



OPTIMISASI *ROBUST* PADA MASALAH DISTRIBUSI VAKSIN DENGAN JUMLAH PERMINTAAN YANG DINAMIS DAN TAK PASTI

FAIQUL FIKRI



PROGRAM STUDI MATEMATIKA TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Optimisasi *Robust* pada Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2024

Faiqul Fikri
G5501202014

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

FAIQUL FIKRI. Optimisasi *Robust* pada Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti. Dibimbing oleh BIB PARUHUM SILALAH dan JAHARUDDIN.

Masalah distribusi vaksin menjadi salah satu masalah yang banyak dialami saat pandemi Covid-19 terjadi. Untuk mengoptimalkan distribusi vaksin, salah satu strategi yang dilakukan adalah dengan melakukan distribusi vaksin yang merata dan tepat sasaran. Model *Maximum covering location problem* (MCLP) merupakan model masalah pemilihan lokasi distribusi vaksin yang dapat mencakup titik permintaan secara maksimal. Model MCLP memerlukan data jumlah permintaan vaksin dan jika diasumsikan bahwa penerima vaksin merupakan individu yang belum pernah terinfeksi penyakit, maka jumlah permintaan vaksin adalah dinamis. Dinamika jumlah permintaan vaksin pada model MCLP dapat dimodelkan dengan model epidemik *susceptible, infected, recovered* (SIR). Perubahan jumlah populasi individu bersifat acak dan mengakibatkan jumlah permintaan vaksin menjadi tidak pasti. Ketidakpastian jumlah permintaan dapat mempengaruhi nilai optimal dari model MCLP. Optimisasi *robust* merupakan model optimisasi yang mempertimbangkan ketidakpastian nilai parameter.

Penelitian ini memiliki tiga tujuan, yaitu: (1) Memformulasikan dan mengembangkan model masalah distribusi vaksin dengan jumlah permintaan yang dinamis. (2) Melakukan pendekatan optimisasi *robust* pada masalah ketidakpastian jumlah permintaan. (3) Mensimulasikan model masalah distribusi vaksin dengan jumlah permintaan yang dinamis dan tak pasti.

Langkah yang dilakukan pada penelitian ini diawali dengan memformulasikan model masalah distribusi vaksin menggunakan model MCLP dengan jumlah permintaan dinamis menggunakan model SIR. Berdasarkan asumsi yang digunakan, diperoleh empat model, yaitu model distribusi vaksin merata tanpa pembatasan sosial, model distribusi vaksin berdasarkan prioritas tanpa pembatasan sosial, model distribusi vaksin merata dengan pembatasan sosial, dan model distribusi vaksin berdasarkan prioritas dengan pembatasan sosial. Distribusi vaksin merata dimodelkan menggunakan model pemrograman linear dengan fungsi objektif tunggal, sementara distribusi vaksin berdasarkan prioritas dengan model pemrograman linear dengan fungsi objektif ganda. Selanjutnya pembatasan sosial mempengaruhi jumlah populasi rentan pada model SIR sehingga mempengaruhi jumlah permintaan vaksin. Model ini mengasumsikan jumlah permintaan bernilai pasti atau disebut dengan model deterministik.

Langkah selanjutnya yaitu mengasumsikan bahwa dinamika jumlah permintaan vaksin adalah tak pasti. Pendekatan optimisasi *robust* digunakan untuk mengatasi ketidakpastian jumlah permintaan vaksin dengan mengasumsikan ketidakpastian berada pada himpunan ketidakpastian boks sehingga diperoleh model *robust counterpart* masalah distribusi vaksin dengan jumlah permintaan yang dinamis dan tak pasti. Himpunan ketidakpastian boks mengasumsikan bahwa nilai ketidakpastian terjadi pada rentang yang diketahui.

Langkah terakhir adalah melakukan simulasi numerik untuk mengilustrasikan dan memverifikasi model yang telah dibuat. Simulasi dilakukan dengan studi kasus distribusi vaksin Covid-19 di DKI Jakarta yang dilakukan dari



puskesmas ke kelurahan. Penduduk calon penerima vaksin dikelompokkan berdasarkan usia sebagai grup prioritas. Data yang digunakan merupakan data primer alamat dan jarak antara puskesmas dengan kelurahan dan data sekunder penyebaran Covid-19 DKI Jakarta. Simulasi dilakukan dalam tiga langkah, yaitu (1) simulasi model SIR untuk menentukan jumlah permintaan saat distribusi vaksin mulai dilakukan, (2) simulasi model MCLP untuk menentukan jumlah vaksin yang didistribusikan dengan jumlah permintaan yang diperoleh dari langkah (1), (3) melakukan simulasi model SIR untuk melihat dampak distribusi vaksin yang dilakukan pada langkah (2). Simulasi numerik dilakukan untuk model deterministik dan model *robust counterpart*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model yang dibuat dapat memenuhi asumsi yang digunakan dan ketidakpastian jumlah permintaan dapat mempengaruhi nilai optimal. Optimisasi *robust* memberikan nilai optimal yang tidak lebih baik daripada model deterministik namun dapat bernilai *feasible* untuk setiap perubahan parameter yang terjadi dibandingkan model deterministik yang tidak *feasible* untuk beberapa simulasi perubahan nilai parameter.

Kata kunci: Ketidakpastian Jumlah Permintaan, Model MCLP, Model SIR, Optimisasi *Robust*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

FAIQU L FIKRI. Robust Optimization of Vaccine Distribution Problem with Dynamic and Uncertain Demand. Supervised by BIB PARUHUM SILALAH and JAHARUDDIN.

The vaccine distribution problem is one of the problems that is widely explored during the Covid-19 pandemic. To optimize vaccine distribution, one of the strategies is to distribute vaccines evenly and on target. The Maximum covering location problem (MCLP) model is a vaccine distribution location selection problem model that can cover the maximum demand point. The MCLP model requires data on the amount of vaccine demand and if it is assumed that vaccine recipients are individuals who have never been infected with the disease, then the amount of vaccine demand is dynamic. The dynamics of vaccine demand in the MCLP model can be modeled with the susceptible, infected, recovered (SIR) epidemic model. Changes in the number of individual populations are random and cause the amount of vaccine demand to be uncertain. Uncertainty in the amount of demand can affect the optimal value of the MCLP model. Robust optimization is an optimization model that considers uncertainty in parameter values.

This research has three objectives, namely: (1) Formulate and develop a vaccine distribution problem model with dynamic demand. (2) Perform a robust optimization approach to the problem of uncertainty in the amount of demand. (3) Simulate the vaccine distribution problem model with dynamic and uncertain demand.

The steps taken in this study begin with formulating a vaccine distribution problem model using the MCLP model with dynamic demand using the SIR model. Based on the assumptions used, four models are obtained, namely the vaccine distribution model evenly without social restrictions, the vaccine distribution model based on priority without social restrictions, the vaccine distribution model evenly with social restrictions, and the vaccine distribution model based on priority with social restrictions. Equitable vaccine distribution is modeled using a linear programming model with a single objective function, while vaccine distribution based on priority with a linear programming model with multiple objective functions. Furthermore, social restrictions affect the number of vulnerable populations in the SIR model, thus affecting the amount of vaccine demand. This model assumes that the amount of demand is certain or called a deterministic model.

The next step is to assume that the dynamics of vaccine demand is uncertain. The robust optimization approach is used to overcome the uncertainty in the amount of vaccine demand by assuming the uncertainty is in the uncertainty set of the box so that a robust counterpart model of the vaccine distribution problem with a dynamic and uncertain amount of demand is obtained. The box uncertainty set assumes that the uncertainty value occurs in a known range.

The last step is to perform numerical simulations to illustrate and verify the model that has been created. The simulation was carried out with a case study of the distribution of the Covid-19 vaccine in DKI Jakarta which was carried out from the health center to the village. Prospective vaccine recipients are grouped by age as a priority group. The data used are primary data on addresses and distances between health centers and urban villages and secondary data on the distribution of



Covid-19 in DKI Jakarta. Simulations were carried out in three steps, namely (1) simulating the SIR model to determine the amount of demand when vaccine distribution began, (2) simulating the MCLP model to determine the amount of vaccine distributed with the amount of demand obtained from step (1), (3) simulating the SIR model to see the impact of vaccine distribution carried out in step (2). Numerical simulations were carried out for deterministic models and robust counterpart models.

The simulation results show that the model can fulfill the assumptions used and the uncertainty of the amount of demand can affect the optimal value. Robust optimization provides an optimal value that is not better than the deterministic model but can be feasible for any parameter changes that occur compared to the deterministic model which is not feasible for several simulations of parameter value changes.

Keywords: Demand Uncertainty, MCLP Model, Robust Optimization, SIR Model.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



OPTIMISASI *ROBUST* PADA MASALAH DISTRIBUSI VAKSIN DENGAN JUMLAH PERMINTAAN YANG DINAMIS DAN TAK PASTI

FAIQUL FIKRI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Matematika pada
Program Studi Matematika Terapan

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA TERAPAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Optimisasi *Robust* pada Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti

Nama : Faiqul Fikri

NIM : G5501202014

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom.



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Drs. Jaharuddin, M.S.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Drs. Jaharuddin, M.S.

NIP 19651102 199302 1 001



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam:

Dr. Berry Juliandi S.Si., M.Si.

NIP 197807232007011001



Tanggal Ujian: 19 Januari 2024

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2022 sampai bulan Januari 2024 ini ialah pemrograman riset operasi, dengan judul “Optimisasi *Robust* pada Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, bapak Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom. dan bapak Prof. Dr. Drs. Jaharuddin, M.S. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator sidang yaitu bapak Dr. Drs. Sugi Guritman dan penguji luar komisi pembimbing yaitu ibu Dr. Ir. Retno Budiarti, M.S.. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ibu, keluarga, dan seluruh rekan yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya hingga tesis ini dapat diselesaikan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2024

Faiqul Fikri



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Kebaruan Penelitian	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pemrograman Linear	3
2.2 <i>Norm</i>	4
2.3 Model <i>Maximum Covering Location Problem (MCLP)</i>	5
2.4 Model Epidemik	8
2.5 Model <i>Susceptible-Infected-Recovered (SIR)</i>	9
2.6 Model Optimisasi Distribusi Vaksin dengan Model Epidemik SIR	11
2.7 Optimisasi <i>Robust</i>	14
III METODE	20
3.1 Data Penelitian	20
3.2 Alur Penelitian	22
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Formulasi Model Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis	23
4.2 Optimisasi <i>Robust</i> pada Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti	28
4.3 Formulasi Model <i>Robust Counterpart</i> Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti	29
4.4 Simulasi Model Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis	32
4.5 Simulasi Model <i>Robust Counterpart</i> Masalah Distribusi Vaksin dengan Jumlah Permintaan yang Dinamis dan Tak Pasti	38
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
RIWAYAT HIDUP	44



DAFTAR TABEL

1	Notasi himpunan, parameter, dan variabel yang digunakan dalam model MCLP pada penelitian Church dan Reville (1974)	5
2	Notasi parameter dan variabel yang digunakan dalam model SIR pada penelitian Kermack dan Mckendrick (1927)	9
3	Matriks interaksi \mathcal{M} pada penelitian Ram dan Schaposnik (2021)	11
4	Notasi indeks, parameter, dan variabel yang digunakan dalam model SIR pada penelitian Shamsi Gamchi <i>et al.</i> (2021)	12
5	Notasi himpunan, parameter, dan variabel yang digunakan dalam model deterministik masalah distribusi vaksin dengan dinamika penyebaran penyakit	27
6	Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi model masalah distribusi vaksin dengan jumlah permintaan yang dinamis	34
7	Populasi Individu Rentan saat td	36
8	Jumlah vaksin terdistribusi model masalah distribusi vaksin dengan jumlah permintaan yang dinamis	36
9	Populasi individu rentan dan sisa vaksin	38
10	Populasi individu rentan dengan ketidakpastian saat td	39
11	Jumlah vaksin terdistribusi model masalah distribusi vaksin dengan jumlah permintaan yang dinamis dan tak pasti	40
12	Simulasi perubahan parameter populasi individu rentan	40

Hak Cipta milik IPB University



DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi model MCLP pada penelitian Church dan Revelle (1974)	5
2	Ilustrasi cakupan pelayanan pada penelitian Church dan Revelle (1974)	7
3	Ilustrasi cakupan pelayanan pada penelitian Lim <i>et al.</i> (2016)	7
4	Ilustrasi relaksasi variabel pada penelitian Lusiantoro <i>et al.</i> (2022)	7
5	Ilustrasi model SIR pada penelitian Kermack dan Mckendrick (1927)	9
6	Ilustrasi model SIRD pada penelitian Jason <i>et al.</i> (2021)	10
7	Ilustrasi model SIR pada penelitian yang Ram dan Schaposnik (2021)	10
8	Ilustrasi model SIR pada penelitian Shamsi Gamchi <i>et al.</i> (2021)	14
9	Diagram alur formulasi <i>robust counterpart</i>	19
10	Diagram alur penelitian	22
11	Ilustrasi tingkat pelayanan fasilitas kesehatan	25
12	Ilustrasi model SIR masalah distribusi vaksin.	26
13	Ilustrasi model SIR tanpa pembatasan sosial	35
14	Ilustrasi model SIR dengan pembatasan sosial	35
15	Ilustrasi model SIR setelah distribusi vaksin tanpa pembatasan sosial	37
16	Ilustrasi model SIR setelah distribusi vaksin dengan pembatasan sosial	37
17	Ilustrasi model SIR dengan ketidakpastian populasi individu rentan tanpa pembatasan sosial	39
18	Ilustrasi model SIR dengan ketidakpastian populasi individu rentan dengan pembatasan sosial	39

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.