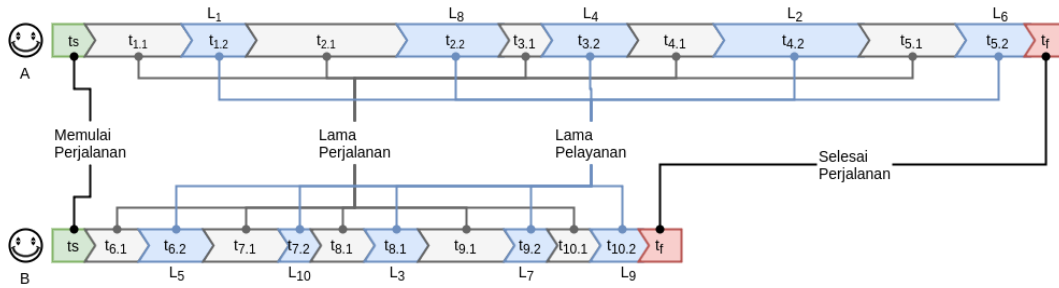
MDVRP murni kurang ideal untuk digunakan dalam penentuan rekomendasi. Hal ini terjadi karena algoritma MDVRP memproduksi solusi berupa *precalculated routes* (rute yang harus dikunjungi dari awal hingga akhir tugas pencacahan) tanpa memperhitungkan faktor lamanya waktu kunjungan pada satu lokasi pencacahan. Variabel lama waktu pencacahan hanya akan tersedia jika suatu

lokasi sudah selesai dikunjungi sehingga tidak bisa diikutsertakan dalam kalkulasi rekomendasi. Gambar. IV.3 menunjukkan ilustrasi ketidaksesuaian penggunaan algoritma MDVRP murni pada permasalahan alokasi petugas pencacahan yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Terdapat 10 lokasi pencacahan yang harus dikunjungi. Algoritma MDVRP menciptakan solusi berupa *precalculated routes* untuk petugas A dan B. Tiap-tiap petugas mendapatkan jumlah beban tugas yang sama besar, yakni 5 lokasi. Pada tahap ini, petugas A dan B sama-sama sudah mengetahui urutan lokasi yang akan mereka kunjungi dari awal hingga akhir kegiatan pencacahan.
2. Petugas pencacahan A dan B sama-sama memulai tugas pada waktu t_s (*time start*) yang digambarkan sebagai segmen berwarna hijau.
3. Petugas A dan B mengunjungi lokasi pencacahan masing-masing (lokasi i) yang memakan waktu selama t_i (segmen berwarna putih). Perlu diingat bahwa lokasi i yang dituju oleh petugas A berbeda dengan lokasi i yang dituju oleh petugas B.
4. Pada setiap lokasi i , baik petugas A maupun petugas B memerlukan waktu sebesar $t_{i,1}$ untuk menyelesaikan tugas pencacahan (segmen berwarna biru).
5. Petugas A dan B menyelesaikan tugas pada waktu t_f (*time finish*) yang digambarkan sebagai segmen berwarna merah muda.

Dari Gambar. IV.3, terlihat bahwa kalkulasi rekomendasi rute tanpa melibatkan lama pencacahan mengakibatkan t_i dan $t_{i,1}$ yang tidak setara antara petugas A dan B. Hal ini terlihat dari posisi t_f petugas A yang jauh berbeda dengan posisi t_f petugas B pada *timeline* masing-masing. Petugas A mendapatkan rute dengan rata-rata *service time* ($t_{i,1}$) yang lebih panjang sehingga t_f petugas A menjadi lebih besar dibandingkan t_f petugas B. Perbedaan yang paling signifikan terlihat pada lokasi pencacahan kedua ($i = 2$), ketika petugas A memiliki $t_{2,1}$ yang hampir 3 (tiga) kali lebih besar dari $t_{2,1}$ petugas B. Sebagai dampaknya, terjadi ketimpangan dalam total waktu penyelesaian pencacahan antar petugas. Beban tugas petugas A menjadi jauh lebih berat dibandingkan petugas B.

Untuk mengatasi masalah ini diperlukan suatu mekanisme kalkulasi rekomendasi yang tidak terikat pada lama waktu pencacahan. Mekanisme ini kemudian akan dikombinasikan dengan algoritma MDVRP sehingga menghasilkan suatu metode baru yang dapat menutupi kelemahan MDVRP sekaligus memberikan rekomendasi rute yang lebih adil kepada semua petugas pencacahan.



Gambar IV.3: Ilustrasi *Timeline* Rute yang Dikalkulasi Tanpa Melibatkan Waktu Pencacahan

IV.2 Perancangan Solusi

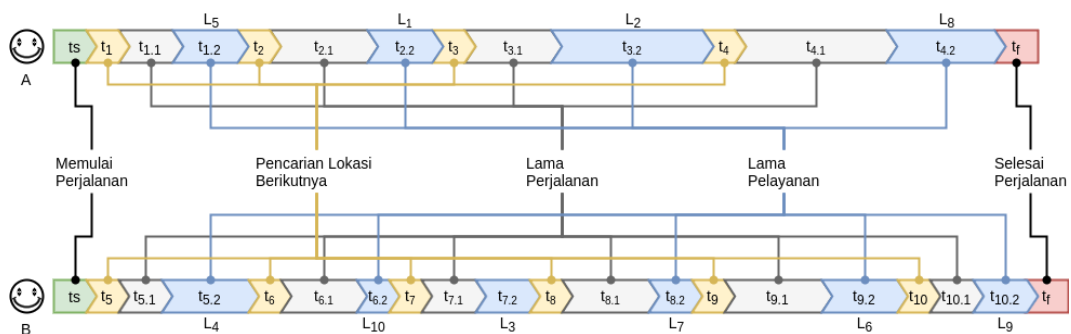
Hasil eksperimen pada Subbab. IV.1.3 menunjukkan bahwa mekanisme kalkulasi yang bebas dari ‘lama pencacahan’ diperlukan untuk menghilangkan bias dan kesenjangan rute untuk tiap-tiap petugas. Solusi yang diusulkan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan penghitungan rute secara bertahap dengan melakukan ‘hibridisasi’ antara algoritma MDVRP dengan suatu mekanisme *real time*. Idennya adalah, alih-alih menghitung rute secara lengkap diawal pencacahan, lebih baik rute dihitung secara bertahap secara *real time* dengan memanfaatkan ‘lokasi terkini’ dari petugas sebagai depot yang baru pada setiap tahapnya. Pada saat awal pencacahan, petugas hanya mengetahui lokasi pertama yang akan mereka kunjungi. Setelah menyelesaikan tugas pencacahan pada lokasi tersebut, petugas harus mengirimkan permintaan ke *server* guna mengetahui lokasi pencacahan berikutnya.

Gambar. IV.4 menggambarkan penerapan *real time* MDVRP untuk mengatasi permasalahan alokasi petugas pencacahan yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Terdapat 10 lokasi pencacahan yang harus dikunjungi. Petugas pencacahan A dan B sama-sama memulai tugas pada waktu t_s (segmen berwarna hijau). Berbeda dengan mekanisme pada Gambar.IV.3, pada tahap ini, petugas A dan B sama-sama tidak memiliki pengetahuan apapun tentang urutan lokasi yang harus mereka kunjungi.
2. Pada waktu t_1 (segmen berwarna kuning), A dan B mengirimkan permintaan ke *server* untuk mendapatkan lokasi pertama yang harus mereka kunjungi.
3. A dan B berjalan menuju lokasi pencacahan masing-masing (lokasi i) yang memerlukan waktu tempuh sebesar $t_{i,1}$ (segmen berwarna putih). Lokasi i yang dituju oleh petugas A berbeda dengan lokasi i yang dituju oleh petugas B.

4. A dan B menyelesaikan tugas pencacahan di lokasi pertama yang menghabiskan waktu sebesar $t_{i,2}$ (segmen berwarna biru).
5. Setelah menyelesaikan tugas di lokasi pertama, A dan B mengirimkan *request* ke server untuk mengetahui lokasi berikutnya yang harus dikunjungi. Server kemudian melakukan rekalkulasi rute dengan melakukan pengecekan terhadap 8 lokasi yang belum dikunjungi dan mencocokkannya dengan 'lokasi terkini' dari petugas. Lokasi pencacahan berikutnya yang merupakan lokasi terbaik jika dihitung dari 'lokasi terkini', akan dikirimkan sebagai balasan terhadap permintaan yang telah dikirimkan oleh petugas.
6. A dan B melanjutkan tugas pencacahan ke lokasi berikutnya (lokasi $i = 2$). Setiap lokasi memerlukan waktu tempuh sebesar $t_{i,1}$ dan waktu penyelesaian pencacahan (*service time*) sebesar $t_{i,2}$. Proses pada poin 2 hingga 6 akan terus berulang hingga seluruh lokasi target pencacahan selesai dikunjungi.
7. Petugas A dan B menyelesaikan tugas pada waktu t_f (segmen berwarna merah muda) yang hampir sama. Dari Gambar IV.4 terlihat bahwa jumlah lokasi yang dikunjungi oleh petugas A lebih sedikit dibandingkan petugas B. Hal ini dikarenakan petugas A memerlukan waktu yang lebih lama untuk melakukan perjalanan ke lokasi serta menyelesaikan tugas pencacahan di lokasi tersebut.

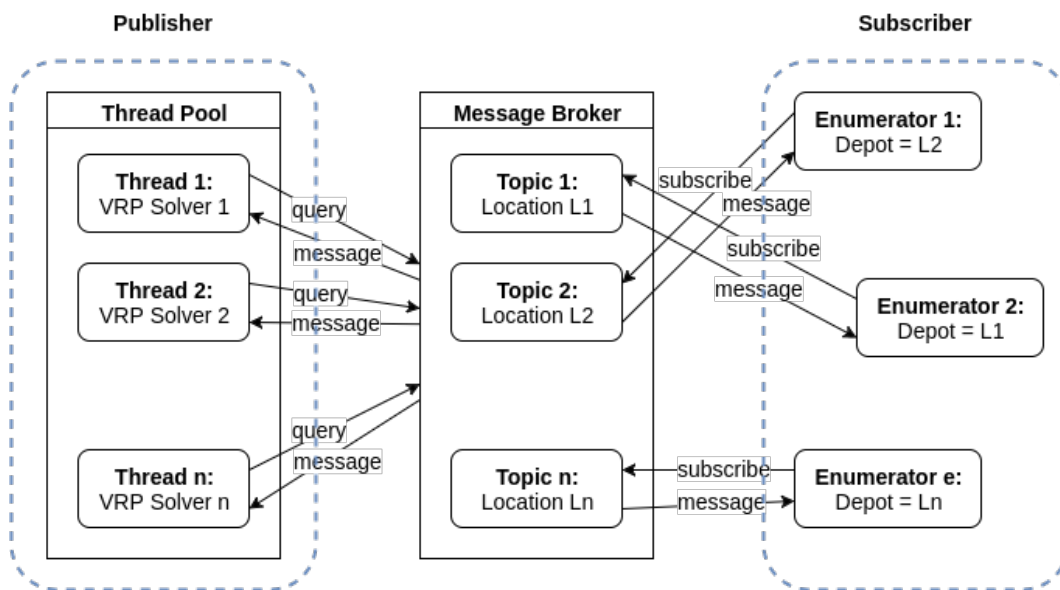
Mayoritas *real time system* diimplementasikan dengan menggunakan *Web service*. Namun, sistem kerjanya yang *synchronous* (*request* dan *reply* harus diproses secara berurutan) menyebabkan *web service* tidak cocok digunakan untuk aplikasi yang bersifat *information driven* (Mhl, 2002). Sebagai alternatif, mekanisme *publish/subscribe* dipilih karena memungkinkan terjadinya komunikasi yang *asynchronous* antara *server* (*publisher*) dan *client* (*subscriber*), yaitu komunikasi yang tetap dapat berjalan walaupun salah satu pihak sedang dalam kondisi *offline*.



Gambar IV.4: Ilustrasi *Timeline* Penerapan MDVRP Secara *Real Time*

IV.2.1 Garis Besar Sistem Usulan

Sistem usulan untuk rekomendasi lokasi pencacahan dirancang berdasarkan arsitektur *publish/subscribe* yang terdiri dari 3 (tiga) komponen utama, yaitu: *publisher* rekomendasi, petugas pencacahan yang berperan sebagai *subscriber*, dan *message broker* yang berperan sebagai penerus pesan (*message router*). Gambar.IV.5 memberikan ilustrasi komponen yang menyusun sistem rekomendasi lokasi pencacahan usulan.



Gambar IV.5: Garis Besar Sistem Usulan

Komunikasi antara *publisher* dan *subscriber* terjadi atas dasar kesamaan topik (*event*). Topik diperoleh dari konteks setiap pencacah yang dapat berupa jenis kelamin, tingkat pendidikan, umur, pengalaman, atau domisili/lokasi pencacah. Pada penelitian ini, ‘lokasi terkini’ dari pencacah dipilih sebagai topik karena bersifat unik, yaitu setiap lokasi pencacahan hanya akan dikunjungi oleh satu orang pencacah saja dan tidak akan ada lebih dari satu pencacah dengan ‘lokasi terkini’ yang sama.

IV.2.2 *Publisher* Rekomendasi

Berdasarkan konsep dasar mekanisme *publish/subscribe*, *publisher* akan mengirimkan informasi ke seluruh *subscriber* tanpa melihat apakah *subscriber* tersebut memang men-*subscribe* topik dari informasi yang bersangkutan atau tidak. Akibatnya informasi yang dikirim banyak yang tidak tepat sasaran sehingga komunikasi yang berlangsung menjadi tidak efisien. Untuk mengatasi inefisiensi

komunikasi ini, perlu dilakukan beberapa penyesuaian agar *publisher* hanya akan mengirimkan informasi kepada *subscriber* yang bersesuaian.

Pada saat seorang petugas pencacahan yang berperan sebagai *subscriber* mengirimkan permintaan ‘lokasi pencacahan yang harus dituju’ kepada *publisher*, permintaan ini tidak langsung diterima oleh *publisher*, melainkan ditampung oleh *message broker*. *Publisher* perlu mengecek *message broker* secara berkala untuk mendeteksi ada atau tidaknya *request* baru dengan menggunakan *thread TopicWatcher* yang dideskripsikan pada Algoritma IV.1 serta digambarkan dengan *flowchart* pada Gambar.IV.6.

Algoritma IV.1 TopicWatcher

Input: *None*

Output: *None*

TP = Threadpool

N = Number of locations

M = Number of enumerators

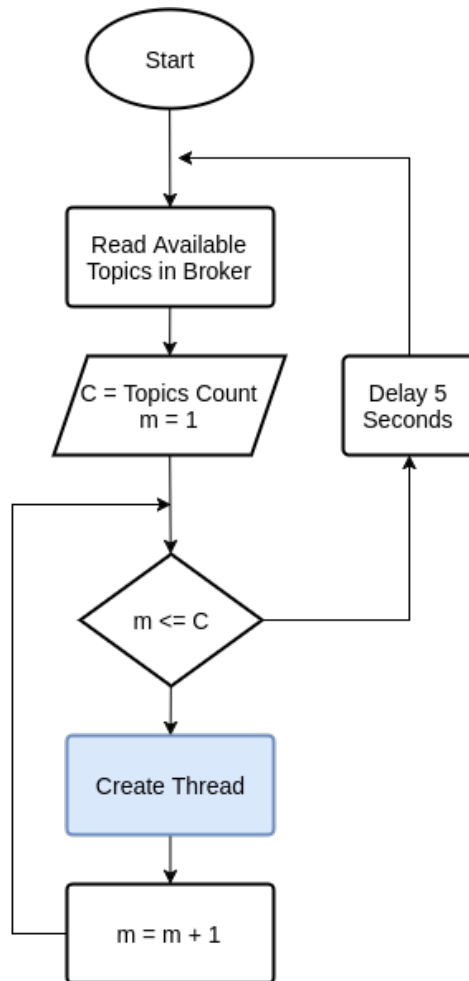
```

1: while true do
2:    $C \leftarrow readAvailableTopicFromBroker()$  // channel
3:   for  $m = 1$  to  $len(C)$  do
4:     for  $n = 1$  to  $N$  do
5:       if  $(C_m == L_n)$  then
6:          $T_n = Thread(C_m, E_1 \dots E_M, (unassigned)L_1 \dots L_N)$  // E = enumerator
7:         submitThreadToThreadpool( $T_n, TP$ )
8:       end if
9:     end for
10:  end for
11: end while

```

Untuk setiap permintaan yang diterima, *publisher* akan menyiapkan sebuah *thread* baru dengan menggunakan ‘lokasi terkini’ dari *subscriber* (petugas) sebagai ID. *Thread* ini dilengkapi dengan sebuah *VRP solver procedure* (Algoritma IV.2) yang akan melakukan pencarian solusi/rute. Seluruh *thread* dari masing-masing topik ditampung di dalam sebuah *threadpool* yang menangani *thread* berdasarkan urutan waktu kedatangan. Pada akhir proses pencacahan ketika seluruh lokasi pencacahan telah dialokasikan kepada petugas, ukuran *threadpool* ini akan sama dengan jumlah seluruh topik yang tersedia.

Thread-thread di dalam *threadpool* dieksekusi satu per satu sesuai dengan waktu kedatangan. Setiap eksekusi akan melibatkan *VRP Solver procedure* yang mengikutsertakan M *subscribers* (petugas pencacahan) dan *unassigned* N lokasi pencacahan. *VRP Solver procedure* harus mengikutsertakan seluruh *subscriber* untuk memastikan diperolehnya solusi terbaik yang bersifat global (*global best*



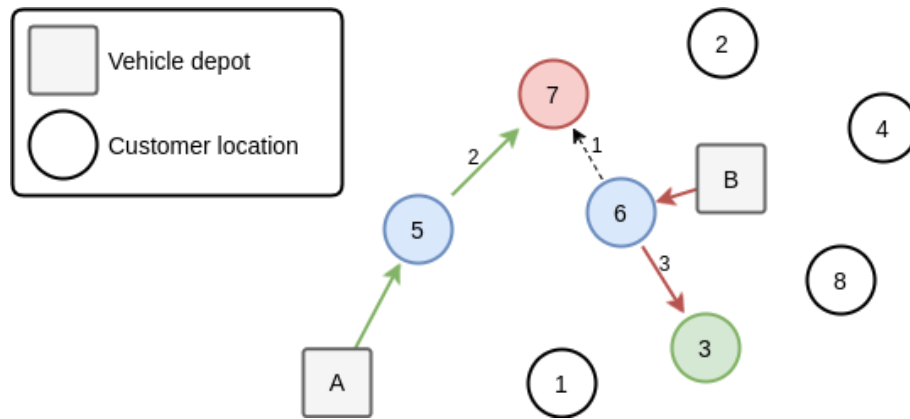
Gambar IV.6: *Flowchart Topic Watcher*

solution). Gambar. IV.7 memberikan ilustrasi tentang *Global Best Solution* dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Petugas A dan B masing-masing melakukan pencacahan pada lokasi 5 dan 6 dan 'lokasi terkini' mereka akan diperbarui.
2. Petugas B menyelesaikan pekerjaannya lebih cepat dari petugas A dan segera mengirimkan permintaan 'lokasi pencacahan berikutnya'. Sistem kemudian menghitung dan mengirimkan 'lokasi berikutnya' berdasarkan 'lokasi terkini' dari petugas B.
3. Jika kalkulasi rute hanya melibatkan 1 petugas yang bersangkutan saja, maka *VRPSolver procedure* akan merekomendasikan lokasi terdekat dari 'lokasi terkini' petugas B, yakni lokasi 7. Namun, solusi yang dibuat berdasarkan sudut pandang lokal (*local best solution*) seperti ini, dapat 'merugikan' petugas lain yang tidak ikut dalam penghitungan.

4. Sebagai gambaran, misalkan saat A selesai melakukan pencacahan dan mengirimkan permintaan ‘lokasi berikutnya’, lokasi 7 sudah tidak tersedia lagi bagi A. Rekomendasi terbaik yang bisa diberikan oleh sistem adalah lokasi 1 yang memiliki jarak yang cukup jauh dari A.
5. Rekomendasi yang lebih tepat dapat diperoleh jika kalkulasi rute mengikutsertakan seluruh pencacah. Pelibatan terhadap ‘lokasi terkini’ dari seluruh petugas akan menghasilkan solusi yang terbaik dari sudut pandang seluruh pencacah (*global best solution*), sehingga petugas B akan mendapatkan lokasi 3 dan petugas A akan mendapatkan lokasi 7.

Proses pencarian solusi akan berakhir ketika sudah tidak ada lagi lokasi pencacahan yang berstatus ‘belum teralokasi’. Adapun *VRP Solver Procedure* dijelaskan secara lebih rinci pada Subbab.IV.2.3.



Gambar IV.7: Ilustrasi *Global Best Solution*

Algoritma IV.2 *RecommendationPublisher*

Input: TP // threadpool

Output: *None*

```

1: while true do
2:    $T = \text{popFirstThreadOrWaitNewThreadFromThreadpool}()$ 
3:    $R = \text{VRPSolver}(T)$ 
4:   for  $j = 1$  to  $\text{len}(R)$  do
5:      $r = \text{publish}(C_{R_j}, R_j)$ 
6:     if  $(r > 0)$  then
7:        $\text{cancelSolver}(T_j)$ 
8:     else if  $(C_{T_i} \notin C_{R_j})$  then
9:        $T_i = \text{Thread}(C_{T_i}, V_m, (\text{unassigned})E_1 \dots E_N)$ 
10:    end if
11:  end for
12: end while

```

Jumlah rute yang dihasilkan oleh *VRPSolver* akan berkisar antara 1 (satu) hingga M rute. M merujuk pada jumlah seluruh petugas pencacahan yang diikutsertakan dalam kalkulasi rute. Setiap rute R_m ($1 \leq m \leq M$) yang dihasilkan oleh *VRPSolver* akan dikirimkan kepada petugas m yang merupakan *subscriber* topik (lokasi) C_n ($1 \leq n \leq N$). *Message broker* kemudian akan melaporkan status pengiriman informasi kepada *publisher* ('*success*' atau '*failed*'). Mekanisme kerja *publisher* rekomendasi diilustrasikan dengan menggunakan *flowchart* pada Gambar.IV.8.

Gambar.IV.9 memberikan gambaran umum tentang proses yang terjadi sejak permintaan lokasi dikirim oleh petugas hingga solusi/rute diperoleh. Petugas B mengirimkan permintaan yang diterima oleh *message broker*. *TopicWatcher* yang memantau *message broker* mengetahui keberadaan permintaan baru ini dan kemudian melaporkannya kepada *publisher*. *Publisher* kemudian menciptakan sebuah *thread* yang mengandung *VRPSolver procedure*. Saat *thread* dieksekusi, *VRPSolver procedure* akan melakukan kalkulasi solusi/rute terbaik dengan mengikutsertakan seluruh M petugas dan lokasi yang masih berstatus *unassigned*. *Thread* hanya dapat dijalankan secara berurutan berdasarkan prinsip 'satu dalam satu waktu' (*once at a time*). Sebagai konsekuensinya, ketika petugas A mengirimkan *request* baru, *thread* untuk *request* A tetap akan diciptakan, namun dibiarkan dalam status *idle*. *Thread* A harus menunggu hingga *thread* sebelumnya (*thread* B) selesai diproses.

Saat *thread* B selesai diproses, *thread* B tidak hanya menghasilkan rute untuk petugas B, tapi juga untuk sejumlah m petugas lainnya ($1 \leq m \leq M$). Rute-rute ini akan dikirimkan kepada petugas yang bersesuaian. Jika suatu rute R_m berhasil diterima oleh petugas m , maka *thread* yang berasosiasi dengan rute tersebut akan dihentikan (*terminate*). Dalam Gambar.IV.9, *thread* B menghasilkan solusi/rute untuk petugas A dan B dan kedua rute ini berhasil diterima dengan baik oleh masing-masing petugas. Dalam hal ini, *thread* A dan B dinilai tidak lagi dibutuhkan sehingga kedua *thread* tersebut akan dihentikan. Penghentian ini dilakukan untuk mencegah terjadinya penghitungan ganda terhadap rute yang sudah diterima oleh *subscriber* (petugas).

Pada praktiknya, dapat terjadi suatu kondisi ketika *VRPSolver procedure* gagal mendapatkan rute untuk petugas B. Pada kondisi demikian, *thread* B akan diproses ulang dengan hanya melibatkan 1 (satu) petugas B saja dan sejumlah lokasi yang masih berstatus *unassigned*. Ini dilakukan untuk memberikan jaminan bahwa akan selalu ada solusi/rute untuk setiap *request*.

Pada Subbab. II.5.1 dijelaskan bahwa karakteristik *loose coupling* pada

mekanisme *publish/subscribe* membuat *publisher* dan *subscriber* mampu berkomunikasi secara fleksibel, tanpa perlu mengetahui identitas masing-masing. Namun kondisi ini mengakibatkan informasi mengenai ‘lokasi terkini’ dari *subscriber* tidak dapat diperoleh. Untuk mengatasi hal ini, sistem dirancang dengan menyertakan *shared memory* yang dapat digunakan oleh *subscriber* untuk menyimpan *current location*-nya agar kemudian dapat diakses oleh *publisher*.

IV.2.3 VRP Solver

VRP Solver merupakan sebuah modul yang terdapat di dalam *thread* dan digunakan untuk melakukan kalkulasi rute yang harus dikunjungi oleh petugas. *VRP Solver* dibangun berdasarkan algoritma MDVRP seperti: *tabu search* Cordeau et al. (1997), *adaptive large neighborhood search* (Pisinger and Ropke, 2007), *fuzzy logic guided genetic algorithm* (Lau et al., 2010), *parallel iterated tabu search* (Cordeau and Maischberger, 2012), *hybrid algorithm combining iterated local search and set partitioning* (Subramanian et al., 2013), *hybrid genetic algorithm with adaptive diversity control* (Vidal et al., 2014), *hybrid granular tabu search* (Escobar et al., 2014), dan *cooperative coevolution algorithms* (CoEAs) (de Oliveira et al., 2016). Pada penelitian ini *cooperative coevolutionary algorithms* (CoEAs) dipilih karena menghasilkan rute dengan biaya total yang minimum dan waktu pemrosesan yang relatif singkat dibandingkan algoritma yang lain.

Langkah-langkah yang digunakan dalam implementasi algoritma CoEAs pada *VRPSolver* adalah sebagai berikut:

1. Definisi masalah

Masalah didefinisikan sebagai kumpulan informasi tentang sejumlah M petugas, N lokasi pencacahan, dan D *initial location/depot*. Setiap lokasi i , $i \in (D \cup N)$, dilengkapi dengan koordinat lokasi (x_i, y_i) . Setiap pasangan lokasi i dan j , $i, j \in (D \cup N)$, memiliki biaya sebesar c_{ij} yang merepresentasikan waktu yang diperlukan untuk melakukan perjalanan dari i ke j .

2. Dekomposisi masalah

Masalah yang telah didefinisikan sebelumnya akan didekomposisi (dipecah) menjadi beberapa *chunk* submasalah agar proses kalkulasi rute dapat dilakukan secara paralel.

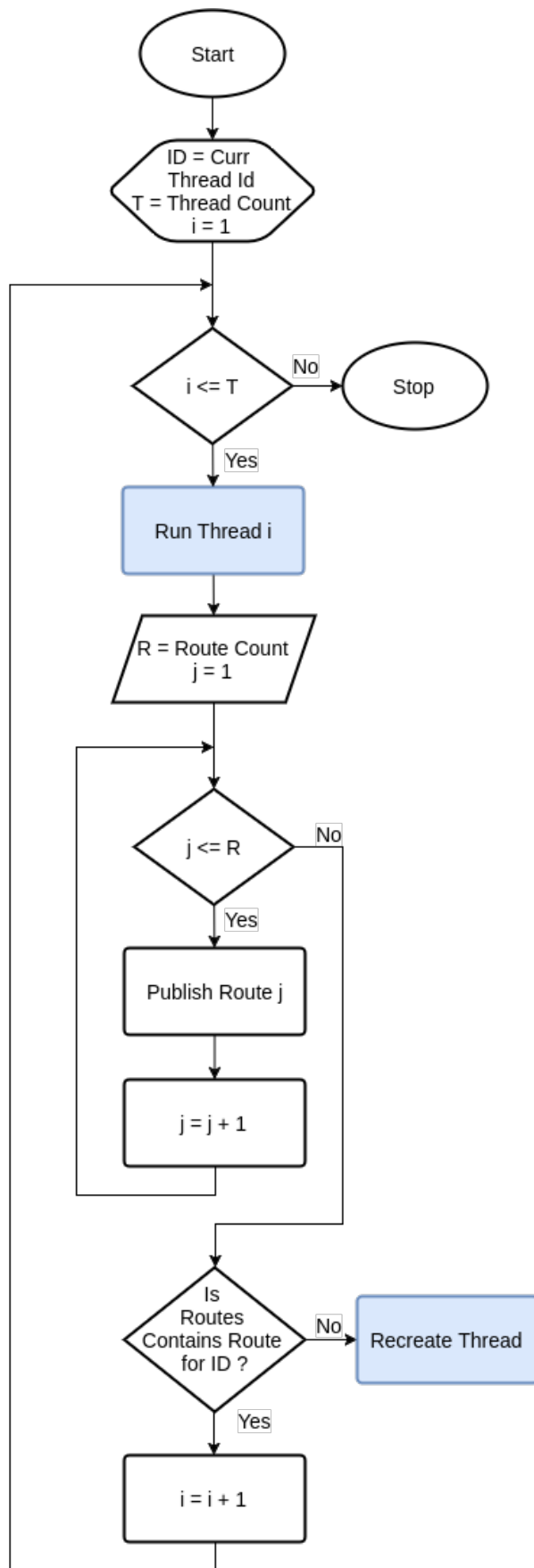
3. Evolusi

Setiap submasalah berisi kombinasi pasangan petugas dan lokasi yang akan dikunjungi (*enumerator-locations pair*). Setiap kombinasi akan mengalami

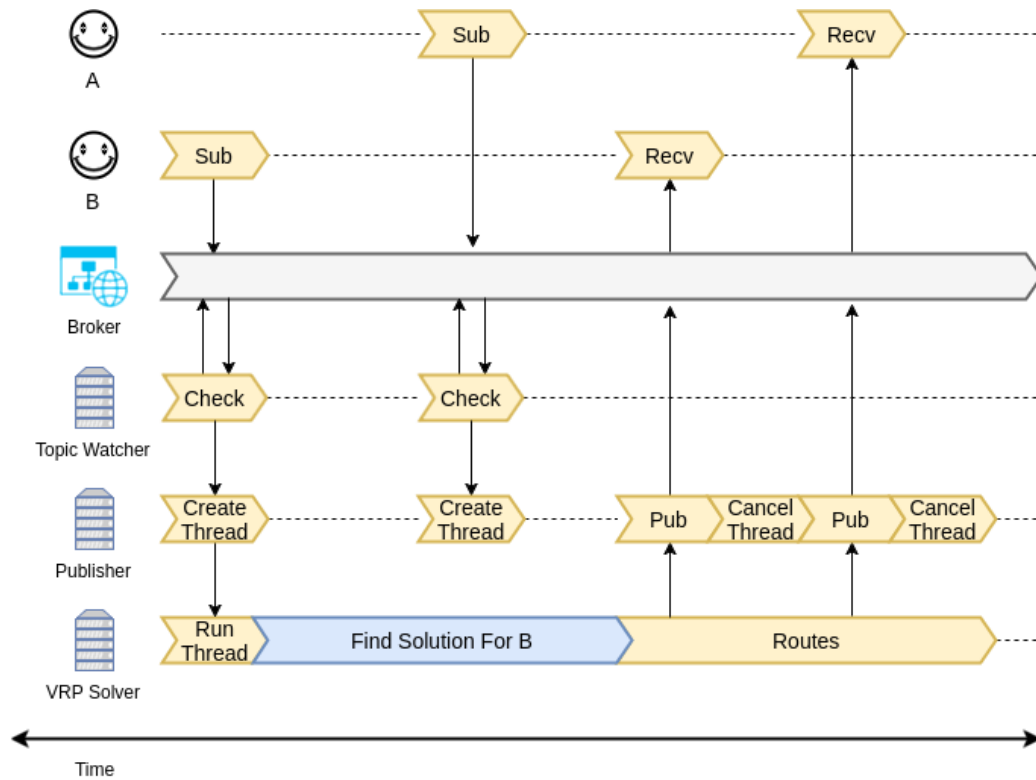
proses evolusi. Pada setiap evolusi yang terjadi, susunan formasi pasangan petugas dan lokasi mengalami perubahan untuk menemukan formasi yang lebih baik. Evolusi terjadi secara iteratif dan setiap iterasi akan menghasilkan formasi baru (*new best formation*). *New best formation* ini akan dievaluasi dengan cara membandingkannya dengan formasi terbaik yang diperoleh dari iterasi sebelumnya (*current best formation*). Jika *new best formation* lebih baik daripada *current best formation*, maka *current best formation* akan diganti dengan *new best formation*. Iterasi akan terus berlangsung sampai dengan solusi/rute yang diperoleh konvergen, yaitu ketika tidak ada lagi *new best formation* yang terbentuk. Formasi yang diperoleh pada akhir keseluruhan iterasi akan dipilih oleh *VRP Solver* sebagai solusi final.

IV.2.4 Message Broker

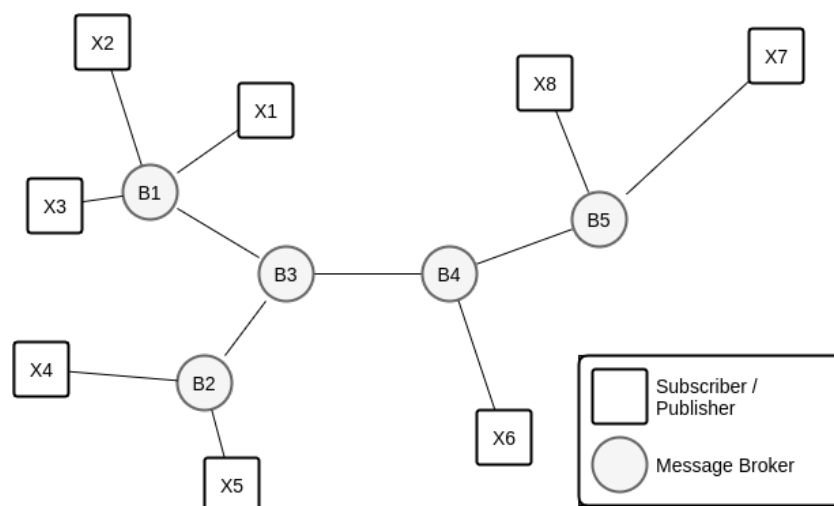
Message broker merupakan subsistem yang bertanggung jawab dalam menyalurkan (*routing*) pesan dari *publisher* ke *subscriber* dan sebaliknya sesuai dengan topik yang di-*subscribe* (Banavar et al., 1999). Suatu mekanisme *publish/subscribe* dapat memiliki *single broker* maupun *multi broker*. Pada arsitektur *single broker*, seluruh *subscriber* dan *publisher* terkoneksi pada satu *broker*, sementara pada *multi broker*, *subscriber* maupun *publisher* dapat terkoneksi pada *broker* terdekat. Arsitektur *multi broker* ini disebut juga dengan istilah *distributed publish/subscribe system* (Mhl, 2002), seperti ilustrasi pada Gambar. IV.10. Sistem yang diusulkan akan menerapkan arsitektur terdistribusi agar dapat menangani lokasi pencacahan yang tersebar secara geografis.



Gambar IV.8: Flowchart recommendation publisher



Gambar IV.9: Ilustrasi *Timeline* Proses Pencarian Solusi Berdasarkan



Gambar IV.10: Ilustrasi *Publish-Subscribe* terdistribusi

BAB 5

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

V.1 Implementasi

Algoritma yang dirancang pada Subbab. IV.2 diimplementasikan dengan menggunakan beberapa bahasa pemrograman yang kemudian dikombinasikan dengan aplikasi pihak ketiga untuk menghasilkan sebuah prototipe. Subbab ini akan berisi penjabaran lengkap tentang implementasi sistem.

V.1.1 VRP Solver

VRP Solver yang telah dirancang pada Subbab. IV.2.3 diimplementasikan dalam bahasa pemrograman C++. C++ dipilih karena memiliki manajemen *resources* (*processor* dan *memory*) yang lebih efisien dibandingkan bahasa pemrograman lainnya, sehingga dinilai tepat untuk menangani permasalahan kombinatorial VRP yang membutuhkan komputasi yang intensif.

Source code VRP Solver tersedia dan dapat diunduh pada tautan: <https://github.com/soedomoto/coes-mdvrp/tree/jni-coes-mdvrp>. *VRP Solver* diimplementasikan dan dikompilasi di dalam lingkungan berikut:

- Sistem Operasi : Elementary OS Loki (Basis Ubuntu 16.04)
- C++ Compiler : c++ (Ubuntu 5.4.0-6ubuntu1 16.04.4) 5.4.0 20160609
- Hardware : Asus TP300L, Quad-Core Intel Core i3-4030U CPU @ 1.90GHz, 3,7 GiB DDRIII, 256GB SSD

V.1.2 Publisher Rekomendasi

Publisher rekomendasi yang tersusun atas Algoritma IV.1 dan Algoritma IV.2 diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Python. Python merupakan *interpreter language* dengan struktur *syntax* yang simpel sehingga mudah untuk digunakan dalam penyusunan prototipe. Lingkungan yang digunakan dalam implementasi *publisher* rekomendasi adalah sebagai berikut:

- Sistem Operasi : Elementary OS Loki (Basis Ubuntu 16.04)

- Python version : Python 2.7.12
- Hardware : Asus TP300L, Quad-Core Intel Core i3-4030U CPU @ 1.90GHz, 3,7 GiB DDRIII, 256GB SSD

Source code dari *publisher* rekomendasi dapat diunduh di: <https://github.com/soedomoto/coes-mdvrp/tree/py-mdvrp-producer-redis>

V.2 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat ketercapaian tujuan penelitian ini yang meliputi:

- Perancangan algoritma *publisher* yang dapat memberikan rekomendasi terbaik secara global.
- Penyusunan mekanisme *conflict resolution* untuk menghindari terjadinya rekomendasi lokasi yang sama pada dua atau lebih pencacah.

Akurasi algoritma diukur dengan cara membandingkan hasil pengujian sistem usulan dengan hasil pengujian algoritma MDVRP berbasis CoEAs tanpa mekanisme *publish/subscribe*.

V.2.1 Lingkungan Pengujian

Pengujian sistem rekomendasi lokasi dilakukan di dalam lingkungan sebagai berikut:

- Sistem Operasi : Elementary OS Loki (Basis Ubuntu 16.04)
- Redis Environment : Redis 3.2.6, Debian Jessie (Docker version)
- Python version : Python 2.7.12
- Hardware : Asus TP300L, Quad-Core Intel Core i3-4030U CPU @ 1.90GHz, 3,7 GiB DDRIII, 256GB SSD

V.2.2 Dataset dan Metric

V.2.2.1 Dataset

Berbagai variasi data digunakan untuk memastikan validitas pengujian. Pengujian terkait *Vehicle Routing Problem* umumnya dilakukan dengan memanfaatkan data

Breedam, Cordeau, Solomon, Homberger, dan Russell. Data Cordeau mengandung 8 (delapan) tipe VRP *problem*, sebagai berikut:

1. Tipe 0 untuk kasus VRP
2. Tipe 1 untuk kasus Periodic VRP
3. Tipe 2 untuk kasus Multi-Depot VRP
4. Tipe 3 untuk kasus Split Delivery VRP
5. Tipe 4 untuk kasus VRP dengan Time Windows
6. Tipe 5 untuk kasus Periodic VRP dengan Time Windows
7. Tipe 6 untuk kasus Multi-Depot VRP dengan Time Windows
8. Tipe 7 untuk kasus Split Delivery VRP dengan Time Windows

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan dataset Cordeau tipe 2 (Multi-Depot VRP), dengan struktur format sebagai berikut:

1. Baris pertama berformat **TYPE M N T**, dengan:
M = Jumlah kendaraan
N = Jumlah pelanggan
T = Jumlah *depot*
2. Baris kedua sampai T baris berikutnya berformat **D Q**, dengan:
D = Durasi maksimum dari setiap rute
Q = Kapasitas maksimum dari setiap kendaraan
3. Baris selanjutnya sampai M baris berikutnya berformat **i x y d q f a list e l**, dengan:
i = nomer pelanggan
x = koordinat x
y = koordinat y
d = durasi pelayanan (*service time*)
q = *demand*
f = frekuensi kunjungan
a = jumlah kombinasi kunjungan
list = list dari semua kombinasi kunjungan
e = jika ada, waktu dimulainya kunjungan
l = jika ada, waktu selesainya kunjungan

4. Baris selanjutnya sampai M baris berikutnya berformat **i x y**, dengan:

i = nomer kendaraan

x = koordinat depot x

y = koordinat depot y

Untuk menyimulasikan kondisi lapangan yang sebenarnya, sistem juga diuji dengan menggunakan data lapangan wilayah administratif di Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat. Data lapangan digunakan untuk merepresentasikan kondisi pencacahan yang sebenarnya, dengan antar lokasi terdapat *cost* yang berupa jarak dan waktu tempuh.

Data lapangan yang digunakan meliputi:

- data 182 lokasi pencacahan beserta posisi koordinatnya yang dianalogikan sebagai pelanggan ($N = 182$).
- data 15 petugas pencacahan yang dianalogikan sebagai kendaraan ($M = 15$) beserta koordinat *initial depot* tiap-tiap pencacah.

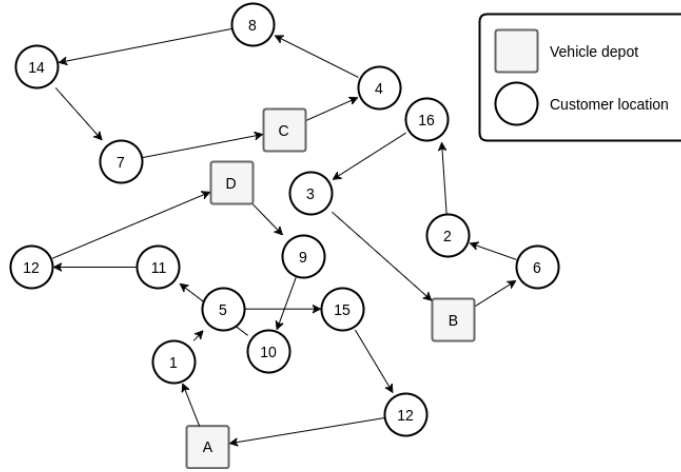
Untuk setiap kombinasi lokasi pencacahan dan *initial depot* dari petugas, dilakukan penghitungan waktu tempuhnya dengan memanfaatkan *Google Direction API*, sebagaimana dijelaskan pada Subbab.IV.1.1.3.

V.2.2.2 Metric

Sistem usulan yang menggunakan algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme *publish/subscribe* akan dibandingkan dengan program pembanding yang menggunakan algoritma yang sama, namun tanpa mekanisme *publish/subscribe*. Tiap-tiap pengujian akan menghasilkan output berupa rute untuk setiap petugas pencacahan seperti contoh berikut:

- *Vehicle A* = Loc1 → Loc5 → Loc15 → Loc12
- *Vehicle B* = Loc 6 → Loc2 → Loc16 → Loc3
- *Vehicle C* = Loc4 → Loc8 → Loc14 → Loc 7
- *Vehicle D* = Loc9 → Loc10 → Loc11 → Loc12

Biaya total untuk tiap-tiap rute kemudian dihitung dengan melakukan penjumlahan seluruh waktu tempuh dan waktu pelayanan (*service time*) dari lokasi yang dikunjungi. Pada contoh Gambar.V.1, biaya total dari setiap kendaraan adalah:



Gambar V.1: Ilustrasi Rute yang Dihasilkan

- $TC_A = C_{A-1} + ST_5 + C_{1-5} + ST_5 + C_{5-15} + ST_{15} + C_{15-12} + ST_{12} + C_{12-A}$
- $TC_B = C_{B-6} + ST_6 + C_{6-2} + ST_2 + C_{2-16} + ST_{16} + C_{16-3} + ST_3 + C_{3-B}$
- $TC_C = C_{C-4} + ST_4 + C_{4-8} + ST_8 + C_{8-14} + ST_{14} + C_{14-7} + ST_7 + C_{7-C}$
- $TC_D = C_{D-9} + ST_9 + C_{9-10} + ST_{10} + C_{10-11} + ST_{11} + C_{11-12} + ST_{12} + C_{12-D}$

dengan TC adalah *total cost*, C adalah *transport cost* yang merupakan waktu tempuh, dan ST adalah *service time*. Seluruh biaya direpresentasikan dalam satuan waktu.

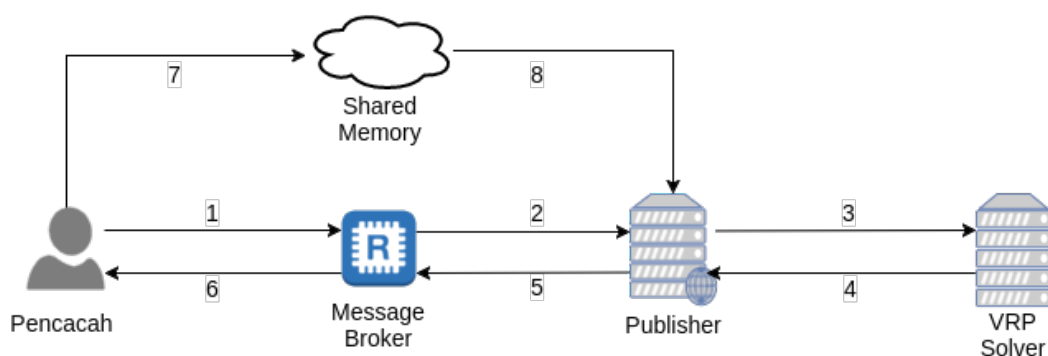
Setelah waktu total dari tiap-tiap rute diperoleh, kemudian waktu total untuk keseluruhan rute dan standar deviasi waktu total dari keseluruhan rute dapat dikalkulasi. **Metric** yang digunakan untuk mengukur perbandingan antar pengujian adalah standar deviasi waktu total dari seluruh rute yang dihasilkan oleh sistem usulan maupun sistem pembandingan. Standar deviasi dipilih sebagai *metric* karena lebih merepresentasikan kondisi pencacahan yang sebenarnya. Semakin kecil variasi waktu antar petugas, semakin merata beban tugas antar petugas yang berimbas pada waktu penyelesaian pencacahan secara keseluruhan akan lebih cepat. Sistem yang lebih baik akan menghasilkan standar deviasi yang lebih kecil.

V.2.3 Skenario dan Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario untuk memastikan bahwa program dapat bekerja dengan baik pada kondisi yang berbeda-beda. Skenario yang digunakan dalam pengujian dan hasilnya akan dijabarkan secara lebih detail pada Subbab.V.2.3.4 hingga Subbab.V.2.3.6.

Komponen yang terlibat dalam pengujian terdiri dari pencacah, *message broker*, *publisher* rekomendasi, *vrp solver*, dan *shared memory*. *Setup* dari tiap-tiap komponen dijelaskan pada Subbab.V.2.3.1 sampai Subbab.V.2.3.3. Interaksi yang terjadi antar komponen, seperti digambarkan Gambar.V.2, adalah sebagai berikut:

1. Pencacah melakukan *subscription* dengan menggunakan 'lokasi terkini' sebagai topik.
2. Publisher (*topic watcher*) memantau setiap topik yang di-*subscribe*.
3. VRP Solver melakukan kalkulasi rute untuk mendapatkan rute terbaik.
4. Rute yang diperoleh dikembalikan ke *publisher* untuk dipilah menurut topiknya.
5. *Publisher* mem-*publish* rute kepada pencacah yang melakukan *subscription* melalui *message broker*.
6. Pesan dari *publisher* diteruskan kepada pencacah sesuai dengan topiknya.
7. Pada saat pencacah sampai pada lokasi pencacahan, maka lokasi terkini dari setiap pencacah disimpan ke *shared memory*.
8. *Shared memory* yang tersimpan akan digunakan oleh *publisher* dalam mendefinisikan masalah yang akan diselesaikan, yang terdiri dari definisi pencacah, lokasi pencacahan, dan jarak antar lokasi.



Gambar V.2: Interaksi antar komponen dalam pengujian

V.2.3.1 *Message Broker Setup*

Seluruh skenario dalam pengujian ini akan menggunakan Redis sebagai *message broker*. Redis merupakan *in-memory data structure store* yang dapat digunakan sebagai *database*, *cache*, dan *message broker* (redis, 2017b). Redis mempunyai *feature* Redis Cluster, sehingga dapat dengan mudah disusun menjadi *distributed message broker*. Selain itu, Redis *client* tersedia dalam sebagian besar bahasa pemrograman (redis, 2017a), sehingga memungkinkan pemilihan bahasa pemrograman dalam implementasi sistem secara lebih fleksibel.

Pada penelitian ini, Redis Cluster dikonfigurasi dengan menggunakan 6 (enam) buah *nodes*, 3 (tiga) node digunakan sebagai *master* dan sisanya sebagai *slave*. Konfigurasi Redis Cluster pada setiap node diilustrasikan pada Kode V.1. Dalam konteks Redis, master dapat dianggap sebagai partisi, dan slave dianggap sebagai replikasi dari master. Seluruh node, baik master maupun slave dapat digunakan sebagai *entrypoint* bagi *client*.

```
cluster-enabled yes
cluster-node-timeout 5000
cluster-config-file nodes.conf
appendonly yes
dir /data
```

Kode V.1: Konfigurasi Redis Cluster

Nodes Redis yang telah dikonfigurasi dan dijalankan, dapat digunakan untuk membuat cluster dengan memanfaatkan *script* **redis-trib.rb** yang telah disediakan oleh Redis. *Command* yang digunakan dalam pembuatan cluster serta *response* yang diperoleh diilustrasikan pada Kode V.2 dan V.3. Gambar. V.3a menyajikan *flowchart* subsistem *message broker setup*.

```
/redis-trib.rb create --replicas 1 172.17.0.3 172.17.0.4 172.17.0.5
↪ 172.17.0.6 172.17.0.7 172.17.0.8
```

Kode V.2: Pembuatan Redis Cluster

V.2.3.2 *Publisher Setup*

Publisher dikonfigurasi dan dijalankan pada lingkungan yang telah didefinisikan pada Subbab. V.2.1, sesuai dengan alur yang digambarkan pada Gambar. V.3b. Format penggunaan Publisher diilustrasikan pada V.4.


```

Creating cluster
Performing hash slots allocation on 6 nodes...
Using 3 masters:
172.17.0.3:6379
172.17.0.4:6379
172.17.0.5:6379
Adding replica 172.17.0.6:6379 to 172.17.0.3:6379
Adding replica 172.17.0.7:6379 to 172.17.0.4:6379
Adding replica 172.17.0.8:6379 to 172.17.0.5:6379
M: 2f0c681921fe52900a6774fb2cc808a8c4e69216 172.17.0.3:6379
slots:0-5460 (5461 slots) master
M: 41a343142847138301ceeb710206284a50bb44a0 172.17.0.4:6379
slots:5461-10922 (5462 slots) master
M: 88ae20b9e75dd5aa58973f13aa89479f52cedfd3 172.17.0.5:6379
slots:10923-16383 (5461 slots) master
S: c5f6764d82ed10793c0c81e54830b4f68bleacd7 172.17.0.6:6379
replicates 2f0c681921fe52900a6774fb2cc808a8c4e69216
S: 5906f61963d4a5a45478736d976b79db4280b3c7 172.17.0.7:6379
replicates 41a343142847138301ceeb710206284a50bb44a0
S: 635ed817b134b5d14bffd61fe9089867037fee8c 172.17.0.8:6379
replicates 88ae20b9e75dd5aa58973f13aa89479f52cedfd3
Can I set the above configuration? (type ☐yes☐ to accept): yes
Nodes configuration updated
Assign a different config epoch to each node
Sending CLUSTER MEET messages to join the cluster
Waiting for the cluster to join...
Performing Cluster Check (using node 172.17.0.3:6379)
M: 2f0c681921fe52900a6774fb2cc808a8c4e69216 172.17.0.3:6379
slots:0-5460 (5461 slots) master
1 additional replica(s)
M: 88ae20b9e75dd5aa58973f13aa89479f52cedfd3 172.17.0.5:6379
slots:10923-16383 (5461 slots) master
1 additional replica(s)
S: c5f6764d82ed10793c0c81e54830b4f68bleacd7 172.17.0.6:6379
slots: (0 slots) slave
replicates 2f0c681921fe52900a6774fb2cc808a8c4e69216
M: 41a343142847138301ceeb710206284a50bb44a0 172.17.0.4:6379
slots:5461-10922 (5462 slots) master
1 additional replica(s)
S: 635ed817b134b5d14bffd61fe9089867037fee8c 172.17.0.8:6379
slots: (0 slots) slave
replicates 88ae20b9e75dd5aa58973f13aa89479f52cedfd3
S: 5906f61963d4a5a45478736d976b79db4280b3c7 172.17.0.7:6379
slots: (0 slots) slave
replicates 41a343142847138301ceeb710206284a50bb44a0
[OK] All nodes agree about slots configuration.
Check for open slots...
Check slots coverage...
[OK] All 16384 slots covered.

```

Kode V.3: Respon Pembuatan Redis Cluster

V.2.3.3 *Subscriber Setup*

Pengujian memerlukan sebuah program tambahan yang berperan sebagai pencacah/*subscriber*. Alur kerja dari tiap-tiap *subscriber* (Gambar. V.3c) adalah sebagai berikut:

1. Lakukan *subscription* (pengiriman *request*) pada *message broker* dengan topik *current location* dari *subscriber*.

```

Usage: mdvrp-redis-producer [options]

Run location recommendation server

Options:
-h, --help            show this help message and exit
-b BIN, --coes-bin=BIN
                      Binary of CoES MDVRP library
-D D, --data=D        Data problem file
-C C, --cost-file=C    Cost matrix file
-O O, --output-dir=O   Output directory
-t, --use-timestamp    Append timestamp to output directory
-B B, --broker-url=B   Redis broker URL
-X X, --solver-execution-time=X
                      VRP Solver execution time

```

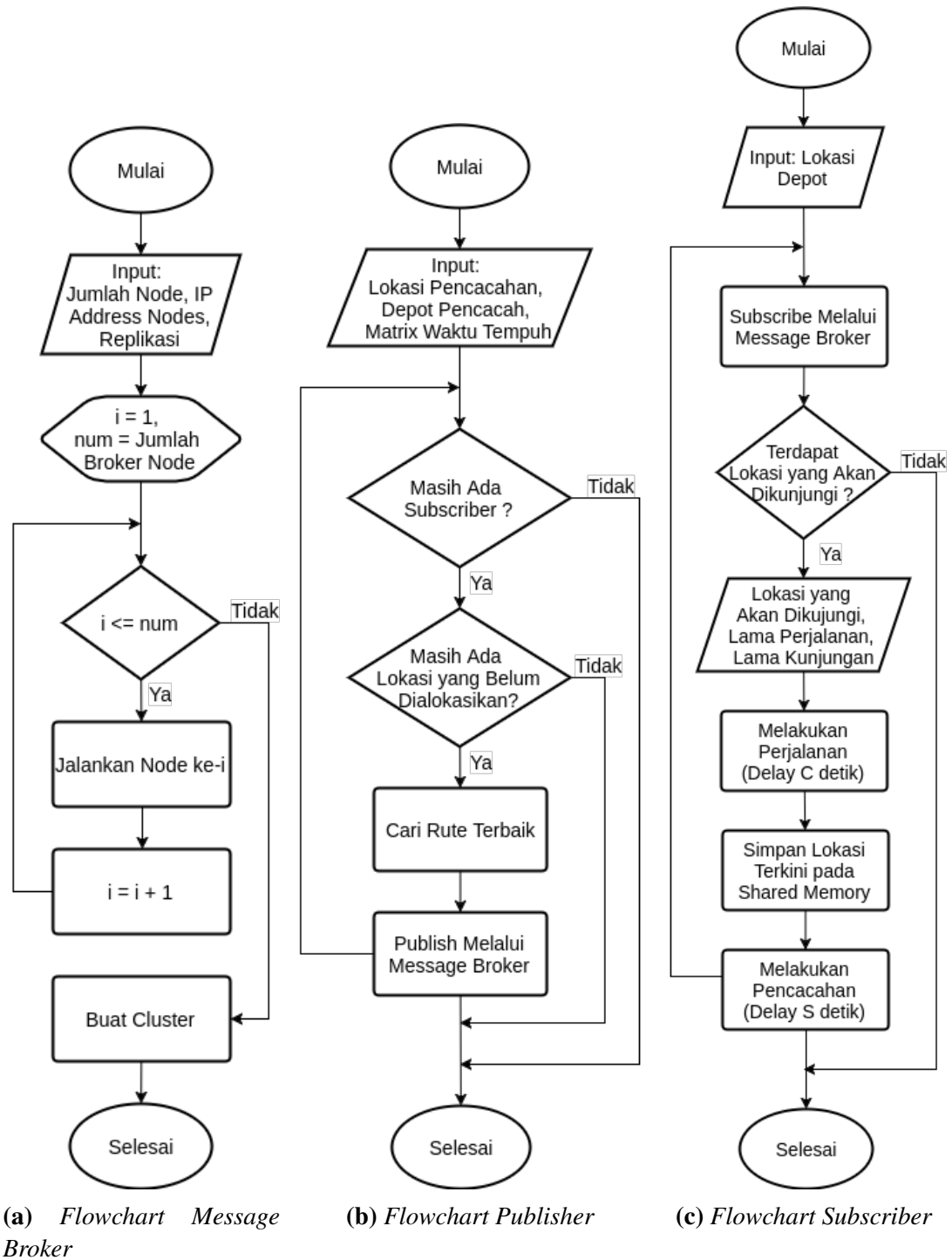
Kode V.4: Format penggunaan Publisher

2. Sebuat *reply* akan diterima dari *publisher* yang dikirim melalui *message broker* berupa lokasi pencacahan berikutnya yang akan dikunjungi.
3. Lakukan perjalanan ke lokasi yang akan dikunjungi yang disimulasikan dengan '*sleep*'
4. Setelah tiba di lokasi, simpan *current location* pada *shared memory*
5. Lakukan pencacahan yang disimulasikan dengan *sleep*,
6. Ulangi proses dari langkah pertama.

V.2.3.4 Pengujian Kondisi Normal dengan *Service Time* pada Data Cordeau

Skenario pengujian kondisi normal dimaksudkan untuk membandingkan sistem yang dijalankan pada kondisi normal dan tidak ada sesuatupun yang menyebabkan penundaaan. Pengujian kondisi ini dilakukan untuk tiap-tiap *instance* Cordeau. *Instance* Cordeau dianggap dapat digunakan dengan beberapa penyesuaian istilah, yaitu pelanggan dianalogikan dengan wilayah kerja dan kendaraan dianalogikan dengan pencacah. *Instance* Cordeau yang digunakan dalam pengujian adalah *instance* P01 sampai P07, karena masing-masing *instance* mewakili kondisi acak, baik dari segi jumlah pelanggan, jumlah kendaraan, serta koordinat pelanggan dan depot kendaraan.

Instance Cordeau tipe 2 tidak menyertakan lama waktu pencacahan pada tiap-tiap pelanggan. Agar mencerminkan kondisi pencacahan yang sebenarnya, data lama waktu pencacahan akan dibuat secara acak dengan mengikuti komposisi dari (Sudman, 1965), yaitu:



Gambar V.3: *Flowchart* Subsistem pada Pengujian

1. 21 persen dari total waktu digunakan untuk perpindahan antar wilayah kerja,
2. 15 persen dari total waktu digunakan untuk perpindahan antar rumah tangga dalam wilayah kerja,
3. 37 persen dari total waktu digunakan untuk wawancara seluruh rumah tangga,

dan

4. 27 persen untuk hal-hal yang lain, seperti pengenalan wilayah dan perbaikan data.

Lama waktu pencacahan merupakan gabungan dari keseluruhan waktu perpindahan antar rumah tangga dan waktu wawancara. Meskipun komposisi waktu (Sudman, 1965) dinilai tidak relevan lagi, tetapi dari segi komponen yang menyusun waktu pencacahan dinilai masih cukup relevan. Dengan demikian, komposisi dari tiap-tiap *instance* Cordeau yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Instance P01 terdiri dari 50 pelanggan dan 5 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.
2. Instance P02 terdiri dari 50 pelanggan dan 4 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.
3. Instance P03 terdiri dari 75 pelanggan dan 5 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.
4. Instance P04 terdiri dari 100 pelanggan dan 2 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.
5. Instance P05 terdiri dari 100 pelanggan dan 2 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.
6. Instance P06 terdiri dari 100 pelanggan dan 3 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.
7. Instance P07 terdiri dari 100 pelanggan dan 4 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 12.13 menit.

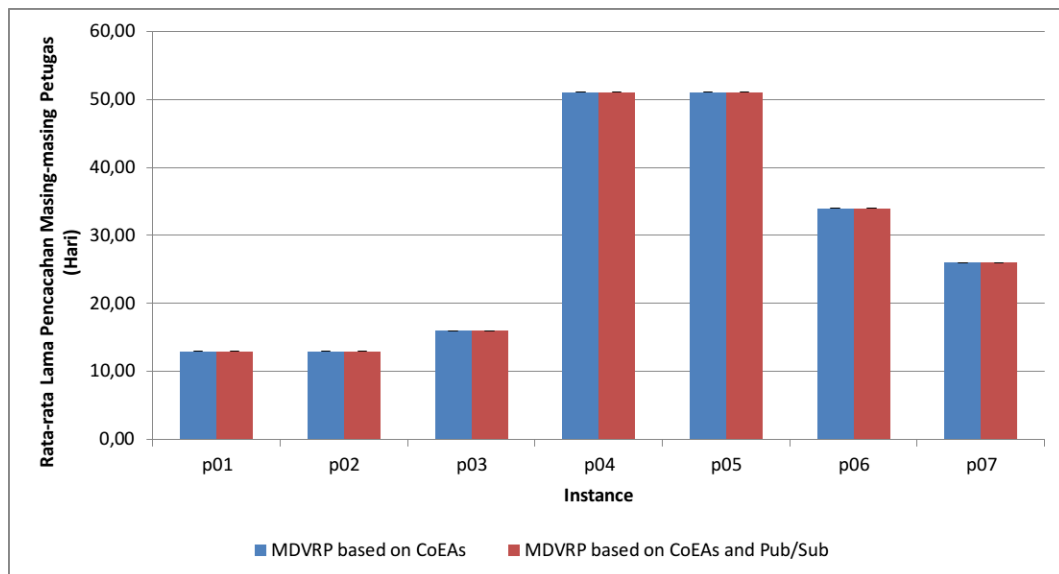
Setiap *instance* data diuji sebanyak 100 (seratus) kali untuk membuktikan bahwa hasil yang diperoleh konsisten. Pada tiap-tiap pengujian akan diperoleh rute untuk setiap petugas pencacahan seperti contoh berikut:

- *Vehicle* A = Loc1 → Loc5 → Loc15 → Loc12
- *Vehicle* B = Loc 6 → Loc2 → Loc16 → Loc3
- *Vehicle* C = Loc4 → Loc8 → Loc14 → Loc 7
- *Vehicle* D = Loc9 → Loc10 → Loc11 → Loc12

Waktu total untuk tiap-tiap rute dihitung dengan melakukan penjumlahan waktu tempuh dan waktu pencacahan dari seluruh lokasi yang dikunjungi pada rute tersebut. Selain itu, standar deviasi dari waktu total untuk tiap-tiap rute juga dihitung untuk menggambarkan kesenjangan waktu penyelesaian pencacahan.

Tabel 1: Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau

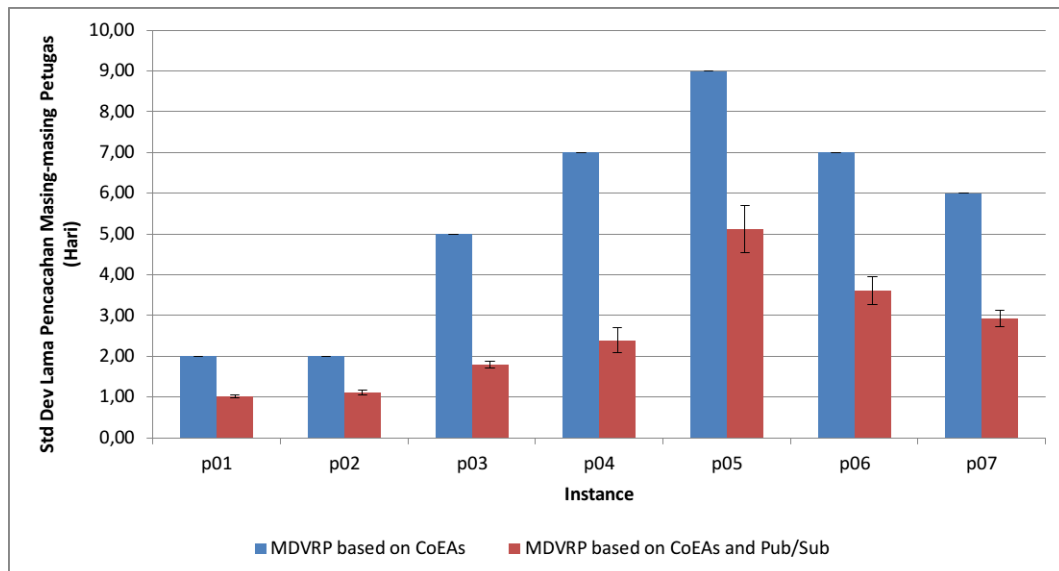
<i>Instance</i>	MDVRP berbasis CoEAs		MDVRP berbasis CoEAs dan Pub/Sub	
	Rata-rata	Std. Error	Rata-rata	Std. Error
d01	13	0	13	0,05
d02	13	0	13	0,05
d03	16	0	16	0,00
d04	51	0	51	0,05
d05	51	0	51	0,00
d06	34	0	34	0,00
d07	36	0	36	0,00



Gambar V.4: Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau

Tabel 2: Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau

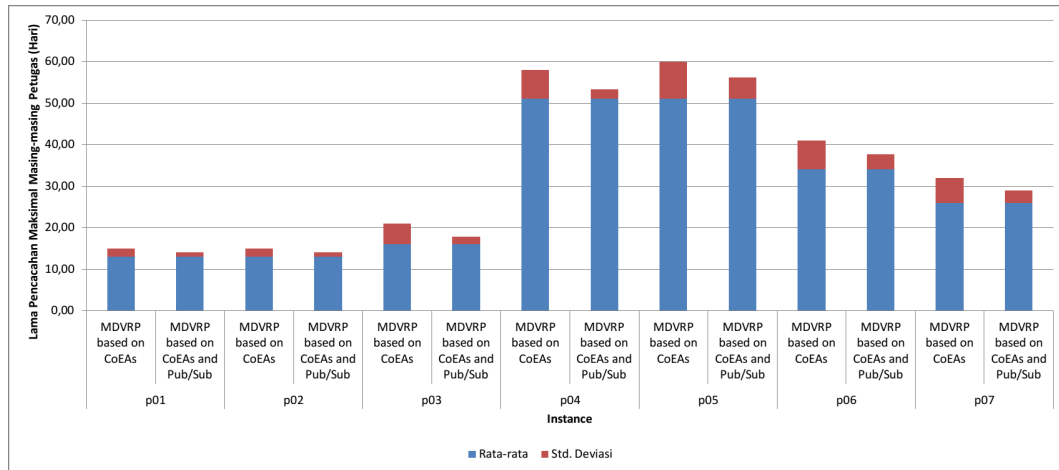
<i>Instance</i>	MDVRP berbasis CoEAs		MDVRP berbasis CoEAs dan Pub/Sub	
	Std. Deviasi	Std. Error	Std. Deviasi	Std. Error
d01	2	0	1,02	0,04
d02	2	0	1,11	0,05
d03	5	0	1,80	0,09
d04	7	0	2,39	0,30
d05	9	0	5,13	0,58
d06	7	0	3,62	0,34
d07	6	0	2,93	0,20



Gambar V.5: Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 7 (tujuh) buah *instance* yang tiap-tiap *instance* dijalankan sebanyak 100 kali, diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan sistem usulan maupun program pembanding menghasilkan rata-rata yang sama untuk jumlah hari pencacahan setiap pencacah, seperti digambarkan pada Gambar. V.4. Akan tetapi, dari segi variasi hari pencacahan untuk setiap petugas, diperoleh hasil bahwa sistem usulan menghasilkan standar deviasi yang lebih rendah untuk seluruh instance dibandingkan dengan program pembanding, seperti digambarkan pada Gambar. V.5. Hal ini menunjukkan bahwa sistem usulan, yaitu MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme *publish/subscribe*, lebih efisien jika

dibandingkan dengan program pembanding, yaitu MDVRP berbasis CoEAs dan mekansime *publish/subscribe*, karena menghasilkan rute dengan beban tugas yang lebih merata. Hal ini berdampak positif kepada total waktu seluruh kegiatan yang dengan sistem usulan menjadi lebih pendek dibandingkan sistem pembanding, seperti digambarkan pada Gambar.V.6.



Gambar V.6: Maksimum Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Cordeau

V.2.3.5 Pengujian Kondisi Normal dengan *Service Time* pada Data Lapangan

Skenario pengujian kondisi ini memiliki tujuan yang sama dengan pengujian dengan *instance* Cordeau pada Subbab.V.2.3.4, tetapi data lokasi yang digunakan adalah lokasi yang sebenarnya. Perbedaan lainnya adalah pada pengujian ini koordinat lokasi yang digunakan pada tiap-tiap instance sama, tetapi lama wawancara yang digunakan berbeda-beda. Sementara itu, data lama waktu pencacahan juga akan dibuat secara acak dengan mengikuti komposisi dari (Sudman, 1965). Dengan demikian, data lapangan yang digunakan memiliki komposisi sebagai berikut:

1. *Instance* TW1 terdiri dari 182 pelanggan dan 15 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.58 menit dengan standar deviasi 4,13 menit.
2. *Instance* TW2 terdiri dari 182 pelanggan dan 15 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 71.58 menit dengan standar deviasi 12.16 menit.
3. *Instance* TW3 terdiri dari 182 pelanggan dan 15 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 27.35 menit dengan standar deviasi 25.34 menit.

4. *Instance* TW4 terdiri dari 182 pelanggan dan 15 kendaraan, lama wawancara pada tiap-tiap rumah tangga 71.58 menit dengan standar deviasi 56.87 menit.

Setiap *instance* data diuji sebanyak 100 (seratus) kali untuk membuktikan bahwa hasil yang diperoleh konsisten. Pada tiap-tiap pengujian akan diperoleh rute untuk setiap petugas pencacahan seperti contoh berikut:

- *Vehicle* A = Loc1 → Loc5 → Loc15 → Loc12
- *Vehicle* B = Loc 6 → Loc2 → Loc16 → Loc3
- *Vehicle* C = Loc4 → Loc8 → Loc14 → Loc 7
- *Vehicle* D = Loc9 → Loc10 → Loc11 → Loc12

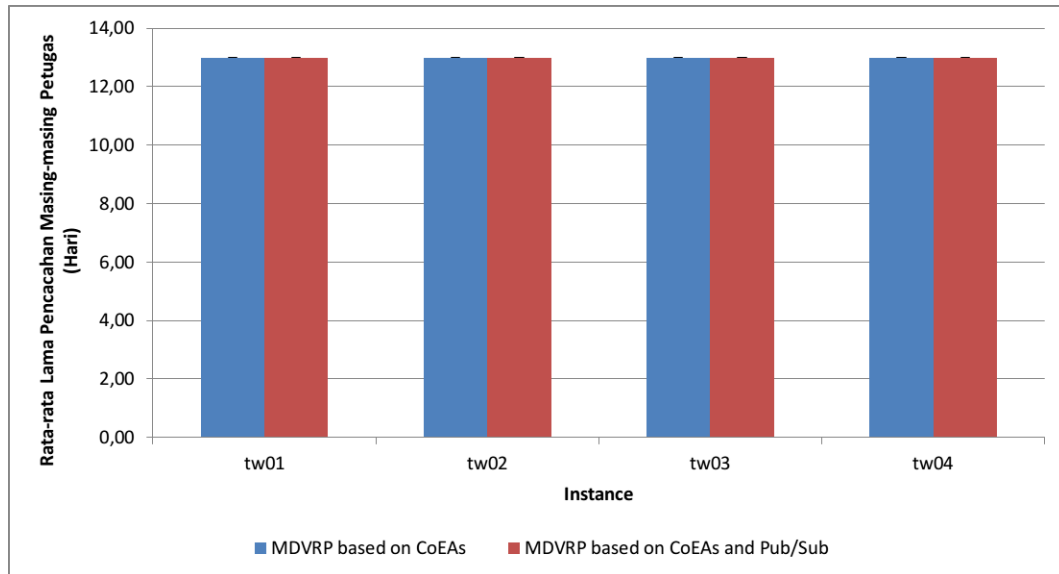
Waktu total untuk tiap-tiap rute dihitung dengan melakukan penjumlahan waktu tempuh dan waktu pencacahan dari seluruh lokasi yang dikunjungi pada rute tersebut. Selain itu, standar deviasi dari waktu total untuk tiap-tiap rute juga dihitung untuk menggambarkan kesenjangan waktu penyelesaian pencacahan

Tabel 3: Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

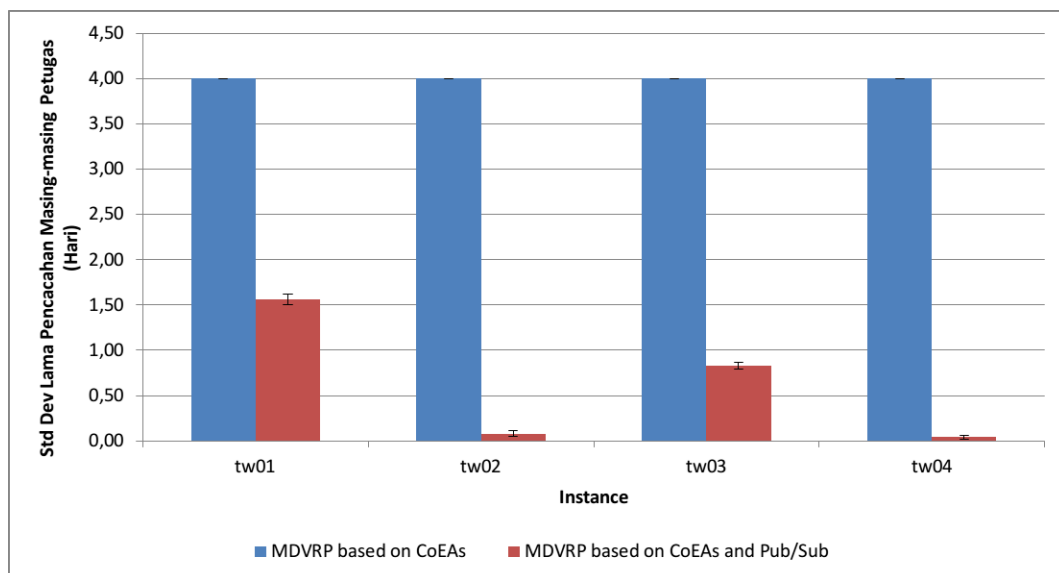
<i>Instance</i>	MDVRP berbasis CoEAs		MDVRP berbasis CoEAs dan Pub/Sub	
	Rata-rata	Std. Error	Rata-rata	Std. Error
tw01	13	0	13	0
tw02	13	0	13	0
tw03	13	0	13	0
tw04	13	0	13	0

Tabel 4: Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

<i>Instance</i>	MDVRP berbasis CoEAs		MDVRP berbasis CoEAs dan Pub/Sub	
	Std. Deviasi	Std. Error	Std. Deviasi	Std. Error
tw01	4	0	1,56	0,06
tw02	4	0	0,08	0,03
tw03	4	0	0,83	0,04
tw04	4	0	0,04	0,02

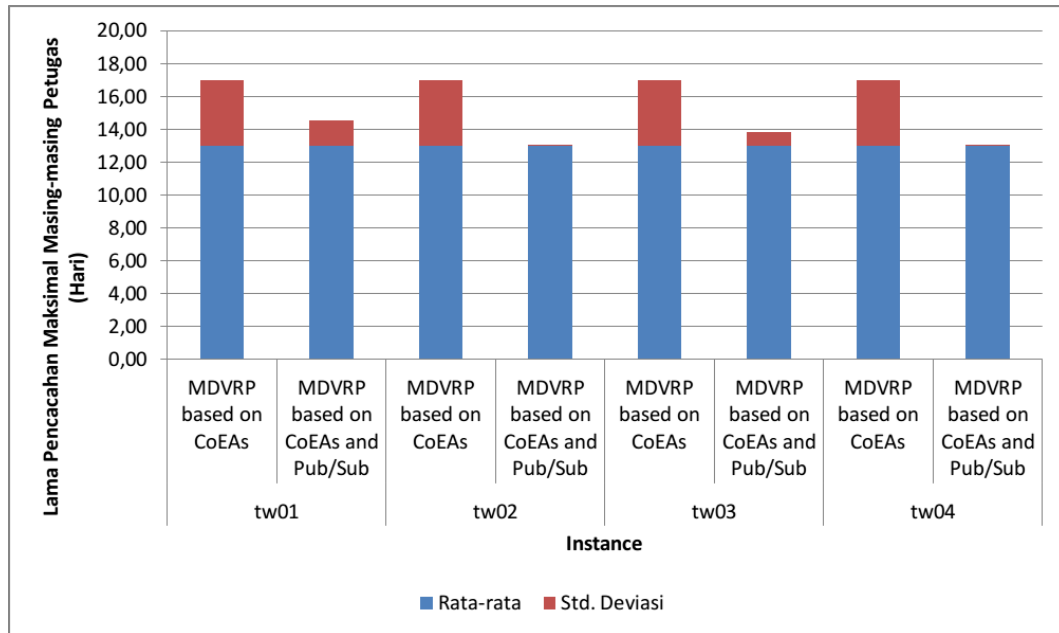


Gambar V.7: Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan



Gambar V.8: Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 4 (empat) buah *instance* yang tiap-tiap *instance* dijalankan sebanyak 100 kali, diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan sistem usulan maupun program pembanding menghasilkan rata-rata yang sama untuk jumlah hari pencacahan setiap pencacah, seperti digambarkan pada Gambar. V.7. Akan tetapi, dari segi variasi hari pencacahan untuk setiap petugas, diperoleh hasil bahwa sistem usulan menghasilkan standar deviasi yang lebih rendah untuk seluruh instance dibandingkan dengan program pembanding, seperti digambarkan pada Gambar. V.8. Hal ini menunjukkan bahwa sistem usulan, yaitu



Gambar V.9: Maksimum Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme *publish/subscribe*, lebih efisien jika dibandingkan dengan program pembanding, yaitu MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme *publish/subscribe*, karena menghasilkan rute dengan beban tugas yang lebih merata. Hal ini berdampak positif kepada total waktu seluruh kegiatan yang dengan sistem usulan menjadi lebih pendek dibandingkan sistem pembanding, seperti digambarkan pada Gambar. V.9.

V.2.3.6 Pengujian Kondisi *Delay* dengan *Service Time* pada Data Lapangan

Skenario pengujian kondisi *delay* dimaksudkan untuk membandingkan program yang dijalankan pada kondisi terjadi hal-hal yang menghambat jalannya pencacahan. Pengujian ini digunakan sebagai cerminan kondisi lapangan di mana pada beberapa lokasi tidak terdapat koneksi yang stabil, sehingga untuk melakukan *subscription* lokasi berikutnya perlu berpindah ke lokasi lain. Pengujian dilakukan sebanyak 7 (tujuh) kali yang pada tiap-tiap pengujian mencerminkan kondisi yang berbeda, yaitu:

1. Pengujian dengan kode *instance* d01 menggambarkan kondisi normal. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
 - Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga

- Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 27,58 menit dengan standar deviasi 12,13 menit.
 - Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 5 menit dengan standar deviasi 3 menit.
2. Pengujian dengan kode *instance* d02 menggambarkan kondisi pencacahan dengan anggota rumah tangga sedikit dan relatif homogen, dengan koneksi internet relatif mudah didapatkan. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
- Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga
 - Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 27,58 menit dengan standar deviasi 4,16 menit.
 - Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 5 menit dengan standar deviasi 3 menit.
3. Pengujian dengan kode *instance* d03 menggambarkan kondisi pencacahan dengan anggota rumah tangga sedikit dan relatif homogen, dengan koneksi internet secara umum sulit didapatkan. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
- Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga
 - Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 27,58 menit dengan standar deviasi 4,16 menit.
 - Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 60 menit dengan standar deviasi 3 menit.
4. Pengujian dengan kode *instance* d04 menggambarkan kondisi pencacahan dengan anggota rumah tangga banyak dan relatif homogen, dengan koneksi internet relatif mudah didapatkan. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
- Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga
 - Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 71,58 menit dengan standar deviasi 12,16 menit.

- Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 5 menit dengan standar deviasi 3 menit.
5. Pengujian dengan kode *instance* d05 menggambarkan kondisi pencacahan dengan anggota rumah tangga banyak dan relatif homogen, dengan koneksi internet secara umum sulit didapatkan. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
- Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga
 - Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 71,58 menit dengan standar deviasi 12,16 menit.
 - Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 60 menit dengan standar deviasi 3 menit.
6. Pengujian dengan kode *instance* d06 menggambarkan kondisi pencacahan dengan rata-rata anggota rumah tangga sedikit tetapi memiliki variasi tinggi, dengan koneksi internet secara umum sulit didapatkan. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
- Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga
 - Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 27,58 menit dengan standar deviasi 25,16 menit.
 - Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 60 menit dengan standar deviasi 3 menit.
7. Pengujian dengan kode *instance* d07 menggambarkan kondisi pencacahan dengan jarak antar rumah tangga jauh, rata-rata anggota rumah tangga banyak dan memiliki variasi tinggi, dan koneksi internet secara umum sulit didapatkan. Parameter yang digunakan pada *instance* ini adalah sebagai berikut:
- Jumlah responden pada setiap segmen/blok sensus adalah 10 rumah tangga
 - Rata-rata wawancara pada setiap rumah tangga 71,58 menit dengan standar deviasi 25,65 menit.
 - Rata-rata waktu tempuh antar rumah tangga 30,45 menit dengan standar deviasi 22,12 menit.

- Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mendapatkan koneksi internet sebesar 60 menit dengan standar deviasi 3 menit.

Sama dengan pengujian sebelumnya, pada pengujian ini setiap *instance* data diuji sebanyak 100 (seratus) kali untuk membuktikan bahwa hasil yang diperoleh konsisten. Pada tiap-tiap pengujian akan diperoleh rute untuk setiap petugas pencacahan seperti contoh berikut:

- *Vehicle A* = Loc1 → Loc5 → Loc15 → Loc12
- *Vehicle B* = Loc 6 → Loc2 → Loc16 → Loc3
- *Vehicle C* = Loc4 → Loc8 → Loc14 → Loc 7
- *Vehicle D* = Loc9 → Loc10 → Loc11 → Loc12

Waktu total untuk tiap-tiap rute dihitung dengan melakukan penjumlahan waktu tempuh dan waktu pencacahan dari seluruh lokasi yang dikunjungi pada rute tersebut. Selain itu, standar deviasi dari waktu total untuk tiap-tiap rute juga dihitung untuk menggambarkan kesenjangan waktu penyelesaian pencacahan.

Tabel 5: Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Delay dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

<i>Instance</i>	MDVRP berbasis CoEAs		MDVRP berbasis CoEAs dan Pub/Sub	
	Rata-rata	Std. Error	Rata-rata	Std. Error
d01	13	0	14,39	0,05
d02	13	0	14,41	0,05
d03	13	0	24,00	0,00
d04	13	0	14,38	0,05
d05	13	0	24,00	0,00
d06	13	0	24,00	0,00
d07	13	0	24,00	0,00

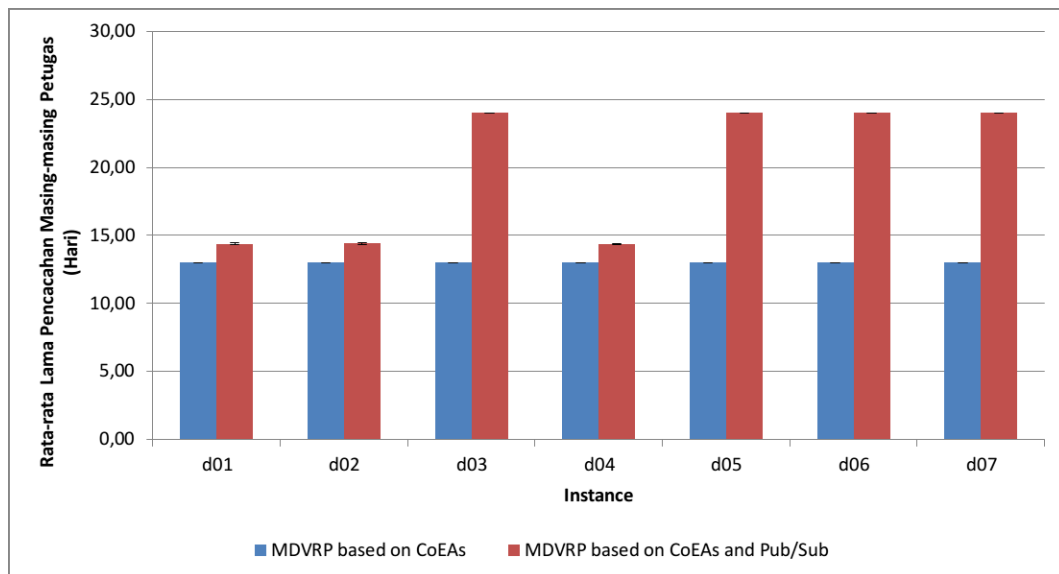
Tabel 6: Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Delay dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

<i>Instance</i>	MDVRP berbasis CoEAs		MDVRP berbasis CoEAs dan Pub/Sub	
	Std. Deviasi	Std. Error	Std. Deviasi	Std. Error
d01	4	0	1,11	0,04

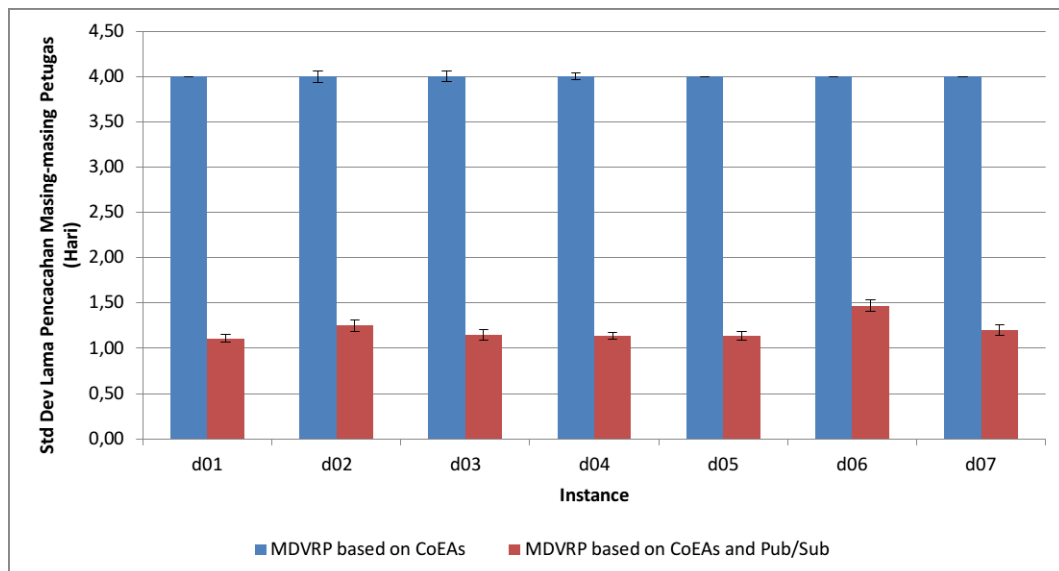
<i>Instance</i>	Std. Deviasi	Std. Error	Std. Deviasi	Std. Error
d02	4	0	1,25	0,07
d03	4	0	1,15	0,06
d04	4	0	1,14	0,04
d05	4	0	1,14	0,05
d06	4	0	1,47	0,06
d07	4	0	1,20	0,06

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 7 (tujuh) buah *instance* yang tiap-tiap *instance* dijalankan sebanyak 100 kali, diperoleh hasil bahwa sistem usulan menghasilkan rata-rata hari pencacahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan program pembanding pada seluruh *instance*, seperti digambarkan pada Gambar. V.10. Hal ini dikarenakan kondisi delay menyebabkan pencacah harus menunggu lebih lama untuk mendapatkan rekomendasi lokasi pencacahan berikutnya. Sementara itu, dari segi variasi hari pencacahan untuk setiap petugas, diperoleh hasil bahwa sistem usulan menghasilkan standar deviasi yang lebih rendah untuk seluruh *instance* dibandingkan dengan program pembanding, seperti digambarkan pada Gambar.V.11.

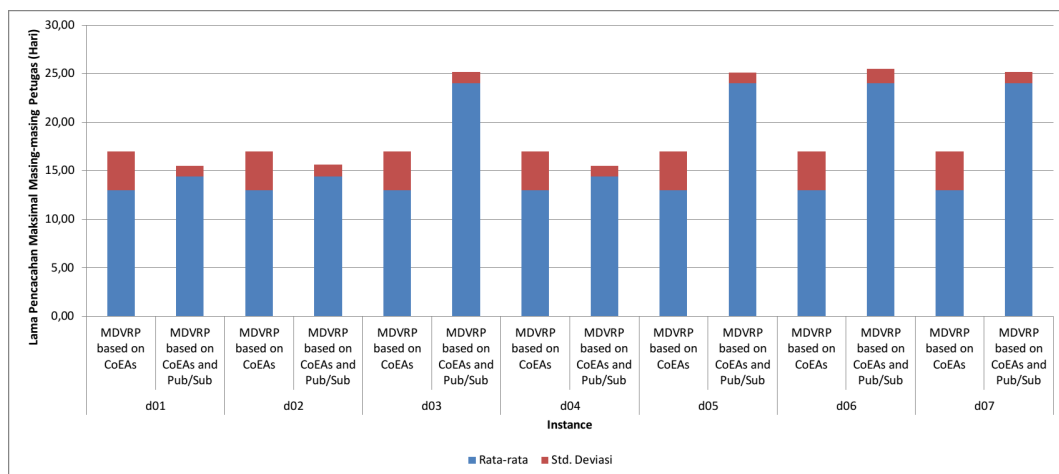
Jika proses selanjutnya, seperti analisis data dan diseminasi, mengharuskan seluruh data terkumpul, maka perlu menunggu hingga seluruh petugas menyelesaikan pencacahan. Berdasarkan kebutuhan ini, sistem usulan menghasilkan 'hari terlama' yang lebih rendah daripada program usulan pada *instance* dengan delay relatif rendah, yaitu d01, d02, dan d04. Sementara itu, program usulan menghasilkan 'hari terlama' yang lebih rendah pada *instance* dengan delay yang tinggi, yaitu p03, p05, dan p06, dan p07, seperti digambarkan pada Gambar. V.12. Hal ini menunjukkan sistem usulan masih lebih efisien jika digunakan pada pencacahan dengan delay yang rendah, namun kurang efisien jika digunakan pada pencacahan dengan kondisi delay yang tinggi. Sebaliknya, penggunaan mekanisme konvensional, yaitu dengan mengalokasikan lokasi pencacahan secara lengkap sejak sebelum pencacahan lebih direkomendasikan untuk digunakan pada kondisi delay yang tinggi karena tidak memerlukan koneksi untuk melakukan permintaan lokasi berikutnya.



Gambar V.10: Rata-rata Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan



Gambar V.11: Standar Deviasi Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Normal dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan



Gambar V.12: Maksimum Lama Pencacahan Masing-masing Petugas (Hari) Dari 100 Pengujian Kondisi Delay dengan Waktu Pencacahan pada Data Lapangan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada permasalahan MDVRP yang mempertimbangkan lama waktu pencacahan, dari pengujian dengan menggunakan data Cordeau dengan 7 (tujuh) buah *instance*, diperoleh hasil bahwa sistem usulan, yaitu MDVRP berbasis CoEAs dengan mekanisme Publish/Subscribe, menghasilkan ‘rata-rata hari yang diperlukan tiap-tiap pencacah’ yang sama dengan program pembanding, yaitu MDVRP berbasis CoEAs tanpa mekanisme Publish/Subscribe, pada seluruh *instance*. Akan tetapi dari segi ‘standar deviasi hari pencacahan yang diperlukan tiap-tiap pencacah’, sistem usulan memberikan hasil yang lebih baik pada seluruh *instance*, atau sebesar 100 persen lebih baik. Selain itu, waktu tunggu sampai seluruh pencacah menyelesaikan pencacahan dengan menggunakan sistem usulan lebih rendah dibandingkan program usulan pada seluruh *instance*, atau 100 persen lebih baik. Hal ini menunjukkan sistem usulan lebih efisien digunakan pada pencacahan kondisi normal dengan menggunakan data Cordeau.
2. Pada permasalahan MDVRP yang mempertimbangkan lama waktu pencacahan, dari pengujian dengan menggunakan data lapangan dengan 4 (empat) buah *instance*, diperoleh hasil bahwa sistem usulan, yaitu MDVRP berbasis CoEAs dengan mekanisme Publish/Subscribe, memberikan hasil yang sama dibandingkan dengan program pembanding, yaitu MDVRP berbasis CoEAs tanpa mekanisme Publish/Subscribe dari segi ‘rata-rata hari yang diperlukan tiap-tiap pencacah’. Sementara dari segi ‘standar deviasi hari pencacahan yang diperlukan tiap-tiap pencacah’, sistem usulan memberikan hasil yang lebih baik pada seluruh *instance*, atau sebesar 100 persen lebih baik. Selain itu, waktu tunggu sampai seluruh pencacah menyelesaikan pencacahan dengan menggunakan sistem usulan lebih rendah dibandingkan program usulan pada seluruh *instance*, atau 100 persen lebih baik. Hal ini menunjukkan sistem usulan juga lebih efisien digunakan pada pencacahan kondisi normal dengan menggunakan data administratif.

3. Pada permasalahan MDVRP yang mempertimbangkan lama waktu pencacahan dan *delay*, dari pengujian dengan menggunakan data lapangan dengan 7 (tujuh) buah *instance*, diperoleh hasil bahwa sistem usulan menghasilkan hari pencacahan yang lebih lama dari segi ‘rata-rata hari yang diperlukan tiap-tiap pencacah’ pada seluruh *instance*, atau 100 persen lebih buruk. Akan tetapi, sistem usulan menghasilkan standar deviasi ‘standar deviasi hari pencacahan yang diperlukan tiap-tiap pencacah’ yang lebih rendah pada seluruh *instance*, atau 100 persen lebih baik, yang artinya penyelesaian pencacahan lebih merata dengan sistem usulan. Sementara itu, dari segi waktu tunggu sampai seluruh pencacah menyelesaikan pencacahan, sistem usulan memberikan hasil yang lebih baik pada 3 (tiga) *instance* yang memiliki delay relatif rendah, tetapi lebih buruk pada 4 (empat) *instance* yang memiliki delay tinggi, atau hanya 43 persen lebih baik. Hal ini menunjukkan pada kondisi terdapat delay yang cukup lama, sistem usulan memberikan hasil yang tidak lebih baik jika dibandingkan dengan sistem pembanding.
4. Dari seluruh pengujian dengan data dan skenario yang bervariasi, dapat disimpulkan bahwa algoritma MDVRP berbasis CoEAs dengan mekanisme Publish/Subscribe memberikan hasil yang lebih merata antar petugas dibandingkan dengan algoritma MDVRP berbasis CoEAs tanpa mekanisme Publish/Subscribe. Sementara dari segi waktu tunggu yang diperlukan sampai dengan seluruh pencacah menyelesaikan pencacahannya, algoritma MDVRP berbasis CoEAs dengan mekanisme Publish/Subscribe memberikan hasil lebih baik pada kondisi tidak terdapat delay atau terdapat delay yang rendah. Sebaliknya, pada kondisi terdapat delay yang tinggi, *pre-calculated routes* yang dihasilkan oleh algoritma MDVRP berbasis CoEAs tanpa mekanisme Publish/Subscribe memberikan waktu tunggu yang lebih rendah.

VI.2 Saran

Dari penelitian ini, saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Terdapat beberapa mekanisme komunikasi yang dapat digunakan sebagai alternatif dari mekanisme Publish/Subscribe, seperti Request/Reply dan Push/Pull. Untuk itu, diperlukan kajian untuk mendapatkan mekanisme komunikasi yang paling tepat.
2. Pencarian solusi/rute oleh VRP Solver dijalankan hingga diperoleh rute

yang konvergen. Parameter yang digunakan pada VRP solver bervariasi dalam hal total waktu eksekusi, total iterasi, waktu/iterasi yang digunakan sebagai syarat rute konvergen, dan penalti. Untuk itu diperlukan kajian untuk menentukan parameter yang paling optimal.

3. Terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan terkait MDVRP, seperti Tabu Search, Particle Swarm Optimization, dan Artificial Bee Colony. Untuk itu diperlukan kajian tentang penggunaan algoritma yang lain, sehingga diperoleh algoritma MDVRP yang paling sesuai.
4. Penerapan sistem dalam skala global, misalnya untuk seluruh wilayah Indonesia, melibatkan sejumlah besar pencacah maupun lokasi pencacahan yang berakibat pada lamanya waktu yang diperlukan sampai dengan rute yang dihasilkan konvergen. Untuk itu, diperlukan kajian tentang penerapan sistem dalam skala global.

DAFTAR PUSTAKA

- Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., and Steggles, P. (1999): Towards a better understanding of context and context-awareness, *International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, 304–307. Springer.
- Atzmueller, M. and Hilgenberg, K. (2013): Towards Capturing Social Interactions with SDCF: An Extensible Framework for Mobile Sensing and Ubiquitous Data Collection, *Proceedings of the 4th International Workshop on Modeling Social Media*, MSM '13, 6:1–6:4, New York, NY, USA. ACM.
- Averbakh, I. and Berman, O. (1994): Technical Note Routing and Location-Routing p-Delivery Men Problems on a Path, *Transportation Science*, 28(2):162–166.
- Averbakh, I. and Berman, O. (1995): Probabilistic Sales-Delivery Man and Sales-Delivery Facility Location Problems on a Tree, *Transportation Science*, 29(2):184–197.
- Balakrishnan, A., Ward, J. E., and Wong, R. T. (1987): Integrated Facility Location and Vehicle Routing Models: Recent Work and Future Prospects, *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 7(1-2):35–61.
- Baldacci, R., Toth, P., and Vigo, D. (2010): Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints, *Annals of Operations Research*, 175(1):213–245.
- Banavar, G., Chandra, T., Mukherjee, B., Nagarajao, J., Strom, R. E., and Sturman, D. C. (1999): An efficient multicast protocol for content-based publish-subscribe systems, *Distributed Computing Systems, 1999. Proceedings. 19th IEEE International Conference on*, 262–272. IEEE.
- Bao, X. and Roy Choudhury, R. (2010): Movi: mobile phone based video highlights via collaborative sensing, *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, 357–370. ACM.
- Bookbinder, J. H. and Reece, K. E. (1988): Vehicle routing considerations in distribution system design, *European Journal of Operational Research*, 37(2):204–213.
- Branco, I. M. and Coelho, J. D. (1990): The hamiltonian p-median problem, *European Journal of Operational Research*, 47(1):86–95.
- Brown, P. J. (1995): The stick-e document: a framework for creating context-aware applications, *Electronic Publishing-Chichester-*, 8:259–272.

- Brown, P. J., Bovey, J. D., and Chen, X. (1997): Context-aware applications: from the laboratory to the marketplace, *IEEE personal communications*, 4(5):58–64.
- Bruns, A. (1998): *Zweistufige Standortplanung unter Berücksichtigung von Tourenplanungsaspekten Primale Heuristiken und Lokale Suchverfahren*, PhD Thesis, Sankt Gallen University.
- Cao, P. Y., Li, G., Chen, G., and Chen, B. (2015): Mobile Data Collection Frameworks: A Survey, *Proceedings of the 2015 Workshop on Mobile Big Data, Mobidata '15*, 25–30, New York, NY, USA. ACM.
- Chao, I.-M., Golden, B. L., and Wasil, E. (1993): A New Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem that Improves upon Best-Known Solutions, *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 13(3-4):371–406.
- Chen, G., Kotz, D., and others (2000): A survey of context-aware mobile computing research, Technical report, Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College.
- Chen, H., Finin, T., and Joshi, A. (2003): An intelligent broker architecture for context-aware systems, *PhD proposal in computer science, University of Maryland, Baltimore, USA*.
- Cordeau, J.-F., Gendreau, M., and Laporte, G. (1997): A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems, *Networks*, 30(2):105–119.
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., and Vigo, D. (2007): Chapter 6 Vehicle Routing, Laporte, C. B. a. G., editor, *Handbooks in Operations Research and Management Science*, volume 14 of *Transportation*, pages 367–428. Elsevier, DOI: 10.1016/S0927-0507(06)14006-2.
- Cordeau, J.-F. and Maischberger, M. (2012): A parallel iterated tabu search heuristic for vehicle routing problems, *Computers & Operations Research*, 39(9):2033–2050.
- Creswell, J. W. (2013): *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, Sage publications.
- Dai, J., Bai, X., Yang, Z., Shen, Z., and Xuan, D. (2010a): PerFallD: A pervasive fall detection system using mobile phones, *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference on*, pages 292–297. IEEE.
- Dai, J., Teng, J., Bai, X., Shen, Z., and Xuan, D. (2010b): Mobile phone based drunk driving detection, *2010 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 1–8. IEEE.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959): The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, 6(1):80–91.

- de Oliveira, F. B., Enayatifar, R., Sadai, H. J., Guimares, F. G., and Potvin, J.-Y. (2016): A cooperative coevolutionary algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem, *Expert Systems with Applications*, 43:117–130.
- Dey, A. K. (2001): Understanding and using context, *Personal and ubiquitous computing*, 5(1):4–7.
- Diaz, B. D. (2012): *Vrp web*.
- Do, T. M. T. and Gatica-Perez, D. (2011): Groupus: Smartphone proximity data and human interaction type mining, *2011 15th Annual International Symposium on Wearable Computers*, 21–28. IEEE.
- Dueck, G. (1993): New optimization heuristics: The great deluge algorithm and the record-to-record travel, *Journal of Computational physics*, 104(1):86–92.
- Escobar, J. W., Linfati, R., Toth, P., and Baldoquin, M. G. (2014): A hybrid Granular Tabu Search algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem, *Journal of Heuristics*, 20(5):483–509.
- Eugster, P. T., Felber, P. A., Guerraoui, R., and Kermarrec, A.-M. (2003): The many faces of publish/subscribe, *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(2):114–131.
- Garey, M. R. and Johnson, D. S. (2002): *Computers and intractability*, volume 29, wh freeman New York.
- Gendreau, M., Hertz, A., and Laporte, G. (1992): New insertion and postoptimization procedures for the traveling salesman problem, *Operations Research*, 40(6):1086–1094.
- Gillett, B. E. and Johnson, J. G. (1976): Multi-terminal vehicle-dispatch algorithm, *Omega*, 4(6):711–718.
- Golden, B. L., Magnanti, T. L., and Nguyen, H. Q. (1977): Implementing vehicle routing algorithms, *Networks*, 7(2):113–148.
- Gross, T. and Specht, M. (2001): Awareness in context-aware information systems, *Mensch & Computer 2001*, 173–182. Springer.
- Holland, J. H. and others (1990): Echo: Explorations of evolution in a miniature world.
- Hull, R., Neaves, P., and Bedford-Roberts, J. (1997): Towards situated computing, *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers*, 146–153.
- Huning, A., Rechenberg, I., and Eigen, M. (1976): *Evolutionsstrategie. Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, JSTOR.

- Kulkarni, R. V. and Bhawe, P. R. (1985): Integer programming formulations of vehicle routing problems, *European Journal of Operational Research*, 20(1):58–67.
- Laporte, G. (1992): The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms, *European journal of operational research*, 59(3):345–358.
- Laporte, G. and Nobert, Y. (1981): An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location, *European Journal of Operational Research*, 6(2):224–226.
- Laporte, G., Nobert, Y., and Arpin, D. (1984): *Optimal solutions to capacitated multidepot vehicle routing problems*, Universit de Montral, Centre de recherche sur les transports.
- Laporte, G., Nobert, Y., and Taillefer, S. (1988): Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location-Routing Problems, *Transportation Science*, 22(3):161–172.
- Lau, H. C. W., Chan, T. M., Tsui, W. T., and Pang, W. K. (2010): Application of Genetic Algorithms to Solve the Multidepot Vehicle Routing Problem, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 7(2):383–392.
- Lin, S. (1965): Computer solutions of the traveling salesman problem, *The Bell System Technical Journal*, 44(10):2245–2269.
- Lu, H., Pan, W., Lane, N. D., Choudhury, T., and Campbell, A. T. (2009): SoundSense: scalable sound sensing for people-centric applications on mobile phones, *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services*, 165–178. ACM.
- Magara, M. B., Ojo, S., Ngwira, S., and Zuva, T. (2016): MPlist: Context aware music playlist, *2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech)*, 309–316.
- Maranzana, F. E. (1964): On the Location of Supply Points to Minimize Transport Costs, *OR*, 15(3):261–270.
- Mhl, G. (2002): *Large-scale content-based publish-subscribe systems*, PhD thesis, TU Darmstadt.
- Nagy, G. and Salhi, S. (2007): Location-routing: Issues, models and methods, *European Journal of Operational Research*, 177(2):649–672.
- Pisinger, D. and Ropke, S. (2007): A general heuristic for vehicle routing problems, *Computers & Operations Research*, 34(8):2403–2435.
- Psaraftis, H. N. (1995): Dynamic vehicle routing: Status and prospects, *Annals of operations research*, 61(1):143–164.

- Raft, O. M. (1982): A modular algorithm for an extended vehicle scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 11(1):67–76.
- Rechenberg, I. (1965): Cybernetic solution path of an experimental problem.
- Renaud, J., Boctor, F. F., and Laporte, G. (1996a): An improved petal heuristic for the vehicle routeing problem, *Journal of the operational Research Society*, 47(2):329–336.
- Renaud, J., Laporte, G., and Boctor, F. F. (1996b): A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, 23(3):229–235.
- Rubel, P., Fayn, J., Nollo, G., Assanelli, D., Li, B., Restier, L., Adami, S., Arod, S., Atoui, H., Ohlsson, M., and others (2005): Toward personal eHealth in cardiology. Results from the EPI-MEDICS telemedicine project, *Journal of electrocardiology*, 38(4):100–106.
- Ryan, N., Pascoe, J., and Morse, D. (1999): Enhanced reality fieldwork: the context aware archaeological assistant, *Bar International Series*, 750:269–274.
- Said, A., Berkovsky, S., and De Luca, E. W. (2013): Introduction to Special Section on CAMRa2010: Movie Recommendation in Context, *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, 4(1):13:1–13:9.
- Salhi, S. and Fraser, M. (1996): An Intergrated Heuristic Approach for the Combined Location Vehicle Fleet Mix Problem, *Studies in Locational Analysis*, 8:3–22.
- Sarmenta, L. F., Chua, S. J., Echevarria, P., Mendoza, J. M., Santos, R.-R., Tan, S., and Lozada, R. (2002): Bayanihan Computing. NET: Grid Computing with XML Web Services, *ccgrid*, 434–435.
- Schilit, B., Adams, N., and Want, R. (1994): Context-aware computing applications, *Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*, 85–90. IEEE.
- Schmidt, A., Beigl, M., and Gellersen, H.-W. (1999): There is more to context than location, *Computers & Graphics*, 23(6):893–901.
- Schwefel, H.-P. (1975): *Evolutionsstrategie und numerische Optimierung*, Technische Universitt Berlin.
- Sengoku, H. and Yoshihara, I. (1998): A fast TSP solver using GA on JAVA, *Third International Symposium on Artificial Life, and Robotics (AROB III98)*, 283–288.
- Simchi-Levi, D. (1991): The Capacitated Traveling Salesman Location Problem, *Transportation Science*, 25(1):9–18.
- Solomon, M. M. and Desrosiers, J. (1988): Survey papertime window constrained routing and scheduling problems, *Transportation science*, 22(1):1–13.

- Subramanian, A., Uchoa, E., and Ochi, L. S. (2013): A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems, *Computers & Operations Research*, 40(10):2519–2531.
- Sudman, S. (1965): Time Allocation in Survey Interviewing and in Other Field Occupations, *The Public Opinion Quarterly*, 29(4):638–648.
- Tillman, F. A. (1969): The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands, *Transportation Science*, 3(3):192–204.
- Tillman, F. A. and Cain, T. M. (1972): An upperbound algorithm for the single and multiple terminal delivery problem, *Management Science*, 18(11):664–682.
- Tillman, F. A. and Hering, R. W. (1971): A study of a look-ahead procedure for solving the multiterminal delivery problem, *Transportation Research*, 5(3):225–229.
- Toth, P. and Vigo, D. (2002): The vehicle routing problem, volume 9 of SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, *SIAM, Philadelphia, PA*.
- Tsai, M. J., Wu, C. L., Pradhan, S. K., Xie, Y., Li, T. Y., Fu, L. C., and Zeng, Y. C. (2016): Context-aware activity prediction using human behavior pattern in real smart home environments, *2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 168–173.
- Vaishnavi, V. and Kuechler, W. (2007): *Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology*, Auerbach Publications, DOI: 10.1201/9781420059335.
- Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., and Prins, C. (2014): Implicit depot assignments and rotations in vehicle routing heuristics, *European Journal of Operational Research*, 237(1):15–28.
- Weise, T., Podlich, A., and Gorltdt, C. (2009): Solving real-world vehicle routing problems with evolutionary algorithms, *Natural intelligence for scheduling, planning and packing problems*, 29–53. Springer.
- Wren, A. and Holliday, A. (1972): Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points, *Journal of the Operational Research Society*, 23(3):333–344.
- Zimmermann, A., Lorenz, A., and Oppermann, R. (2007): An operational definition of context, *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, 558–571. Springer.
- Zou, X., Gonzales, M., and Saeedi, S. (2016): A Context-aware Recommendation System using smartphone sensors, *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pages 1–6.

Badan Pusat Statistik - Tugas, Fungsi, dan Kewenangan, data diperoleh melalui situs internet: <https://www.bps.go.id/index.php/masterMenu/view/id/1#masterMenuTab4>. Diunduh pada tanggal 17 November 2016.

Clients - Redis, data diperoleh melalui situs internet: <https://redis.io/clients>. Diunduh pada tanggal 13 Januari 2017.

Constraint satisfaction solver (Java, Open Source), data diperoleh melalui situs internet: <https://www.optaplanner.org/>. Diunduh pada tanggal 10 Januari 2017.

Google Maps Directions API, data diperoleh melalui situs internet: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/>. Diunduh pada tanggal 26 November 2016.

Introduction to Redis Redis, data diperoleh melalui situs internet: <https://redis.io/topics/introduction>. Diunduh pada tanggal 13 Januari 2017.

jsprit | java toolkit for rich VRPs and TSPs, data diperoleh melalui situs internet: <https://jsprit.github.io/>. Diunduh pada tanggal 19 Desember 2016.

Sistem Rujukan Statistik BPS RI - Blok Sensus, data diperoleh melalui situs internet: <https://sirusa.bps.go.id/index.php?r=istilah/view&id=43>. Diunduh pada tanggal 17 November 2016.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. HASIL PENGUJIAN KONDISI NORMAL

Tabel 1: Hasil pengujian kondisi normal pada data lapangan *instance* tw01 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	197	13	1
2	197	13	2
3	197	13	1
4	197	13	1
5	197	13	2
6	197	13	2
7	197	13	1
8	197	13	1
9	197	13	1
10	197	13	2
11	197	13	2
12	197	13	1
13	197	13	1
14	197	13	1
15	197	13	2
16	197	13	2
17	197	13	2
18	197	13	1
19	197	13	2
20	197	13	2
21	197	13	2
22	197	13	2
23	197	13	2
24	197	13	1
25	197	13	1
26	197	13	2

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
27	197	13	1
28	197	13	2
29	197	13	2
30	197	13	1
31	197	13	2
32	197	13	2
33	197	13	3
34	197	13	2
35	197	13	1
36	197	13	2
37	197	13	2
38	197	13	1
39	197	13	2
40	197	13	1
41	197	13	2
42	197	13	1
43	197	13	2
44	197	13	2
45	197	13	1
46	197	13	1
47	197	13	2
48	197	13	1
49	197	13	1
50	197	13	2
51	197	13	1
52	197	13	1
53	197	13	1
54	197	13	2
55	197	13	1
56	197	13	1
57	197	13	2
58	197	13	2
59	197	13	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
60	197	13	2
61	197	13	1
62	197	13	1
63	197	13	2
64	197	13	2
65	197	13	1
66	197	13	1
67	197	13	1
68	197	13	2
69	197	13	1
70	197	13	2
71	197	13	2
72	197	13	3
73	197	13	1
74	197	13	1
75	197	13	2
76	197	13	2
77	197	13	1
78	197	13	2
79	197	13	1
80	197	13	2
81	197	13	1
82	197	13	3
83	197	13	2
84	197	13	2
85	197	13	1
86	197	13	2
87	197	13	1
88	197	13	2
89	197	13	2
90	197	13	2
91	197	13	1
92	197	13	2

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
93	197	13	2
94	197	13	2
95	197	13	1
96	197	13	1
97	197	13	1
98	197	13	1
99	197	13	1
100	197	13	2

Tabel 2: Hasil pengujian kondisi normal pada data lapangan *instance* tw02 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	197	13	2
2	197	13	1
3	197	13	1
4	197	13	0
5	197	13	0
6	197	13	0
7	197	13	0
8	197	13	0
9	197	13	0
10	197	13	0
11	197	13	0
12	197	13	0
13	197	13	0
14	197	13	0
15	197	13	0
16	197	13	0
17	197	13	0
18	197	13	0

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
19	197	13	0
20	197	13	0
21	197	13	0
22	197	13	0
23	197	13	1
24	197	13	0
25	197	13	0
26	197	13	1
27	197	13	0
28	197	13	0
29	197	13	0
30	197	13	0
31	197	13	0
32	197	13	0
33	197	13	0
34	197	13	0
35	197	13	1
36	197	13	0
37	197	13	0
38	197	13	0
39	197	13	0
40	197	13	0
41	197	13	0
42	197	13	0
43	197	13	0
44	197	13	0
45	197	13	0
46	197	13	0
47	197	13	0
48	197	13	0
49	197	13	0
50	197	13	0
51	197	13	0

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
52	197	13	0
53	197	13	0
54	197	13	0
55	197	13	0
56	197	13	0
57	197	13	0
58	197	13	0
59	197	13	0
60	197	13	0
61	197	13	0
62	197	13	0
63	197	13	1
64	197	13	0
65	197	13	0
66	197	13	0
67	197	13	0
68	197	13	0
69	197	13	0
70	197	13	0
71	197	13	0
72	197	13	0
73	197	13	0
74	197	13	0
75	197	13	0
76	197	13	0
77	197	13	0
78	197	13	0
79	197	13	0
80	197	13	0
81	197	13	0
82	197	13	0
83	197	13	0
84	197	13	0

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
85	197	13	0
86	197	13	0
87	197	13	0
88	197	13	0
89	197	13	0
90	197	13	0
91	197	13	0
92	197	13	0
93	197	13	0
94	197	13	0
95	197	13	0
96	197	13	0
97	197	13	0
98	197	13	0
99	197	13	0
100	197	13	0

Tabel 3: Hasil pengujian kondisi normal pada data lapangan *instance* tw03 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	197	13	1
2	197	13	1
3	197	13	1
4	197	13	1
5	197	13	0
6	197	13	0
7	197	13	1
8	197	13	0
9	197	13	1
10	197	13	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
11	197	13	1
12	197	13	0
13	197	13	1
14	197	13	0
15	197	13	1
16	197	13	1
17	197	13	1
18	197	13	1
19	197	13	1
20	197	13	1
21	197	13	1
22	197	13	1
23	197	13	1
24	197	13	1
25	197	13	1
26	197	13	0
27	197	13	1
28	197	13	0
29	197	13	1
30	197	13	1
31	197	13	1
32	197	13	1
33	197	13	1
34	197	13	1
35	197	13	1
36	197	13	1
37	197	13	1
38	197	13	1
39	197	13	1
40	197	13	1
41	197	13	1
42	197	13	1
43	197	13	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
44	197	13	1
45	197	13	1
46	197	13	1
47	197	13	0
48	197	13	1
49	197	13	1
50	197	13	1
51	197	13	1
52	197	13	1
53	197	13	0
54	197	13	1
55	197	13	0
56	197	13	1
57	197	13	1
58	197	13	1
59	197	13	2
60	197	13	0
61	197	13	1
62	197	13	0
63	197	13	1
64	197	13	1
65	197	13	1
66	197	13	1
67	197	13	0
68	197	13	1
69	197	13	1
70	197	13	0
71	197	13	1
72	197	13	1
73	197	13	1
74	197	13	0
75	197	13	1
76	197	13	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
77	197	13	1
78	197	13	0
79	197	13	1
80	197	13	1
81	197	13	1
82	197	13	1
83	197	13	1
84	197	13	1
85	197	13	0
86	197	13	1
87	197	13	1
88	197	13	1
89	197	13	1
90	197	13	1
91	197	13	1
92	197	13	1
93	197	13	1
94	197	13	1
95	197	13	1
96	197	13	1
97	197	13	1
98	197	13	0
99	197	13	1
100	197	13	1

Tabel 4: Hasil pengujian kondisi normal pada data lapangan *instance* tw04 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	197	13	0
2	197	13	0

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
3	197	13	1
4	197	13	0
5	197	13	0
6	197	13	0
7	197	13	0
8	197	13	0
9	197	13	1
10	197	13	0
11	197	13	0
12	197	13	0
13	197	13	0
14	197	13	0
15	197	13	0
16	197	13	0
17	197	13	0
18	197	13	0
19	197	13	0
20	197	13	0
21	197	13	0
22	197	13	1
23	197	13	0
24	197	13	0
25	197	13	1
26	197	13	0
27	197	13	0
28	197	13	0
29	197	13	0
30	197	13	0
31	197	13	0
32	197	13	0
33	197	13	0
34	197	13	0
35	197	13	0

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
36	197	13	0
37	197	13	0
38	197	13	0
39	197	13	0
40	197	13	0
41	197	13	0
42	197	13	0
43	197	13	0
44	197	13	0
45	197	13	0
46	197	13	0
47	197	13	0
48	197	13	0
49	197	13	0
50	197	13	0
51	197	13	0
52	197	13	0
53	197	13	0
54	197	13	0
55	197	13	0
56	197	13	0
57	197	13	0
58	197	13	0
59	197	13	0
60	197	13	0
61	197	13	0
62	197	13	0
63	197	13	0
64	197	13	0
65	197	13	0
66	197	13	0
67	197	13	0
68	197	13	0

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
69	197	13	0
70	197	13	0
71	197	13	0
72	197	13	0
73	197	13	0
74	197	13	0
75	197	13	0
76	197	13	0
77	197	13	0
78	197	13	0
79	197	13	0
80	197	13	0
81	197	13	0
82	197	13	0
83	197	13	0
84	197	13	0
85	197	13	0
86	197	13	0
87	197	13	0
88	197	13	0
89	197	13	0
90	197	13	0
91	197	13	0
92	197	13	0
93	197	13	0
94	197	13	0
95	197	13	0
96	197	13	0
97	197	13	0
98	197	13	0
99	197	13	0
100	197	13	0

LAMPIRAN B. HASIL PENGUJIAN KONDISI DELAY

Tabel 5: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d01 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	223	14	3
2	221	14	2
3	219	14	3
4	223	14	1
5	230	15	1
6	223	14	1
7	222	14	1
8	227	15	1
9	229	15	1
10	221	14	1
11	224	14	2
12	215	14	1
13	234	15	1
14	220	14	1
15	217	14	1
16	229	15	1
17	219	14	1
18	226	15	1
19	233	15	1
20	219	14	1
21	218	14	1
22	220	14	1
23	215	14	1
24	220	14	1
25	220	14	1
26	218	14	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
27	221	14	1
28	224	14	1
29	217	14	1
30	227	15	1
31	222	14	1
32	226	15	1
33	234	15	2
34	219	14	1
35	224	14	1
36	229	15	1
37	224	14	1
38	222	14	1
39	224	14	2
40	218	14	1
41	224	14	1
42	221	14	1
43	235	15	1
44	223	14	1
45	218	14	1
46	234	15	1
47	217	14	1
48	224	14	1
49	224	14	1
50	219	14	1
51	223	14	1
52	221	14	1
53	227	15	1
54	221	14	1
55	222	14	1
56	226	15	1
57	224	14	1
58	223	14	1
59	231	15	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
60	220	14	1
61	221	14	1
62	228	15	1
63	217	14	1
64	226	15	1
65	227	15	1
66	225	15	1
67	224	14	1
68	225	15	2
69	227	15	1
70	223	14	1
71	234	15	1
72	227	15	1
73	227	15	1
74	221	14	2
75	226	15	1
76	225	15	1
77	221	14	1
78	229	15	1
79	226	15	1
80	231	15	1
81	233	15	1
82	222	14	1
83	231	15	1
84	225	15	1
85	221	14	1
86	227	15	1
87	221	14	1
88	224	14	2
89	218	14	1
90	225	15	1
91	222	14	1
92	228	15	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
93	220	14	1
94	223	14	1
95	213	14	0
96	219	14	1
97	218	14	2
98	230	15	1
99	227	15	1
100	225	15	1

Tabel 6: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d02 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	219	14	3
2	226	15	3
3	220	14	4
4	222	14	1
5	216	14	1
6	219	14	1
7	223	14	1
8	225	15	1
9	218	14	1
10	217	14	1
11	223	14	1
12	218	14	1
13	221	14	1
14	219	14	1
15	227	15	1
16	226	15	1
17	225	15	1
18	226	15	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
19	228	15	1
20	220	14	2
21	225	15	1
22	220	14	1
23	221	14	1
24	223	14	1
25	228	15	1
26	229	15	1
27	230	15	1
28	228	15	2
29	224	14	1
30	225	15	1
31	223	14	1
32	218	14	1
33	221	14	1
34	220	14	2
35	224	14	1
36	220	14	1
37	225	15	1
38	223	14	1
39	226	15	1
40	226	15	1
41	226	15	1
42	218	14	1
43	223	14	1
44	232	15	2
45	222	14	1
46	224	14	1
47	217	14	1
48	226	15	1
49	228	15	1
50	220	14	1
51	234	15	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
52	218	14	1
53	225	15	2
54	227	15	2
55	225	15	2
56	219	14	3
57	221	14	3
58	228	15	3
59	229	15	3
60	221	14	3
61	219	14	1
62	223	14	1
63	222	14	1
64	223	14	1
65	214	14	1
66	217	14	1
67	222	14	1
68	225	15	1
69	226	15	0
70	228	15	1
71	220	14	1
72	223	14	1
73	224	14	1
74	226	15	1
75	216	14	1
76	217	14	1
77	231	15	1
78	224	14	1
79	226	15	1
80	219	14	1
81	227	15	1
82	217	14	0
83	213	14	1
84	226	15	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
85	223	14	2
86	224	14	2
87	224	14	1
88	222	14	1
89	219	14	1
90	227	15	1
91	232	15	1
92	220	14	1
93	214	14	1
94	225	15	1
95	227	15	1
96	225	15	1
97	219	14	1
98	229	15	2
99	220	14	1
100	225	15	1

Tabel 7: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d03 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	364	24	4
2	364	24	3
3	364	24	5
4	364	24	1
5	364	24	1
6	364	24	1
7	364	24	1
8	364	24	1
9	364	24	1
10	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
11	364	24	2
12	364	24	1
13	364	24	1
14	364	24	1
15	364	24	1
16	364	24	1
17	364	24	1
18	364	24	1
19	364	24	1
20	364	24	1
21	364	24	1
22	364	24	1
23	364	24	1
24	364	24	2
25	364	24	1
26	364	24	1
27	364	24	1
28	364	24	1
29	364	24	1
30	364	24	1
31	364	24	1
32	364	24	1
33	364	24	1
34	364	24	1
35	364	24	1
36	364	24	1
37	364	24	1
38	364	24	1
39	364	24	1
40	364	24	1
41	364	24	1
42	364	24	2
43	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
44	364	24	1
45	364	24	1
46	364	24	1
47	364	24	2
48	364	24	1
49	364	24	1
50	364	24	2
51	364	24	1
52	364	24	1
53	364	24	1
54	364	24	1
55	364	24	1
56	364	24	1
57	364	24	1
58	364	24	1
59	364	24	2
60	364	24	1
61	364	24	2
62	364	24	1
63	364	24	1
64	364	24	1
65	364	24	1
66	364	24	1
67	364	24	1
68	364	24	1
69	364	24	1
70	364	24	1
71	364	24	1
72	364	24	1
73	364	24	1
74	364	24	1
75	364	24	1
76	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
77	364	24	1
78	364	24	1
79	364	24	1
80	364	24	1
81	364	24	1
82	364	24	1
83	364	24	1
84	364	24	0
85	364	24	1
86	364	24	1
87	364	24	1
88	364	24	1
89	364	24	1
90	364	24	1
91	364	24	1
92	364	24	1
93	364	24	1
94	364	24	1
95	364	24	1
96	364	24	1
97	364	24	1
98	364	24	1
99	364	24	1
100	364	24	1

Tabel 8: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d04 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	224	14	2
2	227	15	2

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
3	220	14	2
4	228	15	1
5	230	15	3
6	224	14	1
7	224	14	1
8	220	14	1
9	226	15	1
10	217	14	1
11	230	15	1
12	214	14	1
13	224	14	1
14	227	15	1
15	216	14	1
16	223	14	2
17	226	15	1
18	217	14	1
19	229	15	2
20	218	14	1
21	213	14	1
22	221	14	1
23	213	14	1
24	222	14	1
25	229	15	1
26	232	15	1
27	225	15	1
28	221	14	1
29	226	15	1
30	217	14	1
31	221	14	1
32	223	14	1
33	234	15	1
34	221	14	1
35	230	15	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
36	222	14	1
37	223	14	1
38	226	15	1
39	218	14	1
40	220	14	2
41	229	15	1
42	224	14	1
43	221	14	1
44	228	15	1
45	222	14	1
46	219	14	1
47	227	15	1
48	226	15	1
49	216	14	1
50	220	14	2
51	220	14	1
52	223	14	1
53	229	15	1
54	238	15	1
55	220	14	1
56	229	15	1
57	220	14	1
58	230	15	1
59	224	14	1
60	222	14	1
61	227	15	1
62	224	14	1
63	229	15	2
64	225	15	1
65	218	14	1
66	218	14	1
67	222	14	1
68	224	14	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
69	231	15	1
70	225	15	1
71	222	14	1
72	216	14	1
73	226	15	1
74	227	15	2
75	232	15	2
76	232	15	1
77	221	14	1
78	222	14	1
79	233	15	1
80	221	14	1
81	222	14	1
82	216	14	1
83	218	14	1
84	218	14	1
85	211	14	1
86	221	14	1
87	219	14	1
88	225	15	1
89	231	15	1
90	225	15	1
91	219	14	1
92	225	15	1
93	215	14	1
94	221	14	1
95	222	14	2
96	222	14	1
97	236	15	1
98	231	15	2
99	220	14	1
100	209	13	1

Tabel 9: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d05 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	364	24	4
2	364	24	3
3	364	24	1
4	364	24	1
5	364	24	1
6	364	24	1
7	364	24	1
8	364	24	1
9	364	24	1
10	364	24	1
11	364	24	2
12	364	24	1
13	364	24	1
14	364	24	1
15	364	24	1
16	364	24	1
17	364	24	1
18	364	24	1
19	364	24	1
20	364	24	1
21	364	24	1
22	364	24	2
23	364	24	3
24	364	24	1
25	364	24	2
26	364	24	1
27	364	24	1
28	364	24	1
29	364	24	0
30	364	24	1
31	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
32	364	24	1
33	364	24	2
34	364	24	1
35	364	24	1
36	364	24	2
37	364	24	1
38	364	24	1
39	364	24	1
40	364	24	2
41	364	24	2
42	364	24	1
43	364	24	1
44	364	24	1
45	364	24	1
46	364	24	1
47	364	24	1
48	364	24	1
49	364	24	1
50	364	24	1
51	364	24	1
52	364	24	1
53	364	24	1
54	364	24	1
55	364	24	1
56	364	24	1
57	364	24	1
58	364	24	1
59	364	24	1
60	364	24	1
61	364	24	1
62	364	24	1
63	364	24	1
64	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
65	364	24	2
66	364	24	1
67	364	24	1
68	364	24	1
69	364	24	1
70	364	24	1
71	364	24	1
72	364	24	1
73	364	24	1
74	364	24	1
75	364	24	1
76	364	24	1
77	364	24	1
78	364	24	1
79	364	24	1
80	364	24	1
81	364	24	1
82	364	24	1
83	364	24	1
84	364	24	1
85	364	24	1
86	364	24	1
87	364	24	1
88	364	24	1
89	364	24	1
90	364	24	1
91	364	24	1
92	364	24	1
93	364	24	1
94	364	24	1
95	364	24	1
96	364	24	1
97	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
98	364	24	1
99	364	24	1
100	364	24	1

Tabel 10: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d06 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

Pengujian	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	364	24	3
2	364	24	4
3	364	24	4
4	364	24	2
5	364	24	1
6	364	24	1
7	364	24	1
8	364	24	1
9	364	24	1
10	364	24	1
11	364	24	2
12	364	24	2
13	364	24	2
14	364	24	2
15	364	24	1
16	364	24	1
17	364	24	1
18	364	24	2
19	364	24	2
20	364	24	1
21	364	24	2
22	364	24	2
23	364	24	2

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
24	364	24	1
25	364	24	2
26	364	24	1
27	364	24	1
28	364	24	1
29	364	24	1
30	364	24	1
31	364	24	1
32	364	24	2
33	364	24	2
34	364	24	2
35	364	24	2
36	364	24	2
37	364	24	1
38	364	24	1
39	364	24	2
40	364	24	1
41	364	24	2
42	364	24	2
43	364	24	1
44	364	24	1
45	364	24	1
46	364	24	1
47	364	24	1
48	364	24	1
49	364	24	1
50	364	24	1
51	364	24	1
52	364	24	1
53	364	24	2
54	364	24	2
55	364	24	1
56	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
57	364	24	2
58	364	24	1
59	364	24	1
60	364	24	1
61	364	24	2
62	364	24	2
63	364	24	2
64	364	24	2
65	364	24	1
66	364	24	1
67	364	24	1
68	364	24	1
69	364	24	2
70	364	24	1
71	364	24	1
72	364	24	2
73	364	24	2
74	364	24	1
75	364	24	1
76	364	24	2
77	364	24	1
78	364	24	1
79	364	24	2
80	364	24	1
81	364	24	1
82	364	24	1
83	364	24	2
84	364	24	2
85	364	24	1
86	364	24	2
87	364	24	1
88	364	24	2
89	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
90	364	24	1
91	364	24	1
92	364	24	1
93	364	24	1
94	364	24	1
95	364	24	1
96	364	24	1
97	364	24	2
98	364	24	1
99	364	24	3
100	364	24	2

Tabel 11: Hasil pengujian kondisi *delay* pada data lapangan *instance* d07 dengan menggunakan sistem usulan (algoritma MDVRP berbasis CoEAs dan mekanisme Publish/Subscribe)

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
1	364	24	3
2	364	24	4
3	364	24	4
4	364	24	1
5	364	24	1
6	364	24	1
7	364	24	1
8	364	24	1
9	364	24	1
10	364	24	1
11	364	24	1
12	364	24	1
13	364	24	2
14	364	24	1
15	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
16	364	24	1
17	364	24	2
18	364	24	1
19	364	24	1
20	364	24	2
21	364	24	1
22	364	24	1
23	364	24	1
24	364	24	1
25	364	24	1
26	364	24	1
27	364	24	2
28	364	24	1
29	364	24	1
30	364	24	1
31	364	24	1
32	364	24	1
33	364	24	1
34	364	24	1
35	364	24	1
36	364	24	1
37	364	24	1
38	364	24	1
39	364	24	1
40	364	24	1
41	364	24	2
42	364	24	2
43	364	24	1
44	364	24	1
45	364	24	1
46	364	24	2
47	364	24	1
48	364	24	2

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
49	364	24	2
50	364	24	1
51	364	24	1
52	364	24	1
53	364	24	2
54	364	24	1
55	364	24	1
56	364	24	1
57	364	24	1
58	364	24	1
59	364	24	1
60	364	24	1
61	364	24	1
62	364	24	1
63	364	24	1
64	364	24	1
65	364	24	1
66	364	24	1
67	364	24	1
68	364	24	1
69	364	24	1
70	364	24	2
71	364	24	1
72	364	24	1
73	364	24	1
74	364	24	1
75	364	24	1
76	364	24	1
77	364	24	1
78	364	24	1
79	364	24	1
80	364	24	1
81	364	24	1

<i>Pengujian</i>	Total waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)	Rata-rata waktu pencacahan dari setiap pencacah (hari)	Standar deviasi waktu pencacahan dari seluruh pencacah (hari)
82	364	24	1
83	364	24	1
84	364	24	1
85	364	24	1
86	364	24	1
87	364	24	1
88	364	24	1
89	364	24	1
90	364	24	1
91	364	24	1
92	364	24	1
93	364	24	1
94	364	24	1
95	364	24	1
96	364	24	2
97	364	24	1
98	364	24	1
99	364	24	1
100	364	24	1