

JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (*Land Cover*) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma *Random Forest* Pada *Google Earth Engine*

Hajiar Yuliana, Zahra Cahya Hanifa Rizqiana

Perencanaan Sistem Kelistrikan Gedung Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

Mohamad Andriansyah Posumah, Frengki Eka Putra Surusa, Steven Humena, Adnan Qosim, Rahmad Hidayat Boli

Perencanaan Jaringan 5G NR Dengan Metode *Capacity Planning* Menggunakan Frekuensi 2.300 MHz di Area Kota Cimahi

Ni Ketut H.D. , Bagus Suganda Wijaya

Simulasi *Disturbance Observer* pada Sistem Kendali Aliran Cairan Berbasis Mikrokontroler

Dede Irawan Saputra, Dadang Lukman Hakim

Prediksi Semester Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression* dan *Decision Tree Regression*

Eki Ahmad Zaki Hamidi, Edi Mulyana, Dilla Restu Agusthiani, Aldi Fahrudi Muharam



Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Achmad Yani

ISSN 1693-4989



Vol. 22, No. 2, Desember 2024

E-ISSN : 2745-5688 P-ISSN : 1693-4989

EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* adalah jurnal penelitian dan pengkajian aplikasi teknologi dalam bidang teknik elektro dan teknologi informasi yang dikelola oleh Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani. Redaksi menerima tulisan para peneliti di lingkup perguruan tinggi dan lembaga penelitian. Tulisan bisa dalam Bahasa Inggris atau dalam Bahasa Indonesia. Makalah lengkap dikirim dalam bentuk *softcopy* ke alamat redaksi. Makalah akan dimuat apabila mengikuti panduan yang ditetapkan serta setelah mengalami penyuntingan dan penilaian dari redaksi ahli. Penilaian dari redaksi ahli dilaksanakan secara anonim.

PENGELOLA JURNAL

Penanggung Jawab

Dekan Fakultas Teknik Unjani

Pimpinan Umum

Ketua Program Studi Teknik Elektro Unjani

Pimpinan Redaksi

Atik Charisma, S.T., M.T. (Scopus ID : 57188567470) Universitas Jenderal Achmad Yani

Tim Redaksi :

1. Fauzia Haz, S.T., M.T. (Scopus ID : 57215826492) Universitas Jenderal Achmad Yani
2. Dede Furqon Nurjaman, S.T., M.T. (Scopus ID : 57215826304) Universitas Jenderal Achmad Yani
3. Nivika Tifanny Somantri, S.T., M.T. (Scopus ID : 7205030775) Universitas Jenderal Achmad Yani
4. Irvan Budiawan, S.T., M.T. (Scopus ID : 57205060472) Universitas Jenderal Achmad Yani
5. Salita Ulitia Prini, S.Kom., M.T. (Scopus ID : 57208581701) Unit Pusat Riset Elektronika & Telekomunikasi – BRIN
6. Griffani Megiyanto Rahmatullah, S.ST., M.T. (Scopus ID : 57215431443) National Taiwan University of Science and Technology
7. Adnan Raffi Al Tahtawi, S.Pd., M.T. (Scopus ID : 57188575833) Politeknik Negeri Bandung

Epsilon diterbitkan dua (2) kali dalam satu tahun
Alamat Redaksi dan Tata Usaha:
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jenderal Sudirman PO Box 148 Cimahi 40533
Telp./Fax. 022 – 6642063
Website : www.unjani.ac.id
e-mail : jurnal_epsilon@unjani.ac.id

MITRA BESTARI

- Reviewers : 1. Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 55919091000)
2. Handoko Rusian Iskandar, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57194219446)
3. Giri Angga Setia S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215919610)*
4. Dede Irawan Saputa, S.Pd., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215833890)
5. M. Reza Hidayat, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57188573208)
6. Hajiar Yuliana, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57194007789)*
7. Naftalin Winanti, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57200994613)
8. Yurika, S.T., M.T. (Politeknik TEDC Bandug, SINTA ID : 6109670)
9. Antrisha Daneraici Setiawan, S.T., M.T. (University of Electro-Communications, Scopus ID : 57188573899)
10. Hanny Madiawati, S.ST., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 57193823758)*
11. Barokatun Hasanah S.T., M.T. (Institut Teknologi Kalimantan, Scopus ID : 57188567669)
12. Imil Hamda Imran, M.Sc, P.hD (King Fahd University of Petroleum and Minerals, Scopus ID : 57199736015)
13. Nurul Fahmi Arief, S.T., M.T. (Universitas Pendidikan Indonesia, SINTA ID : 6725597)*
14. Anugrah Adiwilaga S.ST., M.T (Universitas Pendidikan Indonesia, Scopus ID : 57194714935)
15. Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T. (Universitas Diponegoro, SINTA ID : 6720123)
16. Christiono, S.T., M.T. (Institut Teknologi PLN, Scopus ID : 6679673)
17. Andi Junaidi, S.T., M.T. (Institut Teknologi PLN, Scopus ID : 57200986174)*
18. Imam Taufiqurrohman, S.Pd., M.T. (Universitas Siliwangi, Scopus ID : 53980722100)*
19. Agus Ramelan, S.Pd., M.T. (Universitas Negeri Solo, Scopus ID : 57203956839)*
20. Steven Humena, S.T., M.T. (Universitas Ichsan Gorontalo, Scopus ID : 57192240068)
21. Ayu Latifah, S.T., M.T. (Institut Teknologi Garut, Scopus ID : 57203959221)
22. Fachrur Razy Rahman, S.T.,M.T. (Politeknik Industri Logam Morowali, Scopus ID : 57280529800)
23. Martin, S.T., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 7202782870)
24. Dinda Ayu Permatasari, S.S.T., M.T. (Politeknik Negeri Malang, Scopus ID : 57209274119)
25. C. Bambang Dwi Kuncoro, Ph.D (National Chin-Yi University of Technology (NCUT), Taiwan, Scopus ID : 56168013600)*
-

DAFTAR ISI

Prediksi Semester Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression* dan *Decision Tree Regression*

Eki Ahmad Zaki Hamidi, Edi Mulyana, Dilla Restu Agusthiani, Aldi Fahruzi M 53 - 62

Simulasi *Disturbance Observer* pada Sistem Kendali Aliran Cairan Berbasis Mikrokontroler

Dede Irawan Saputra, Dadang Lukman Hakim 63 - 72

Perencanaan Jaringan 5G NR Dengan Metode *Capacity Planning* Menggunakan Frekuensi 2.300 MHz di Area Kota Cimahi

Ni Ketut H.D. , Bagus Suganda Wijaya 73 - 87

Perencanaan Sistem Kelistrikan Gedung Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

Mohamad Andriansyah Posumah, Frengki Eka Putra Surusa, Steven Humena, Adnan Qosim, Rahmad Hidayat Boli 88 - 96

Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (*Land Cover*) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma *Random Forest* Pada *Google Earth Engine*

Hajiar Yuliana, Zahra Cahya Hanifa Rizqiana 97 – 106

DARI REDAKSI

Puji syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kelimpahan rahmat-Nya sehingga kami bisa menerbitkan Jurnal EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* Vol. 21 No.1 Juni 2023. Pada edisi ini menerbitkan lima (5) artikel di bidang Teknik Elektro. Artikel tersebut yakni : (1) Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (*Land Cover*) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma *Random Forest* Pada *Google Earth Engine*, (2) Perencanaan Sistem Kelistrikan Gedung Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, (3) Perencanaan Jaringan 5G NR Dengan Metode *Capacity Planning* Menggunakan Frekuensi 2.300 MHz di Area Kota Cimahi, (4) Simulasi *Disturbance Observer* pada Sistem Kendali Aliran Cairan Berbasis Mikrokontroler, (5) Prediksi Semester Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression* dan *Decision Tree Regression*,.

Tim redaksi mengucapkan terimakasih kepada peneliti-peneliti yang berkenan mempublikasikan hasil penelitiannya di Jurnal EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* Vol. 22 No. 2 Desember 2024. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada mitra bestari yang terlibat dalam proses *review* artikel-artikel pada edisi ini. Terimakasih kami ucapkan kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani yang telah mendukung penerbitan artikel-artikel. Besar harapan kami kepada para peneliti, perekayasa dan para fungsional lainnya untuk mempublikasikan hasil penelitiannya pada jurnal kami demi pengembangan ilmu pengetahuan teknologi khususnya di bidang teknik elektro. Kami menerima kritik dan saran untuk kemajuan jurnal EPSILON.

Cimahi, Desember 2024

Dewan Redaksi

Prediksi Semester Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan *Linear Regression, Kernel Ridge Regression dan Decision Tree Regression*

Eki Ahmad Zaki Hamidi^{1*)}, Edi Mulyana²⁾, Dilla Restu Agusthiani³⁾, Aldi Fahruci Muharam⁴⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Elektro

UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan AH. Nasution 104 Bandung 40614

⁴⁾Jurusan Teknik Informatika, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{*)}Korespondensi : ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi semester penyelesaian tugas akhir mahasiswa berdasarkan data transkrip nilai dengan menggunakan tiga algoritma regresi: Linear Regression, Kernel Ridge Regression, dan Decision Tree Regression. Kinerja setiap model dievaluasi menggunakan metrik Mean Squared Error (MSE) dan Mean Absolute Error (MAE). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa Kernel Ridge Regression memiliki performa terbaik dengan nilai MSE sebesar 2,271 dan MAE sebesar 1,251. Sebagai perbandingan, Linear Regression menghasilkan MSE sebesar 5,137 dan MAE sebesar 1,859, sedangkan Decision Tree Regression menghasilkan MSE sebesar 4,1 dan MAE sebesar 1,2. Temuan ini mengindikasikan bahwa Kernel Ridge Regression merupakan metode yang paling efektif untuk memprediksi semester penyelesaian berdasarkan transkrip nilai, memberikan hasil yang lebih akurat dan andal. Penelitian ini berkontribusi pada bidang akademik dengan menunjukkan potensi model pembelajaran mesin dalam memprediksi perkembangan akademik mahasiswa dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan akademik. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar bagi institusi pendidikan untuk mengembangkan strategi akademik yang lebih adaptif dan berbasis data guna meningkatkan efisiensi serta efektivitas pendidikan tinggi secara keseluruhan.

Kata kunci : Prediksi Semester, Tugas Akhir Mahasiswa, *Linear Regression, Kernel Ridge Regression, Decision Tree Regression*, Transkrip Nilai.

Abstract

This study aims to predict the semester of thesis completion for students based on transcript data using three regression algorithms: Linear Regression, Kernel Ridge Regression, and Decision Tree Regression. The performance of each model is evaluated using the Mean Squared Error (MSE) and Mean Absolute Error (MAE) metrics. Experimental results show that Kernel Ridge Regression performs the best, with an MSE of 2.271 and an MAE of 1.251. In comparison, Linear Regression yields an MSE of 5.137 and an MAE of 1.859, while Decision Tree Regression produces an MSE of 4.1 and an MAE of 1.2. These findings indicate that Kernel Ridge Regression is the most effective method for predicting the completion semester based on transcript data, providing more accurate and reliable results. This research contributes to the academic field by demonstrating the potential of machine learning models in predicting students' academic progress and supporting better decision-making in academic management. Thus, the findings of this study can serve as a foundation for educational institutions to develop more adaptive and data-driven academic strategies to enhance the efficiency and effectiveness of higher education.

Keywords : Semester Prediction, Student Thesis, *Linear Regression, Kernel Ridge Regression, Decision Tree Regression, Academic Transcripts.*

Info Makalah:

Dikirim : 01-20-2025;
Revisi 1 : 02-03-2025;
Revisi 2 : mm-dd-yy;
Diterima : 02-05-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-852-2412-6792
e-mail : ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id

I. PENDAHULUAN

Penyelesaian tugas akhir mahasiswa menjadi salah satu indikator penting dalam menilai keberhasilan akademik dan kualitas pendidikan di perguruan tinggi. Tantangan utama dalam dunia pendidikan tinggi adalah memahami dan memprediksi faktor-faktor yang memengaruhi waktu penyelesaian tugas akhir. Prediksi yang akurat mengenai semester penyelesaian tugas akhir dapat membantu pengelola program studi untuk mengidentifikasi mahasiswa yang berpotensi mengalami keterlambatan. Dengan demikian, intervensi yang tepat waktu dapat dilakukan untuk mendukung mahasiswa menyelesaikan studi mereka sesuai jadwal. Salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam memprediksi semester penyelesaian tugas akhir adalah penerapan pembelajaran mesin (*machine learning*) berbasis data transkrip nilai[1].

Transkrip nilai mahasiswa berisi informasi penting mengenai kinerja akademik sepanjang masa studi, seperti nilai mata kuliah, indeks prestasi, dan jumlah kredit yang telah diselesaikan. Data ini memiliki potensi besar untuk digunakan dalam prediksi akademik karena mencerminkan pola dan tren kinerja mahasiswa. Namun, sifat data transkrip yang sering kali kompleks dan non-linear memerlukan metode analisis yang tepat untuk menghasilkan prediksi yang akurat. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan tiga algoritma regresi, yaitu *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*, untuk memprediksi semester penyelesaian tugas akhir berdasarkan data transkrip nilai mahasiswa [2].

Ketiga algoritma ini dipilih karena mewakili pendekatan yang berbeda dalam regresi. *Linear Regression* dipilih dalam penelitian ini karena sifatnya yang sederhana dan kemampuannya dalam memodelkan hubungan linear antara variabel independen (nilai transkrip) dan variabel dependen (semester tugas akhir). Model ini sering digunakan sebagai baseline untuk membandingkan performa model lainnya. *Kernel Ridge Regression*, sebagai pengembangan dari *Linear Regression*, menawarkan fleksibilitas tambahan dengan menggunakan fungsi kernel untuk menangkap pola data yang lebih kompleks dan non-linear. Sementara itu, *Decision Tree Regression* dipilih karena kemampuannya menangani data non-linear dengan baik dan menghasilkan model yang dapat diinterpretasikan dengan mudah. Setiap algoritma memiliki kelebihan dan kekurangan yang dapat diukur melalui berbagai metrik evaluasi [3][4].

Dalam penelitian ini, performa ketiga model dievaluasi menggunakan metrik *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). MSE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi secara keseluruhan, sedangkan MAE memberikan gambaran rata-rata kesalahan absolut dalam prediksi. Dengan membandingkan hasil ketiga model ini, penelitian bertujuan untuk menentukan algoritma yang paling sesuai untuk memprediksi semester tugas akhir mahasiswa berdasarkan data transkrip. Selain itu, evaluasi terhadap efisiensi dan kecepatan komputasi juga dilakukan untuk memastikan implementasi model dapat diterapkan secara praktis dalam pengelolaan akademik[5][6].

Makalah ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang prediksi akademik, terutama dalam mendukung pengelolaan pendidikan di perguruan tinggi. Dengan menggunakan pendekatan berbasis pembelajaran mesin, hasil penelitian ini dapat membantu institusi pendidikan dalam mengidentifikasi mahasiswa yang berisiko mengalami keterlambatan tugas akhir dan memberikan solusi yang lebih terarah. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan dalam mengembangkan model prediksi yang lebih akurat dan efisien untuk berbagai kebutuhan akademik.

II. STUDI LITERATUR

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Naufal Faruqhy, dkk, tentang "*Prediksi Prestasi Nilai Akademik Mahasiswa Menggunakan Metode Multiple Linear Regression*," bertujuan memprediksi prestasi akademik mahasiswa berdasarkan jalur masuk perguruan tinggi, sehingga mahasiswa dapat memperoleh gambaran mengenai Indeks Prestasi Semester (IPS) pada semester berikutnya. Variabel independen yang digunakan dalam penelitian ini adalah jalur masuk perguruan tinggi dan IPS

sebelumnya, dengan sampel penelitian berasal dari mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Pengembangan sistem menggunakan metode *waterfall*, sementara pengujian simpangan error dilakukan menggunakan *Mean Error* (ME), *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Squared Error* (MSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percent Error* (MAPE). Pengujian fungsional sistem dengan metode *Black Box* menunjukkan keberhasilan 100% berdasarkan skenario pengujian yang dirancang. Hasil eksperimen menunjukkan tingkat error sebesar ME 0,12, MAD 0,15, MSE 1,53, RMSE 1,24, dan MAPE 4,05%, yang mengindikasikan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memprediksi prestasi akademik mahasiswa[7].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Anita Qoiriah dan tim membahas prediksi nilai akhir mahasiswa pada mata kuliah Pemrograman Dasar menggunakan metode regresi. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai akhir mahasiswa, sedangkan variabel bebas meliputi satu nilai tugas teori, dua nilai tugas praktikum, dan satu nilai UTS. Data yang digunakan terdiri dari hasil pembelajaran sebanyak 105 mahasiswa, yang kemudian dibagi secara acak menjadi dua kelompok: 75% sebagai data pelatihan (*training*) dan 25% sebagai data pengujian (*testing*). Dari empat model yang dikembangkan, model ketiga menunjukkan performa terbaik dengan nilai RMSE sebesar 1,949. Model ini menggunakan kombinasi prediktor berupa nilai tugas teori, dua nilai praktikum, dan nilai UTS[8].

Penelitian yang dilakukan oleh Althof Thabibi dan tim membandingkan performa model *Multiple Linear Regression* (MLR) dan *Decision Tree Regression* (DTR) dalam memprediksi harga saham Telkom, Indosat, dan XL. Penelitian ini memanfaatkan machine learning berbasis regresi untuk memprediksi data secara akurat. Pengujian dilakukan menggunakan tiga skema pembagian data, yaitu 80:20, 70:30, dan 60:40, dengan evaluasi *error* pada setiap model regresi untuk menentukan model terbaik dalam mengolah dataset. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan performa yang signifikan antara MLR dan DTR. Model MLR menghasilkan performa terbaik pada metrik MAE dengan skema 70:30, yaitu sebesar 0.008, sedangkan pada metrik RMSE dan MAPE, performa terbaik diperoleh menggunakan skema 60:40 dengan nilai masing-masing 2.591 dan 0.852. Sementara itu, model DTR menunjukkan hasil terbaik menggunakan skema 80:20, dengan nilai MAE sebesar 0.013, RMSE sebesar 4.014, dan MAPE sebesar 1.287. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa model MLR lebih unggul untuk digunakan pada dataset saham perusahaan telekomunikasi selama lima tahun terakhir, karena memiliki nilai *error* yang lebih kecil dibandingkan dengan model DTR, meskipun hasilnya bervariasi pada skema pembagian data yang berbeda[9].

Penelitian yang dilakukan oleh William Jaya Mangala Putra dan tim menganalisis algoritma *regresi linear* dan *Decision Tree* dalam memprediksi penjualan produk. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi hasil penjualan di *Lookma Boutique* guna mengevaluasi efektivitas penjualan berdasarkan popularitas produk, yang diukur melalui total produk yang dibayar dan pesanan yang dibuat. Perbandingan dilakukan antara algoritma Regresi Linear dan Decision Tree, yang keduanya dikenal unggul dalam prediksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa evaluasi menggunakan metrik *Mean Absolute Error* (MAE) menghasilkan nilai sebesar 0.84, *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 1.79, dan *R² Score* sebesar 1.00, yang mengindikasikan kinerja prediksi yang sangat baik[10].

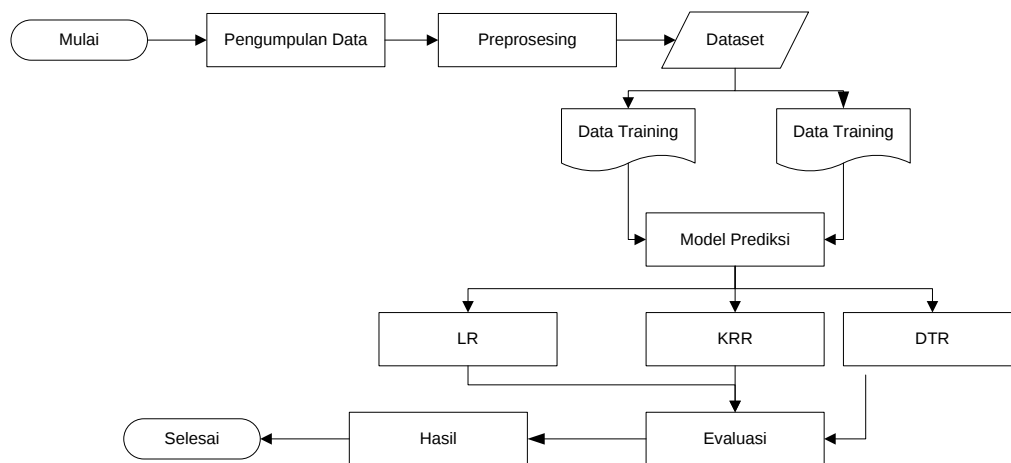
Penelitian yang ada sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Muhammad Naufal Faruqhy dan tim, berfokus pada prediksi prestasi akademik mahasiswa berdasarkan jalur masuk perguruan tinggi dan Indeks Prestasi Semester (IPS) sebelumnya dengan menggunakan metode *Multiple Linear Regression*. Namun, penelitian ini hanya mempertimbangkan variabel terbatas dan tidak mengeksplorasi faktor akademik yang lebih holistik, seperti data transkrip nilai lengkap yang mencakup seluruh riwayat akademik mahasiswa. Hal ini memberikan celah dalam literatur untuk memperluas cakupan variabel yang digunakan dalam prediksi perkembangan akademik, khususnya untuk prediksi penyelesaian tugas akhir mahasiswa yang melibatkan lebih dari sekedar prestasi masa lalu, tetapi juga dinamika kinerja akademik secara keseluruhan.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Anita Qoiriah dan tim hanya memfokuskan pada prediksi nilai akhir mahasiswa dalam mata kuliah tertentu, dengan variabel terbatas pada nilai tugas teori, praktikum, dan UTS, tanpa mempertimbangkan aspek longitudinal atau performa keseluruhan mahasiswa dalam menyelesaikan studi mereka. Penelitian ini tidak menyentuh bagaimana seluruh transkrip nilai dapat digunakan untuk memprediksi sesuatu yang lebih kompleks, seperti waktu penyelesaian tugas akhir. Penelitian yang diusulkan bertujuan untuk mengisi gap ini dengan memfokuskan pada prediksi semester penyelesaian tugas akhir mahasiswa berdasarkan data transkrip nilai lengkap, serta membandingkan kinerja tiga algoritma regresi—*Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*—dalam menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

III. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini mengusulkan model prediksi menggunakan algoritma *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression* dan *Decision Tree Regression*, yang dievaluasi berdasarkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk mencapai tingkat akurasi yang lebih tinggi. Gambaran arsitektur sistem yang merepresentasikan penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 memperlihatkan diagram alir metode penelitian berjudul "Prediksi Semester Ujian Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*." Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merumuskan tujuan serta menetapkan hipotesis bahwa ketiga metode regresi tersebut—*Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*—dapat digunakan untuk memprediksi semester ujian tugas akhir mahasiswa berdasarkan data transkrip nilai mahasiswa.

B. Preprocessing

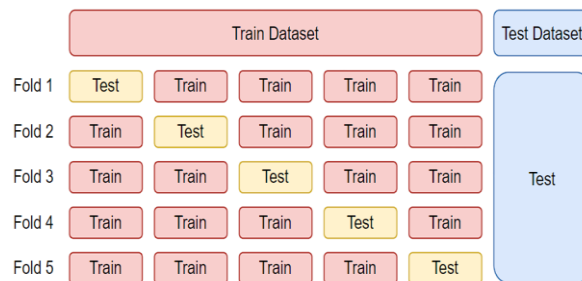
Sebelum pengujian dilakukan, data mentah disaring dengan menghapus faktor-faktor yang tidak relevan untuk algoritma *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*, seperti NIM, Nama, Angkatan, Tanggal Masuk, dan Tanggal Sidang. Tabel 1 berikut menampilkan hasil proses seleksi data yang relevan, di mana status kelulusan diubah menjadi label dalam perangkat lunak RapidMiner untuk digunakan sebagai dasar dalam membangun model prediksi dengan *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*.

Tabel 1 Data Nilai Mahasiswa

No	Smt	IPK	Yud	El	...	TA	SKS
0	9	3,64	2	12	...	24	469
1	11	3,32	2	6	...	24	422
2	9	3,36	2	12	...	24	434
3	9	3,45	2	9	...	24	439
4	9	3,46	2	12	...	24	445

Proses *preprocessing* pada Tabel 1 melibatkan pembulatan nilai dalam kolom "semester" dan mengubahnya menjadi tipe data integer. Selain itu, dilakukan pemetaan nilai yudisium dari bentuk teks ke bentuk numerik berdasarkan aturan yang telah ditentukan, yaitu "sangat memuaskan" dipetakan menjadi 2, "pujian" menjadi 3, dan "memuaskan" menjadi 1. Hasil pemetaan ini diterapkan pada kolom yudisium. Sementara itu, nilai Tugas Akhir dihitung berdasarkan nilai mahasiswa (A, B, atau C) yang kemudian dikalikan dengan bobot 6 SKS. Data yang telah diproses kemudian dipisahkan menjadi fitur (x) dan target (y), di mana kolom "semester" digunakan sebagai target, sedangkan kolom lainnya digunakan sebagai fitur.

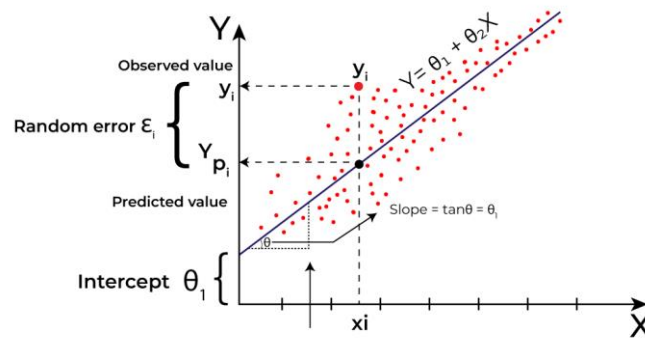
Dataset selanjutnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu 80% untuk data pelatihan (train) dan 20% untuk data pengujian (test). Data pengujian diolah lebih lanjut menggunakan metode *K-Fold Cross Validation* (KCV), di mana dataset dibagi menjadi K subset yang digunakan secara bergantian untuk melatih model dan mengevaluasi performanya secara iteratif. Dalam penelitian ini, dataset dibagi menjadi lima subset untuk pelatihan (train) dan pengujian (test), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Dataset 5-Fold Cross Validation

C. Linear Regression

Regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen. Teknik ini memberikan wawasan yang mendalam dalam analisis dan prediksi data. Model regresi ini menghasilkan koefisien yang secara jelas menunjukkan pengaruh masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen. Garis Regresi Terbaik menggambarkan hubungan linear antara variabel-variabel tersebut, di mana kemiringan garis mencerminkan besarnya perubahan pada variabel dependen untuk setiap perubahan satu unit pada variabel independen[11][12].



Gambar 3 Linear Regression

D. Kernel Ridge Regression

Kernel Ridge Regression (KRR) adalah metode yang efektif dalam *scikit-learn* untuk menyelesaikan masalah regresi, terutama saat menghadapi hubungan non-linear antara fitur dan variabel target. Teknik ini memungkinkan pemodelan hubungan non-linear yang kompleks, sehingga menjadi alat yang sangat berguna dalam analisis data. *Ridge Regression* (RR) sendiri adalah metode regresi sederhana namun kuat untuk prediksi, dan ketika kernel diterapkan pada RR (menjadi KRR), teknik ini mampu memetakan data input dalam ruang *non-linear* yang telah ditransformasikan, menjadikannya sangat cocok untuk analisis data deret waktu [13][14].

E. Decision Tree Regression

Decision Tree Regression merupakan algoritma yang banyak digunakan dalam pembelajaran mesin untuk tugas pemodelan prediktif. Ini merupakan alat yang ampuh yang dapat menangani masalah klasifikasi dan regresi, sehingga serbaguna untuk berbagai aplikasi. Namun, seperti algoritma lainnya, *Decision Tree Regression* memiliki kelebihan dan kekurangan. *Decision Tree Regression* adalah algoritma serbaguna yang dapat digunakan secara strategis dalam berbagai skenario tergantung pada sifat data dan persyaratan spesifik masalah yang dihadapi [15][16][17].

F. Metrik Evaluasi

Dalam penelitian ini, kinerja model regresi dievaluasi menggunakan dua metrik utama, yaitu *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). MSE mengukur rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi, di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan bahwa model memiliki akurasi yang lebih baik dalam melakukan estimasi. Sementara itu, MAE menghitung rata-rata selisih absolut antara nilai aktual dan prediksi, memberikan gambaran yang lebih intuitif mengenai tingkat kesalahan dalam satuan semester. Kedua metrik ini digunakan untuk menilai sejauh mana model dapat memprediksi semester penyelesaian tugas akhir mahasiswa dengan tingkat kesalahan yang minimal. Model dengan nilai MSE dan MAE yang lebih kecil dianggap lebih akurat dalam memprediksi semester penyelesaian tugas akhir mahasiswa. Perbandingan antara kedua metrik ini membantu dalam memahami sejauh mana tingkat kesalahan yang dihasilkan oleh masing-masing model serta karakteristik kesalahan prediksi yang terjadi. Selain itu, evaluasi menggunakan kedua metrik ini juga memberikan wawasan mengenai efektivitas pendekatan regresi yang digunakan dalam penelitian ini [18].

IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Machine Learning Model

Model *Machine Learning* ini dikembangkan, dilatih, dan dievaluasi menggunakan *TensorFlow* untuk implementasi *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*. Model didefinisikan dengan menggunakan *Sequential API*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, yang terdiri dari enam lapisan *Dense*. Lima lapisan pertama memiliki masing-masing 512 unit dengan fungsi aktivasi *ReLU*, sedangkan lapisan terakhir memiliki satu unit output. Model dikompilasi menggunakan optimizer *Adam* dengan *learning rate* sebesar 1×10^{-3} , menggunakan fungsi kerugian *Mean Squared*

Prediksi Semester Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan Linear Regression, Kernel Ridge Regression dan Decision Tree Regression
(Eki Ahmad Zaki Hamidi, Edi Mulyana, Dilla Restu Agusthiani, Aldi Fahrudi Muharam :
Halaman 53 - 62)

Error (MSE) dan metrik evaluasi *Mean Absolute Error* (MAE). Proses pelatihan dilakukan pada data pelatihan selama 1000 epoch untuk setiap *fold* dalam validasi.

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_6 (Dense)	(None, 512)	32,768
dense_7 (Dense)	(None, 512)	262,656
dense_8 (Dense)	(None, 512)	262,656
dense_9 (Dense)	(None, 512)	262,656
dense_10 (Dense)	(None, 512)	262,656
dense_11 (Dense)	(None, 1)	513

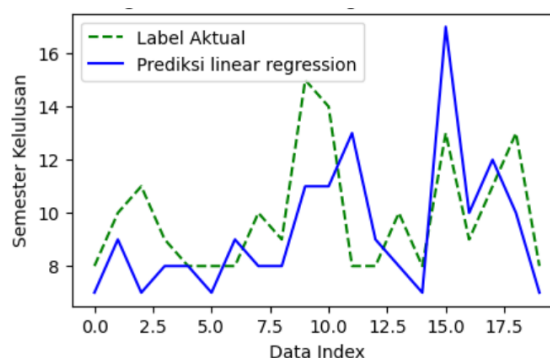
Total params: 3,251,717 (12.40 MB)
Trainable params: 1,083,905 (4.13 MB)
Non-trainable params: 0 (0.00 B)
Optimizer params: 2,167,812 (8.27 MB)

Gambar 4 Arsitektur model menggunakan Sequential API dengan beberapa lapisan Dense.

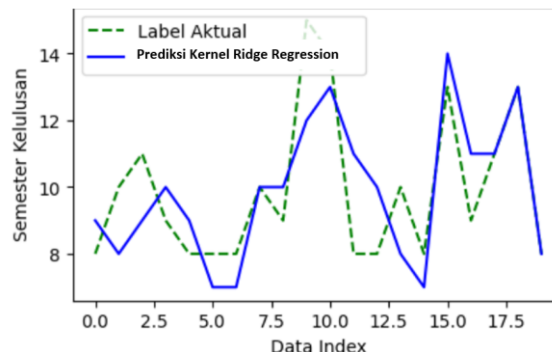
Evaluasi model dalam penelitian berjudul "Prediksi Semester Ujian Tugas Akhir Mahasiswa Berdasarkan Transkrip Nilai Menggunakan *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*" merupakan tahap yang sangat penting. Tahap ini bertujuan untuk menilai seberapa baik model mampu memprediksi semester ujian tugas akhir berdasarkan data transkrip nilai yang telah melalui tahap *preprocessing*. Proses evaluasi dilakukan menggunakan dua metrik utama, yaitu *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE), yang memberikan wawasan komprehensif terhadap kinerja model. *Mean Squared Error* (MSE) adalah metrik evaluasi yang menghitung rata-rata kuadrat selisih antara nilai prediksi dan nilai aktual. Dengan memberikan bobot lebih besar pada kesalahan besar, MSE sangat efektif dalam mengidentifikasi prediksi yang meleset jauh dari nilai sebenarnya. Nilai MSE yang lebih rendah menunjukkan bahwa model mampu menghasilkan prediksi yang lebih akurat secara konsisten, dengan sedikit kesalahan signifikan.

Sementara itu, *Mean Absolute Error* (MAE) adalah metrik yang menghitung rata-rata selisih absolut antara nilai prediksi dan nilai sebenarnya. Berbeda dengan MSE, MAE memberikan gambaran yang lebih langsung tentang rata-rata tingkat kesalahan prediksi tanpa memperbesar pengaruh dari kesalahan ekstrem. Hal ini menjadikan MAE sebagai metrik yang intuitif untuk memahami kesalahan prediksi dalam satuan yang sama dengan variabel target. Kombinasi antara MSE dan MAE memberikan pendekatan evaluasi yang menyeluruh. MSE membantu mendeteksi kesalahan besar yang mungkin terjadi, sementara MAE memberikan gambaran rata-rata kesalahan secara umum. Dengan menggunakan kedua metrik ini, penelitian dapat mengevaluasi kinerja model secara mendalam, memastikan bahwa model yang dihasilkan tidak hanya akurat tetapi juga dapat diandalkan dalam memprediksi semester ujian tugas akhir mahasiswa.

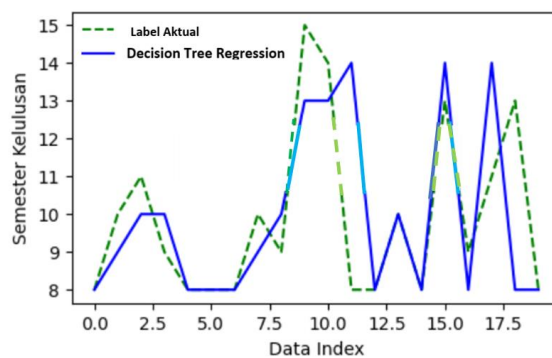
Dalam penelitian ini, perbandingan prediksi dengan label aktual digunakan untuk mengukur efektivitas kedua model tersebut dalam memprediksi semester ujian tugas akhir mahasiswa. Seperti pada gambar 5,6 dan 7 dibawah ini.



Gambar 5 Perbandingan Prediksi dan Label Data Aktual (*Linear Regression*)



Gambar 6 Perbandingan Prediksi dan Label Data Aktual (*Kernel Ridge Regression*)



Gambar 7 Perbandingan Prediksi dan Label Data Aktual (*Decision Tree Regression*)

Gambar 5,6, dan 7, menunjukkan perbandingan antara hasil prediksi model dengan label data aktual untuk tiga algoritma regresi yang digunakan dalam penelitian, yaitu *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*. Perbandingan kinerja model, evaluasi dilakukan untuk mengukur efektivitas masing-masing algoritma regresi dalam memprediksi semester penyelesaian tugas akhir mahasiswa. Analisis dilakukan berdasarkan dua metrik utama, yaitu *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE), yang digunakan untuk menilai tingkat kesalahan prediksi dari setiap model. Tabel 2 menyajikan ringkasan hasil evaluasi dari *Linear Regression*, *Kernel Ridge Regression*, dan *Decision Tree Regression*, termasuk nilai MSE, MAE, serta interpretasi terhadap performa masing-masing model.

Tabel 2 Perbandingan Kinerja Model dalam Prediksi Semester Penyelesaian Tugas Akhir

Model	Mean Squared Error (MSE)	Mean Absolute Error (MAE)	Kesimpulan
<i>Linear Regression</i>	5.5	1.9	Model dapat mengikuti tren data aktual, tetapi terdapat perbedaan signifikan di beberapa titik data, menunjukkan tingkat kesalahan yang relatif tinggi.
<i>Kernel Ridge Regression</i>	2.35	1.25	Model memiliki performa terbaik, mampu menangkap pola non-linear dengan lebih baik dan menghasilkan tingkat kesalahan yang lebih kecil.
<i>Decision Tree Regression</i>	4.1	1.2	Model cukup baik dalam menangkap pola data, namun fluktuasi tajam di beberapa titik masih menyebabkan

			tingkat kesalahan yang lebih tinggi dibandingkan Kernel Ridge Regression.
--	--	--	---

Berdasarkan hasil yang ditampilkan dalam Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa *Kernel Ridge Regression* memiliki performa terbaik dibandingkan dua model lainnya, dengan nilai MSE sebesar 2.35 dan MAE sebesar 1.25. Model ini mampu menangkap pola data secara lebih akurat, termasuk hubungan non-linear yang kompleks, sehingga menghasilkan tingkat kesalahan yang lebih rendah.

Sementara itu, *Linear Regression* menunjukkan performa yang paling rendah dengan MSE sebesar 5.5 dan MAE sebesar 1.9, yang mengindikasikan bahwa model ini kurang mampu menangkap pola yang lebih kompleks dalam data transkrip nilai mahasiswa. *Decision Tree Regression* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan *Linear Regression* dengan MSE sebesar 4.1 dan MAE sebesar 1.2, namun masih kurang optimal dibandingkan *Kernel Ridge Regression*. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan *Kernel Ridge Regression* lebih direkomendasikan dalam memprediksi semester penyelesaian tugas akhir mahasiswa karena memberikan estimasi yang lebih akurat dan stabil.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *Kernel Ridge Regression* adalah algoritma terbaik untuk memprediksi semester kelulusan mahasiswa berdasarkan data transkrip nilai. Dibandingkan dengan *Linear Regression* dan *Decision Tree Regression*, *Kernel Ridge Regression* memiliki performa yang lebih baik, dengan MSE 2.35 dan MAE 1.25, yang menunjukkan prediksi yang lebih akurat dan kesalahan yang lebih kecil. *Linear Regression*, meskipun mampu mengikuti tren data, memiliki kesalahan yang lebih tinggi (MSE 5.5, MAE 1.9), sehingga kurang efektif dalam memberikan prediksi yang akurat. Di sisi lain, *Decision Tree Regression*, meskipun lebih baik dari *Linear Regression* (MSE 4.1, MAE 1.2), tetap kalah dalam hal akurasi dibandingkan *Kernel Ridge Regression*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk tugas prediksi semester kelulusan mahasiswa, *Kernel Ridge Regression* lebih dapat diandalkan dalam menangani hubungan non-linear antar data, memberikan kesalahan prediksi yang lebih kecil, dan lebih efektif dalam menganalisis pola yang kompleks. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan faktor-faktor non-akademik dan pendekatan feature engineering yang lebih mendalam untuk meningkatkan akurasi prediksi. Dengan pengembangan lebih lanjut, diharapkan model ini dapat diimplementasikan dalam sistem akademik universitas untuk membantu dosen pembimbing dan pihak akademik dalam memberikan rekomendasi yang lebih akurat terkait progres studi mahasiswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada LPPM UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang sudah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. Anagnostopoulos, D. Papakyriakopoulos, Y. Psaromiligkos, and S. Retalis, "Exploiting LSTM Neural Network Algorithm Potentiality for Early Identification of Delayed Graduation in Higher Education," *WSEAS Trans. Inf. Sci. Appl.*, vol. 21, pp. 524–532, 2024, doi: 10.37394/23209.2024.21.48.

[2] P. Kalyane, J. Damania, H. Patil, M. Wardule, and P. Shahane, "Student's Performance Prediction Using Decision Tree Regressor," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 2092 CCIS, pp. 286–302, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-64070-4_18.

[3] L. Delnoij *et al.*, "Predicting Completion: The Road to Informed Study Decisions in Higher Online Education," *Front. Educ.*, vol. 6, no. July, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3389/feduc.2021.668922.

[4] R. Bakri, N. P. Astuti, and A. S. Ahmar, "Machine Learning Algorithms with Parameter Tuning to Predict Students' Graduation-on-time: A Case Study in Higher Education," *J. Appl. Sci. Eng. Technol. Educ.*, vol. 4, no. 2, pp. 259–265, 2022, doi: 10.35877/454ri.asci1581.

[5] A. B. Hassanat *et al.*, "A Novel Outlier-Robust Accuracy Measure for Machine Learning Regression Using

- a Non-Convex Distance Metric,” *Mathematics*, vol. 12, no. 22, pp. 1–20, 2024, doi: 10.3390/math12223623.
- [6] S. M. Robeson and C. J. Willmott, “Decomposition of the mean absolute error (MAE) into systematic and unsystematic components,” *PLoS One*, vol. 18, no. 2 February, pp. 1–8, 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0279774.
- [7] M. N. Faruqhy, D. Andreswari, and J. P. Sari, “Prediksi Prestasi Nilai Akademik Mahasiswa Berdasarkan Jalur Masuk Perguruan Tinggi Menggunakan Metode Multiple Linear Regression (Studi Kasus: Fakultas Teknik Universitas Bengkulu),” *Rekursif J. Inform.*, vol. 9, no. 2, pp. 172–183, 2021, doi: 10.33369/rekursif.v9i2.17108.
- [8] A. Qoiriah and Y. Yamasari, “Prediksi Nilai Akhir Mahasiswa Dengan Metode Regresi (Studi Kasus Mata Kuliah Pemrograman Dasar),” *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 40–43, 2021, doi: 10.26740/jieet.v5n1.p40-43.
- [9] A. Thabibi and R. Supriyanto, “Perbandingan Model Multiple Linear Regression Dan Decision Tree Regression (Studi Kasus: Prediksi Harga Saham Telkom, Indosat, Dan Xl),” *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 28, no. 1, pp. 78–92, 2023, doi: 10.35760/tr.2023.v28i1.6081.
- [10] W. J. M. Putra, “Analisa Algoritma Regresi Linear dan Decision Tree Dalam Prediksi Penjualan Produk (Studi Kasus : Lookma Boutique),” *Skripsi*, p. 31, 2022, [Online]. Available: <https://lib.mercubuana.ac.id/>
- [11] N. Roustaei, “Application and interpretation of linear-regression analysis,” *Med. Hypothesis, Discov. Innov. Ophthalmol.*, vol. 13, no. 3, pp. 151–159, 2024, doi: 10.51329/mehdiophthal1506.
- [12] D. Mustofani, H. Hariyani, A. Afif, D. I. Oktaviasari, and B. Y. Ariadhita, “Analisis Data Hubungan Antar Variabel Pada Pengetahuan Swamedikasi,” *Unisda J. Math. Comput. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 12–17, 2024, doi: 10.52166/ujmc.v10i1.6701.
- [13] A. A. Masrur Ahmed, E. Sharma, S. Janifer Jabin Jui, R. C. Deo, T. Nguyen-Huy, and M. Ali, “Kernel Ridge Regression Hybrid Method for Wheat Yield Prediction with Satellite-Derived Predictors,” *Remote Sens.*, vol. 14, no. 5, 2022, doi: 10.3390/rs14051136.
- [14] Putri R.A, Winahju W.S, and Mashuri Muhammad, “Penerapan Metode Ridge Regression danSupport Vector Regression (SVR) untukPrediksi Indeks Batubara di PT XYZ,” *J. Sains Dan Seni Its*, vol. 9, no. 1, pp. 64–71, 2020.
- [15] B. B. Acharya and G. D. Shaileshbhai, “Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms : KNN , SVM , Decision Tree and Logistic,” no. November, 2024.
- [16] I. Septian *et al.*, “Decision Tree Regression untuk Prediksi Prevalensi Stunting di Provinsi Nusa Tenggara Timur,” vol. 10, no. 2, pp. 413–427, 2024.
- [17] I. Azure, “Predictive modeling for industrial productivity: Evaluating linear regression and decision tree regressor approaches,” *J. AppliedMath*, vol. 2, no. 4, p. 1435, 2024, doi: 10.59400/jam.v2i4.1435.
- [18] F. Rachmawati, J. Jaenudin, N. B. Ginting, and P. Laksono, “Machine Learning for the Model Prediction of Final Semester Assessment (FSA) using the Multiple Linear Regression Method,” *J. Tek. Inform.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.15408/jti.v17i1.28652.

Simulasi *Disturbance Observer* pada Sistem Kendali Aliran Cairan Berbasis Mikrokontroler

Dede Irawan Saputra ^{1*)}, Dadang Lukman Hakim ²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi, Indonesia

²⁾Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No. 207 Bandung, Indonesia

^{*)}Korespondensi : dedeirawan.saputra@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas desain dan implementasi sistem kendali aliran cairan berbasis pengendali PID yang dilengkapi dengan *Disturbance Observer* (DOB). Sistem ini dirancang untuk mengkompensasi pengaruh gangguan eksternal yang dapat mengganggu performa kendali. Proses desain dimulai dengan memodelkan dinamika sistem menggunakan persamaan matematis, diikuti oleh perancangan kontroler PID untuk mengatur aliran sesuai setpoint yang diinginkan. DOB dirancang dengan memanfaatkan model *invers* sistem untuk memperkirakan gangguan yang terjadi dan mengkompensasi efeknya pada sinyal kontrol secara real-time. Simulasi dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem dengan dan tanpa DOB dalam menghadapi gangguan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dengan DOB memiliki performa yang lebih baik, dengan respons yang lebih stabil, waktu pemulihan lebih cepat, dan kesalahan *steady-state* yang lebih kecil dibandingkan sistem tanpa DOB. Hal ini menegaskan keefektifan DOB dalam meningkatkan *robustnes* sistem kendali terhadap gangguan eksternal.

Kata kunci : Kendali aliran cairan, Disturbance observer, Kendali PID

Abstract

This research discusses the design and implementation of a PID controller-based liquid flow control system equipped with a Disturbance Observer (DOB). The system is designed to compensate for the influence of external disturbances that can interfere with control performance. The design process starts with modeling the system dynamics using mathematical equations, followed by designing a PID controller to regulate the flow according to the desired setpoint. The DOB is designed by utilizing the inverse model of the system to estimate the disturbances that occur and compensate for their effects on the control signals in real-time. Simulations were conducted to compare the performance of the system with and without DOB in the face of disturbances. The results show that the system with DOB has better performance, with more stable response, faster recovery time, and smaller steady-state error than the system without DOB. This confirms the effectiveness of DOB in improving the robustness of the control system against external disturbances.

Keywords : Liquid flow control, Disturbance observer, PID

I. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan utama dalam desain sistem kendali adalah kemampuan sistem untuk bertahan terhadap gangguan eksternal yang dapat mempengaruhi kinerja. Gangguan ini bisa berupa gangguan konstan, seperti bias pada sensor, maupun gangguan yang bervariasi, seperti perubahan beban atau fluktuasi lingkungan. Dalam sistem kontrol konvensional, seperti pengendali PID [1],

kemampuan untuk menahan gangguan sering kali menjadi indikator utama keberhasilan desain. Namun, pada praktiknya, banyak sistem yang hanya efektif terhadap gangguan tertentu atau memiliki

Info Makalah:

Dikirim : 01-18-2025;
Revisi 1 : 01-22-2025;
Revisi 2 : mm-dd-yy;
Diterima : 01-22-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-896-2300-1126
e-mail : dedeirawan.saputra@lecture.unjani.ac.id

keterbatasan dalam menghadapi gangguan dinamis yang berubah-ubah. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan tambahan untuk meningkatkan *robustnes* sistem agar dapat tetap stabil dan akurat dalam berbagai kondisi [2].

Salah satu teknik yang efektif untuk menghalau gangguan adalah *Disturbance Observer* (DOB) [3]. DOB bekerja dengan memperkirakan besarnya gangguan secara real-time menggunakan model sistem, sehingga gangguan tersebut dapat dikompensasi langsung pada sinyal kontrol. Prosedur utama dalam desain DOB melibatkan tiga langkah utama [4]: pertama, menentukan model matematis sistem yang akan digunakan sebagai basis estimasi; kedua, merancang filter yang digunakan untuk memisahkan gangguan dari sinyal kontrol; dan ketiga, mengimplementasikan kompensasi gangguan dalam algoritma pengendalian. DOB memiliki kelebihan dalam hal fleksibilitas, karena dapat diterapkan pada berbagai jenis pengendali, termasuk PID, dan efektivitasnya telah terbukti dalam berbagai aplikasi industri [5]. Dengan DOB, sistem kendali tidak hanya lebih *robust*, tetapi juga mampu mempertahankan performa optimal [6] meskipun menghadapi gangguan yang kompleks dan tidak terprediksi [7].

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi pada sebuah skema sistem kendali untuk proses pendistribusian cairan yang memerlukan laju aliran sesuai dengan yang diharapkan dan mampu bertahan terhadap berbagai jenis gangguan. Sistem ini dapat terdiri dari komponen utama seperti sensor aliran yang berfungsi mengukur laju aliran cairan secara real-time, pompa sebagai aktuator untuk mendistribusikan cairan, dan mikrokontroler sebagai pengendali utama. Mikrokontroler dirancang untuk mengimplementasikan pengendali PID yang dilengkapi dengan DOB guna meningkatkan *robustnes* sistem terhadap gangguan eksternal.

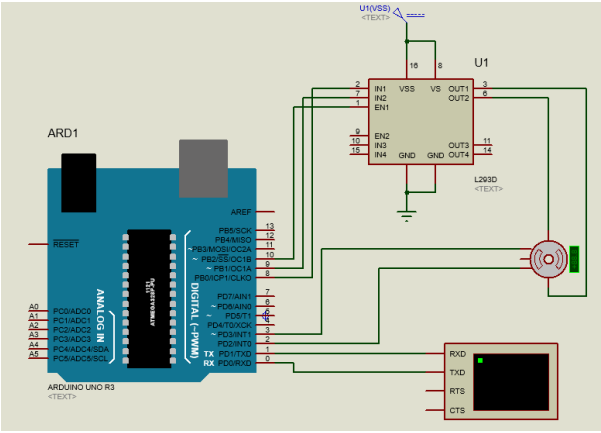
Dalam skema ini, DOB digunakan untuk memperkirakan gangguan yang mempengaruhi performa sistem, baik yang bersifat konstan maupun yang bervariasi, seperti perubahan beban kerja pompa atau fluktuasi aliran cairan. Gangguan-gangguan tersebut akan disimulasikan dan dianalisis pengaruhnya terhadap sistem dengan dan tanpa DOB menggunakan perangkat lunak proteus. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas DOB dalam meningkatkan stabilitas sistem karena sistem dengan pengendali PID saja sudah cukup untuk mengendalikan [8] agar sistem sesuai dengan yang diharapkan. Peningkatan performa seperti dapat menghalau gangguan yang bervariasi akan menjadi kelebihan lain dari sistem dinamik seperti mempertahankan laju aliran yang diinginkan, dan meminimalkan kesalahan *steady-state* meskipun dihadapkan pada gangguan yang dinamis. Hasil simulasi akan menunjukkan perbandingan performa sistem, sehingga dapat disimpulkan peran penting DOB dalam memastikan keberlanjutan proses distribusi cairan yang andal dan presisi.

II. METODE

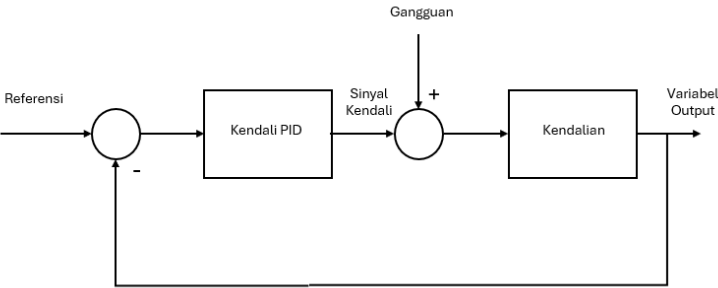
A. System Development Life Cycle

Perancangan sistem kendali aliran cairan menggunakan pendekatan *System Development Life Cycle* (SDLC) dimulai dari tahap perencanaan. Pada tahap ini, tujuan utama sistem adalah meningkatkan kinerja kendali aliran cairan dengan menggunakan DOB yang mampu mengatasi berbagai jenis gangguan baik dari sisi sinyal kendali atau gangguan fluktuasi dari luar yang mempengaruhi laju aliran sebagai gangguan dinamis. Perangkat lunak yang digunakan adalah Proteus 8.6 yang dapat mensimulasikan sensor aliran berbasis rotary encoder, pompa untuk aktuasi, driver motor L293D, dan mikrokontroler dengan papan Arduino sebagai pengendali utama. Selain itu, software seperti Proteus dipilih untuk mendukung simulasi awal seperti pemodelan dan identifikasi sistem serta validasi desain. Berikut skematik sistem yang digunakan untuk mensimulasikan pengendalian cairan yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Tahap berikutnya adalah analisis. Pada tahap ini, kebutuhan sistem diidentifikasi, termasuk model matematis atau fungsi alih sistem pendistribusian cairan yang mencakup hubungan antara *input*, *output*, dan dinamika sistem secara *open-loop* maupun *closed-loop* yang ditunjukkan pada Gambar 2. Analisis dilakukan untuk memahami karakteristik objek kendali yang dapat dipengaruhi oleh komponen lain seperti sensor yang membaca *variable output*, atau fluktuasi beban pompa yang diakibatkan menerima sinyal kendali, sehingga sistem dapat dirancang agar kokoh terhadap berbagai gangguan. Parameter-parameter DOB dan kendali PID disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan sistem

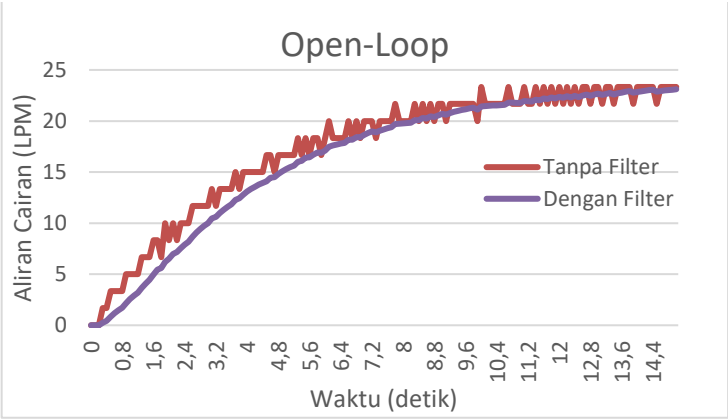


Gambar 1 Skematik sistem pengendali laju cairan



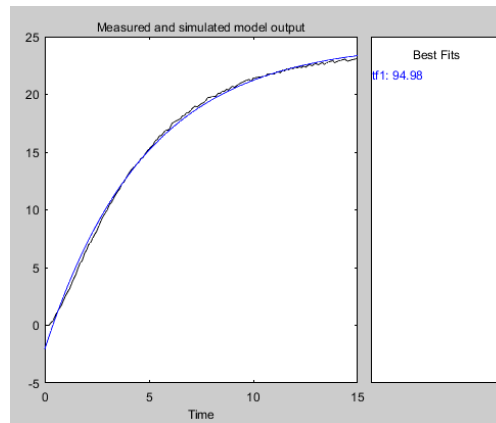
Gambar 2 Diagram blok sistem *closed-loop*

Pada tahap desain, model sistem fisik dikembangkan, baik dalam bentuk fungsi alih berdasarkan pengamatan sistem *open-loop*. Ketika sistem diberikan input berupa tegangan pada motor kemudian motor memompa cairan, laju cairan tersebut dapat diukur dan diolah menjadi fungsi alih. Adapun spesifikasi motor yang digunakan adalah pompa 12V DC, dengan sensor aliran cairan yang memiliki spesifikasi 48 pulsa/revolusi dengan faktor kalibrasi 7.5 untuk konversi ke dalam satuan liter/menit. Berikut tanggapan sistem secara *open-loop* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah didapatkan tanggapan sistem. Terlihat pada Gambar 3 hasil pembacaan sensor masih terdapat fluktuasi yang disebabkan oleh derau pada sensor sehingga diperlukan *filter*. Adapun *filter* yang digunakan adalah jenis *low-pass filter* dengan frekuensi *cut-off* 10 Hz. Hasil tanggapan setelah menggunakan *filter* dapat terlihat jelas dan menunjukkan tanggapan yang lebih halus tanpa adanya fluktuasi yang diakibatkan oleh derau.



Gambar 3 Tanggapan sistem *open-loop*

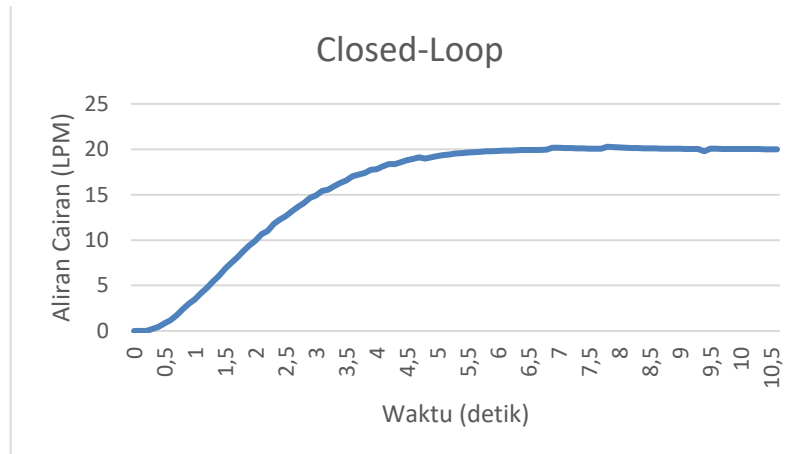
Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab dapat ditentukan estimasi model matematis dari sistem. Tanggapan sistem secara *open-loop* tidak menunjukkan adanya *overshoot* sehingga sistem dapat diestimasi dengan sistem orde pertama. Adapun hasil estimasi menggunakan perangkat lunak Matlab [9] didapatkan fungsi alih yang ditunjukkan pada persamaan 1 dengan *best fits* sebesar 94,98% yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Estimasi pemodelan dan identifikasi sistem dengan Matlab

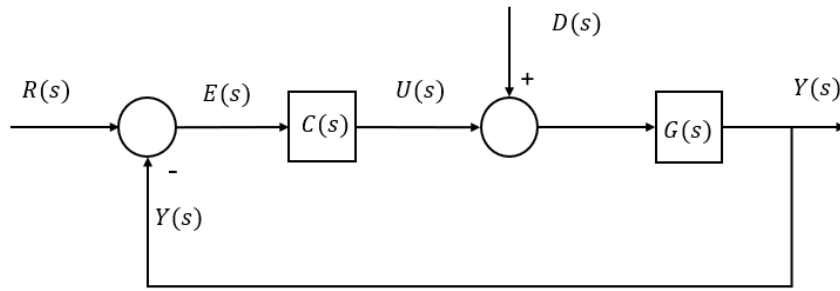
$$G_n(s) = \frac{0,02008}{s+0,2088} \quad (1)$$

Pengendali PID dirancang secara *tuning* berdasarkan identifikasi awal bahwa sistem *closed-loop* masih memiliki kesalahan *steady-state* yang besar sehingga diperlukan integrator. Agar sistem lebih kuat dan mengurangi *overshoot* ditambahkan pula pengendali *derivative*. Berikut hasil tanggapan sistem secara *closed-loop* dengan pengendali PID yang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan referensi sebesar 20 LPM.



Gambar 5 Tanggapan sistem *closed-loop*

Langkah berikutnya adalah desain DOB yang mencakup model sistem nominal $G_n(s)$, model *invers* $G_n^{-1}(s)$, dan *filter* DOB untuk estimasi gangguan. Perancangan DOB dapat diamati dari perilaku sistem secara *closed-loop* yang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

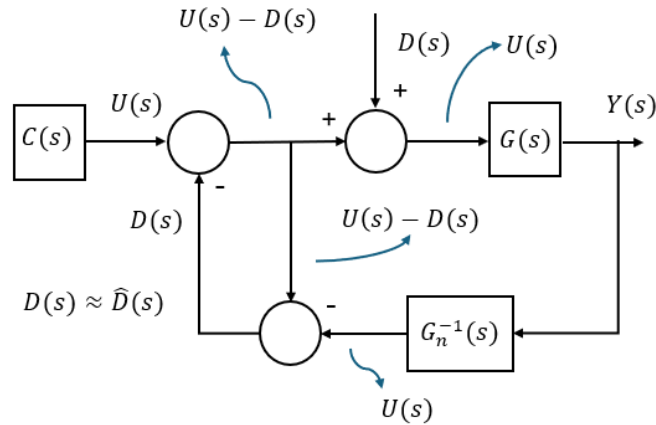


Gambar 6 diagram blok sistem *closed-loop*

Struktur sistem *closed-loop* tersebut dapat ditulis jika $D(s) = 0$ dapat dihitung keluaran sistem $Y(s)$ sistem sebagai berikut.

$$Y(s) = Y(s) = \frac{G(s)C(s)R(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

Dengan mempertimbangkan kalkulasi gangguan dari luar, dapat dibentuk diagram blok sebagai berikut [4], [10]. Jika $R(s) = 0$ dapat dihitung estimasi gangguan sebagai bagian dari dinamika sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Ide utama DOB

Dengan mengimplementasikan *low-pass filter* sistem secara *closed-loop* yang terintegrasi dengan DOB dapat ditulis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Jika $\hat{D}(s) \approx D(s)$ dapat dituliskan persamaan hubungan antara masing-masing keluaran terhadap gangguan jika $R(s) = 0$ dan keluaran terhadap input referensi jika $D(s) = 0$. DOB akan mengintegrasikan estimasi gangguan sehingga persamaan utama dapat dihitung sebagai berikut.

$$Y(s) = G(s)(D(s) + U(s) - \hat{D}(s)) \quad (2)$$

Jika sinyal kendali $U(s) = C(s)E(s)$ dan $E(s) = R(s) - Y(s)$, dapat ditentukan bahwa $U(s) = C(s)(R(s) - Y(s))$. Berdasarkan persamaan tersebut, estimasi gangguan dapat dituliskan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3 dan 4.

$$\hat{D}(s) = -Q(s)(U(s) - \hat{D}(s)) + Q(s)G_n^{-1}(s)Y(s) \quad (3)$$

$$\hat{D}(s) = \frac{Q(s)G_n^{-1}(s)Y(s)}{1 - Q(s)} - \frac{Q(s)U(s)}{1 - Q(s)} \quad (4)$$

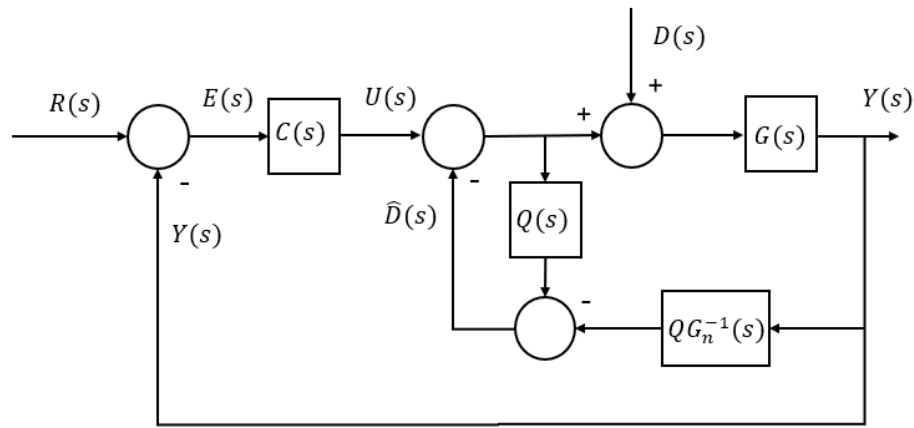
Apabila dikombinasikan antara sistem yang memiliki referensi tertentu dan terdapat gangguan pada sistem tersebut sehingga perlu dibentuk sebuah persamaan yang mencakup keduanya seperti yang ditunjukkan pada persamaan 5-7. Fungsi alih masing-masing keluaran terhadap referensi dan terhadap gangguan menjadi penting karena hal tersebut yang akan diolah pada mikrokontroler.

$$Y(s) = W_D(s)D(s) + W_R(s)R(s) \quad (5)$$

$$W_D(s) = \frac{G_n(s)G(s)(1-Q(s))}{G_n(s)(1+G(s)C(s))+Q(s)(G(s)-G_n(s))} \quad (6)$$

$$W_R(s) = \frac{G_n(s)G(s)C(s)}{G_n(s)(1+G(s)C(s))+Q(s)(G(s)-G_n(s))} \quad (7)$$

Filter Q dipilih sebagai *low-pass filter* hal tersebut menunjukkan bahwa DOB dapat mengestimasi gangguan secara akurat jika frekuensi gangguan berada pada rentang *low-pass filter bandwidth* tersebut. Hal tersebut menjelaskan bahwa konsekuensinya adalah bandwidth dari filter harus ditentukan setinggi mungkin.



Gambar 8. Sistem *closed-loop* dengan DOB

Tahap implementasi mencakup pembuatan program mikrokontroler yang mengintegrasikan algoritma PID dan DOB. Program ini dirancang untuk menampilkan data penting, seperti sinyal gangguan, sinyal kendali, dan keluaran sensor. Simulasi dijalankan di Proteus untuk menguji algoritma dengan gangguan yang telah dimodelkan. Gangguan yang akan diberikan pada sistem adalah sinyal yang dapat pada pompa Fluktuasi beban periodik yang berbentuk gelombang sinusoidal dengan amplitudo 10 dan periode terkait dengan faktor 1500. Dengan persamaan sebagai berikut.

$$D(t) = 10 \sin \frac{t}{1500} + \frac{\text{random}(-30,30)}{10} \quad (8)$$

Gangguan berikutnya adalah gangguan seperti kebocoran atau penambahan aliran cairan yang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

$$D(t) = \pm 2 \sin \frac{t}{1500} + 1 \quad (9)$$

Data hasil pengujian dianalisis untuk mengukur kinerja dan performa sistem kinerjanya dipantau untuk memastikan keberlanjutan operasional. Terakhir, pada tahap pemeliharaan, sistem diperiksa secara berurutan dari gangguan yang diberikan untuk memastikan semua sistem bekerja dengan baik, dan algoritma kendali diperbarui jika diperlukan agar tetap sesuai dengan kondisi sistem yang mungkin berubah.

B. Perancangan DOB Pada Mikrokontroler

Persamaan 3 menunjukkan cara bagaimana mengimplementasikan DOB, agar dapat mengimplementasikan dalam mikrokontroler, persamaan tersebut dirancang untuk mengestimasi gangguan yang mempengaruhi sistem berdasarkan model nominal $G_n(s)$. Persamaan 3 dapat dimodifikasi menjadi persamaan 10.

$$\hat{D}(s) = (1 - Q(s))U(s) + Q(s)\hat{D}(s) \quad (10)$$

Fungsi ini membandingkan sinyal kendali nominal (berdasarkan model ideal $G_n(s)$) dengan sinyal kendali aktual $U(s)$ untuk mendeteksi gangguan eksternal. Hasil estimasi gangguan diperbarui menggunakan *filter* yang memberikan respons yang halus terhadap perubahan. Dengan pendekatan ini, kendali dapat

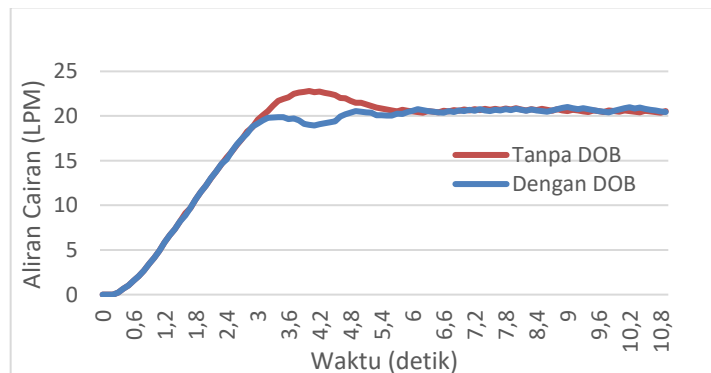
dikompensasi untuk meminimalkan efek gangguan pada sistem. Berikut merupakan fungsi DOB yang digunakan pada mikrokontroler.

```
void DisturbanceObserver() {  
    // Hitung  $G_n^{-1}(s)$  sebagai filter diskrit  
    float G_inv_xn = u; // input saat ini  
    float G_inv_yn = (Gn_gain_inv / (1 + Gn_tau / deltaT)) * (G_inv_xn - G_inv_xn1)  
        + (Gn_tau / (Gn_tau + deltaT)) * G_inv_yn1;  
    u_nominal = G_inv_yn; // aksi kendali nominal dari  $G_n^{-1}(s)$   
    // Update nilai sebelumnya dari  $G_n^{-1}(s)$   
    G_inv_xn1 = G_inv_xn;  
    G_inv_yn1 = G_inv_yn;  
    // Estimasi gangguan dengan filter  $Q(s)$   
    dEst = (1 - Q_alpha) * (u_nominal - u) + Q_alpha * dPrev;  
    // Update estimasi gangguan sebelumnya  
    dPrev = dEst;  
}
```

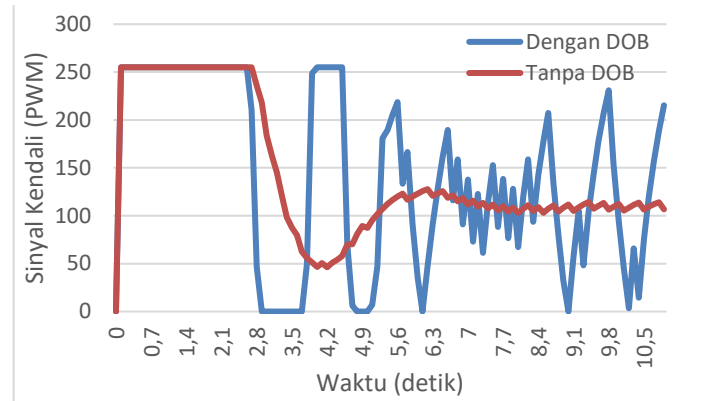
Error saat ini dihitung sebagai selisih antara nilai setpoint dan nilai yang terukur *filtered flow*. Sinyal kendali nominal dihitung berdasarkan gain statis *invers* $G_n^{-1}(s)$ dan keluaran terukur *filtered flow*. Gangguan *dEst* diestimasi menggunakan filter $Q(s)$, di mana Q_{alfa} adalah koefisien filter seperti yang terdapat pada persamaan 10. Filter ini mencampurkan perubahan kontrol nominal dengan gangguan yang telah diestimasi sebelumnya. Nilai gangguan sebelumnya *dPrev* dan *error* sebelumnya *ePrev* diperbarui untuk digunakan pada iterasi berikutnya.

III. HASIL DAN DISKUSI

Pada sistem kendali aliran cairan ini, gangguan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi performa. Dua jenis gangguan utama yang dianalisis adalah gangguan pada output sistem (*output disturbance*) dan gangguan pada pompa (*input disturbance*). Hasil perbandingan dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan sistem dalam mengatasi gangguan tersebut, baik pada kondisi tanpa DOB maupun dengan DOB. Berikut hasil perbandingan sistem dengan dan tanpa menggunakan DOB tanpa adanya gangguan yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan sinyal kendalinya pada Gambar 10.



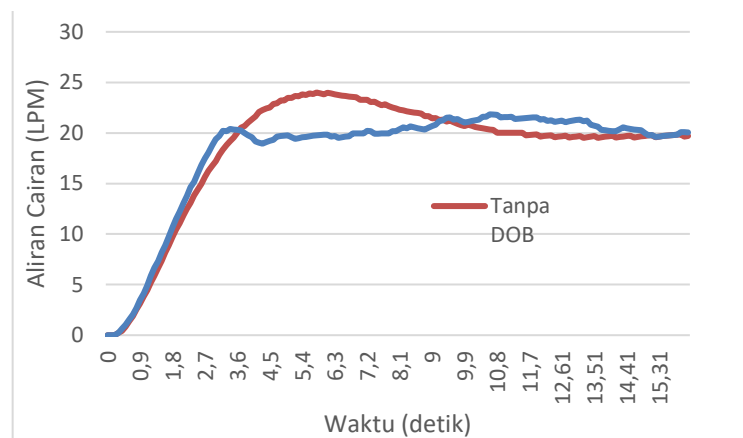
Gambar 9 Tanggapan waktu sistem *closed-loop* dengan dan tanpa DOB



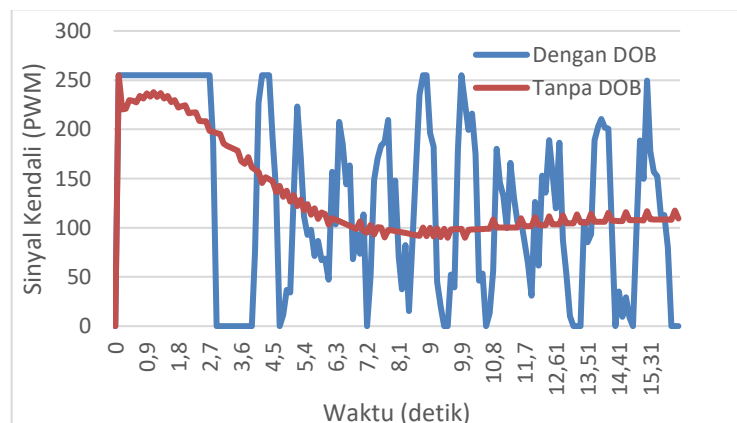
Gambar 10 Sinyal kendali sistem *closed-loop* dengan dan tanpa DOB

Sistem *closed-loop* tersebut menggunakan kendali PID dengan masing-masing konstanta $K_p = 10$, $K_i = 5$, dan $K_d = 3$. Sistem dengan DOB akan terus mengestimasi dan melakukan kalkulasi terhadap gangguan sehingga menghasilkan sinyal kendali yang berbeda sekalipun sistem tersebut tidak ada gangguan. Kedua skema yang disajikan menghasilkan *error steady-state* = 0 akan tetapi sistem dengan DOB relatif memiliki overshoot yang sangat kecil apabila dibandingkan dengan sistem tanpa DOB.

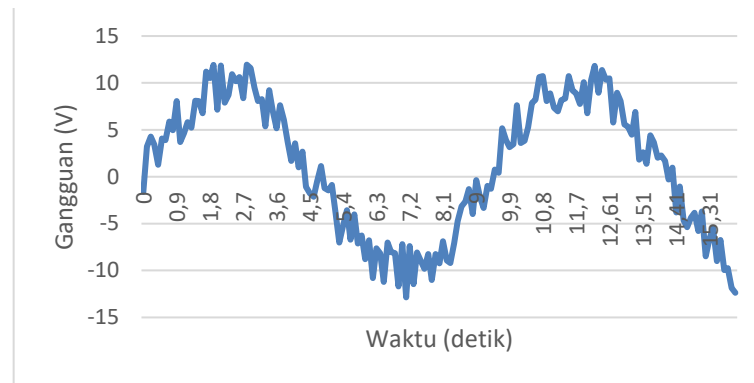
Perbandingan berikutnya adalah masing-masing skema akan diberikan gangguan yang bervariasi dengan persamaan gangguan 8. Representasi gangguan tersebut akan berakibat pada performa pompa dalam menerima sinyal kendali dari mikrokontroler. Berikut hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 11 dan perbandingan sinyal kendali pada Gambar 12.



Gambar 11 Tanggapan waktu sistem *closed-loop* dengan gangguan pada sinyal pompa

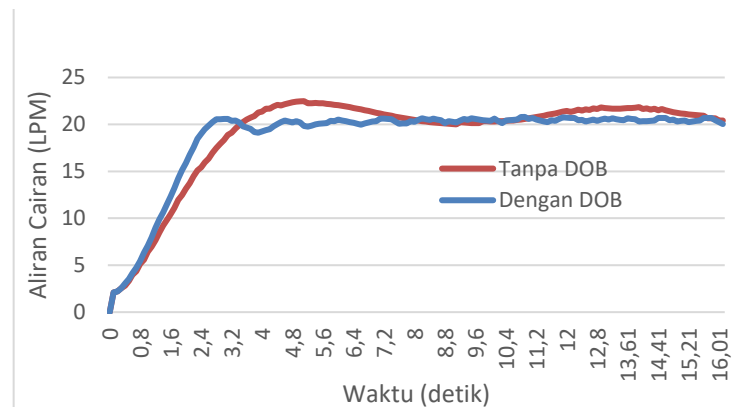


Gambar 12 Sinyal kendali sistem *closed-loop* dengan gangguan pada sinyal pompa

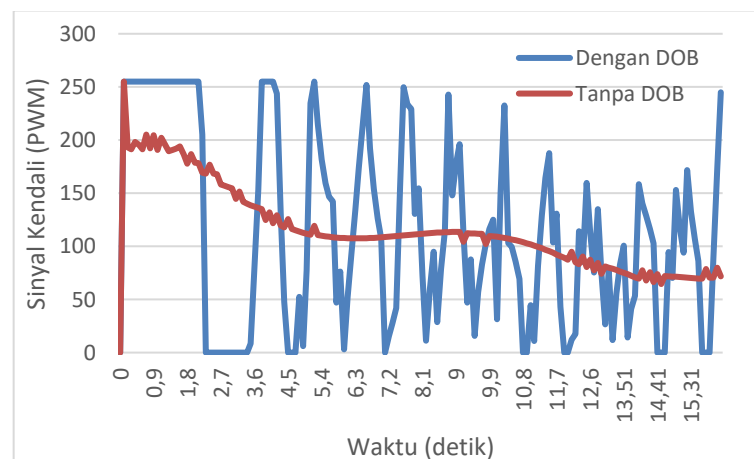


Gambar 13. Gangguan pada sinyal pompa

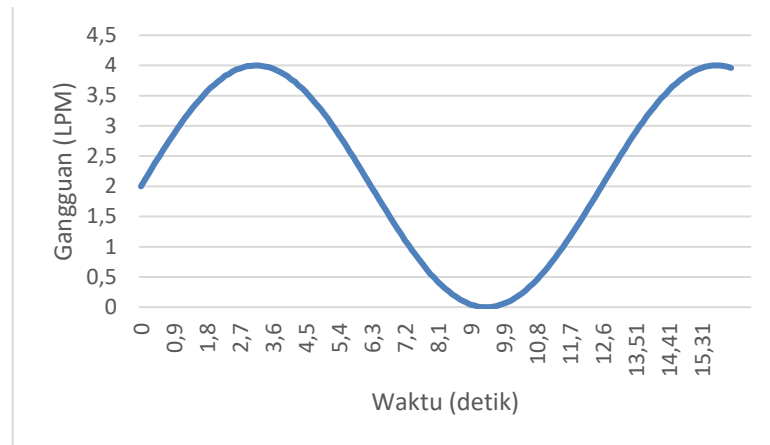
Pada sistem tanpa DOB, gangguan langsung mempengaruhi keluaran tanpa mekanisme kompensasi, sehingga laju aliran yang dihasilkan mengalami fluktuasi yang signifikan. Sebaliknya pada sistem dengan DOB dapat memberikan tanggapan yang cepat mengkompensasi gangguan. Proses kompensasi tersebut menghasilkan variasi sinyal kendali sesuai dengan algoritma pada DOB. Sistem dengan DOB akan memastikan tanggapan sistem sesuai dengan referensi sehingga menghasilkan sinyal kendali yang lebih agresif dibandingkan dengan tanpa algoritma DOB. Berikutnya sinyal gangguan yang diberikan adalah sesuai dengan persamaan 9 yang merepresentasikan pengisian dan pengosongan cairan sehingga mempengaruhi laju cairan. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 14-16.



Gambar 14 Tanggapan waktu sistem *closed-loop* dengan gangguan pada output



Gambar 15 Sinyal kendali sistem *closed-loop* dengan gangguan pada sinyal output



Gambar 16 Gangguan pada output

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada gangguan output yang bersifat variatif, DOB berhasil mempercepat waktu pemulihan sistem ke *set point* dibandingkan dengan sistem tanpa DOB. Sementara itu, pada gangguan input yang bervariasi, sistem dengan DOB menghasilkan aliran yang lebih stabil dengan kesalahan *steady-state* yang lebih kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa DOB mampu meningkatkan kekokohan sistem terhadap perubahan dinamis pada gangguan akan tetapi sinyal kendali dengan sistem dengan DOB memiliki sinyal kendali yang lebih agresif sehingga batasan yang ketat harus diantisipasi pada perangkat keras agar tidak terjadi kegagalan sistem secara fisik.

IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi sistem kendali aliran cairan dengan dan tanpa *Disturbance Observer* (DOB) menunjukkan bahwa penggunaan DOB secara signifikan meningkatkan performa sistem dalam menghadapi gangguan. Pada sistem tanpa DOB, gangguan pada output maupun input menghasilkan fluktuasi besar pada laju aliran, dengan waktu pemulihan yang lebih lama. Sebaliknya, sistem dengan DOB mampu memperkirakan dan mengkompensasi gangguan secara real-time, menghasilkan keluaran yang lebih stabil dan mendekati nilai set point. Sinyal kendali pada sistem dengan DOB menunjukkan perbaikan respons terhadap gangguan, tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, DOB cenderung menghasilkan sinyal kendali yang agresif, terutama saat menghadapi gangguan yang bervariasi secara cepat. Penggunaan filter DOB $Q(s)$ berperan penting dalam mengurangi sensitivitas terhadap gangguan frekuensi tinggi. Dengan pemilihan parameter $Q(s)$ yang tepat, DOB dapat memberikan keseimbangan antara estimasi gangguan yang akurat dan stabilitas sistem. Sehingga pada penelitian berikutnya dapat dikomparasikan berbagai parameter untuk filter tersebut. Sebagai potensi pengembangan berikutnya, metode untuk mengurangi agresivitas sinyal kendali dari DOB dapat dieksplorasi lebih lanjut, seperti menggunakan teknik saturasi kontrol atau perancangan filter DOB yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. I. Saputra, A. M. Ibrahim, K. Kusnandar, Z. Fakhri, and Y. B. Zainal, "Penalaan PID Pada Sistem Kendali Ketinggian Cairan Menggunakan Metode Cohen-Coon Berbasis Sistem Kendali Terdistribusi," *JITEL J. Ilm. Telekomun. Elektron. Dan List. Tenaga*, vol. 4, no. 1, pp. 83–94, May 2024, doi: 10.35313/jitel.v4.i1.2024.83-94.
- [2] E. Sariyildiz, H. Yu, and K. Ohnishi, "A Practical Tuning Method for the Robust PID Controller with Velocity Feed-Back," *Machines*, vol. 3, no. 3, pp. 208–222, Aug. 2015, doi: 10.3390/machines3030208.
- [3] W.-H. Chen, J. Yang, L. Guo, and S. Li, "Disturbance-Observer-Based Control and Related Methods—An Overview," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 2, pp. 1083–1095, Feb. 2016, doi: 10.1109/TIE.2015.2478397.
- [4] E. Sariyildiz and K. Ohnishi, "A Guide to Design Disturbance Observer," *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, vol. 136, no. 2, p. 021011, Mar. 2014, doi: 10.1115/1.4025801.
- [5] P. Keadtipod, D. Banjerdpongchai, and P. Kittisupakorn, "Design of Disturbance Observer and Model Predictive Control for Non-Minimum Phase Time-Delay System With Application to Industrial Boilers," in *2017 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Kanazawa: IEEE, Sep. 2017, pp. 1389–1394. doi: 10.23919/SICE.2017.8105733.

- [6] B. B. Alagoz, F. N. Deniz, C. Keles, and N. Tan, "Disturbance Rejection Performance Analyses of Closed Loop Control Systems by Reference to Disturbance Ratio," *ISA Trans.*, vol. 55, pp. 63–71, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.isatra.2014.09.013.
- [7] R. Garrido and J. L. Luna, "On the Equivalence Between PD+DOB and PID Controllers Applied to Servo Drives," *IFAC-Pap.*, vol. 51, no. 4, pp. 95–100, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.06.044.
- [8] B. S. Marta, I. Ferdiansyah, and F. Ardila, "Sistem Kendali Kecepatan Motor Pada Mobile Robot Menggunakan PID Dan Analisis Disturbance Berbasis Disturbance Observer," *JTT J. Teknol. Terpadu*, vol. 6, no. 2, Sep. 2018, doi: 10.32487/jtt.v6i2.461.
- [9] D. I. Saputra, I. Budiawan, and A. Jayanugraha, "Pemodelan dan Simulasi Sistem Kendali Volume Air Pada Process Plant Dengan Metode State Feedback," *J. Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, vol. 14, no. 1, pp. 11–20, 2022, doi: 10.5614/joki.2022.14.1.2.
- [10] N. Saikumar, R. K. Sinha, and S. H. HosseinNia, "Resetting Disturbance Observers With Application in Compensation of Bounded Nonlinearities Like Hysteresis in Piezo-Actuators," *Control Eng. Pract.*, vol. 82, pp. 36–49, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.conengprac.2018.09.026.

PERENCANAAN JARINGAN 5G NR DENGAN METODE CAPACITY PLANNING MENGGUNAKAN FREKUENSI 2.300 MHz DI AREA KOTA CIMAHI

Ni Ketut H.D ^{1*)} Bagus Suganda Wijaya ²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO. BOX 148 Cimahi 40531

^{*)}Korespondensi: niketuthd@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Kota Cimahi, yang merupakan salah satu kota berkembang di Jawa Barat, membutuhkan infrastruktur komunikasi yang andal untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan sosial. Akan tetapi, Kota Cimahi belum memiliki jaringan 5G dari operator mana pun. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merencanakan jaringan 5G NR menggunakan frekuensi 2.300 MHz di Kota Cimahi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan *site* yang diperlukan dengan mempertimbangkan keutamaan dalam mencakup area yang luas dan meningkatkan kualitas sinyal guna memenuhi kebutuhan pengguna yang terus meningkat. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi menggunakan perangkat lunak *Atoll Planning*. Data yang dianalisis mencakup level sinyal *Synchronization Signal Reference Signal Received Power* (SS-RSRP) di seluruh area Kota Cimahi. Perencanaan jaringan 5G pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *capacity planning*, yang kemudian akan dianalisis terhadap metode *coverage planning* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [1]. Analisis dilakukan dengan menghitung kapasitas jaringan yang diperlukan berdasarkan jumlah pengguna, tipe area, dan kualitas level sinyalnya. Hasil analisis menunjukkan perbedaan signifikan dalam cakupan area dan kualitas sinyal antara kedua pendekatan tersebut. *Capacity planning*, yang menggunakan 67 *site*, menyediakan cakupan area sebesar 9,591 km² dengan kualitas sinyal yang lebih baik (SS-RSRP > -90 dBm). Sementara itu, *coverage planning* dengan 26 *site* mencakup area yang lebih luas yaitu 27,641 km², namun dengan kualitas sinyal yang lebih rendah (SS-RSRP < -90 dBm) [1]. Penelitian ini memberikan wawasan penting dalam merancang jaringan 5G yang optimal untuk Kota Cimahi dengan mempertimbangkan kebutuhan kapasitas dan cakupan area.

Kata kunci : *Capacity Planning*, Frekuensi 2.300 MHz, Jaringan 5G NR, Kota Cimahi, SS-RSRP

Abstract

The City of Cimahi, one of the developing cities in West Java, requires reliable communication infrastructure to support its economic and social growth. However, Cimahi currently lacks 5G network coverage from any operator. Therefore, this study aims to plan a 5G NR network using the 2,300 MHz frequency for Cimahi. The research focuses on analyzing the site requirements while balancing the need to cover a broad area and enhance signal quality to meet the increasing demands of users. This study employs a quantitative method with a simulation approach using *Atoll Planning* software. The data analyzed includes *Synchronization Signal Reference Signal Received Power* (SS-RSRP) levels across the entire area of Cimahi. The study compares the planning results between *capacity planning* and *coverage planning* methods previously applied. The analysis involves calculating the network capacity required based on the number of users, area types, and signal quality levels. The analysis reveals significant differences in area coverage and signal quality between the two approaches. *Capacity planning*, which uses 67 sites, provides a coverage area of 9.591 km² with better signal quality (SS-RSRP > -90 dBm). In contrast, *coverage planning* with 26 sites covers a larger area of 27.641 km² but with lower signal quality (SS-RSRP < -90 dBm). This research offers valuable insights for designing an optimal 5G network for Cimahi by considering both capacity and coverage needs.

Keywords : *Capacity Planning*, 2,300 MHz Frequency, 5G NR Network, City of Cimahi, SS-RSRP

I. PENDAHULUAN

Info Makalah:

Dikirim : 01-16-2025;
Revisi 1 : 01-26-2025;
Revisi 2 : mm-dd-yy;
Diterima : 01-27-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 859-7499-2595
e-mail : niketuthd@lecture.unjani.ac.id

Pesatnya pertumbuhan teknologi telekomunikasi, Teknologi 5G (Generasi Kelima) NR (*New Radio*) menawarkan kecepatan internet yang jauh lebih tinggi, *latency* yang lebih rendah, dan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan generasi sebelumnya, 4G LTE. Teknologi ini juga menjanjikan peningkatan yang signifikan dalam kecepatan, ketersediaan, dan kapasitas jaringan dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Hal

ini menyebabkan peningkatan penggunaan perangkat IoT, aplikasi berbasis *cloud*, dan layanan *streaming*. Perkembangan ini sangat memengaruhi aktivitas sehari-hari masyarakat dan sangat penting untuk kemajuan teknologi di Indonesia dan di seluruh dunia [2].

Kota Cimahi, salah satu kota berkembang di Indonesia, khususnya di Jawa Barat, membutuhkan infrastruktur komunikasi yang andal untuk mendukung kemajuan ekonomi dan sosial. Dalam konteks ini, perencanaan jaringan 5G NR saat ini berfokus pada pembangunan infrastruktur yang dapat mendukung implementasi teknologi 5G NR. Penyedia layanan telekomunikasi berusaha memperluas cakupan jaringan, meningkatkan kecepatan, dan memastikan keandalan layanan 5G NR. Jaringan 5G NR Kota Cimahi harus menggunakan frekuensi 2.300 MHz karena frekuensi ini dapat mengimbangi cakupan dan kapasitas, menjadikannya pilihan yang ideal untuk menyediakan layanan 5G yang optimal [3].

Terdapat beberapa penelitian yang mendukung penelitian ini, diantaranya terdapat penelitian yang membahas tentang analisis model propagasi 3GPP TR38.900 untuk perencanaan jaringan 5G *New Radio* (NR) pada frekuensi 2.300 MHz di area *urban* [1]. Selain penelitian tersebut, hasil penelitian yang dilakukan [4] menyatakan bahwa berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan *software Atoll Planning* di area Manonjaya, Tasikmalaya, memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi namun tidak diimbangi dengan jumlah *site* yang sesuai, parameter yang dianalisis adalah level sinyal RSRP (*Reference Signal Received Power*) yang menunjukkan hasil proses perencanaan dan optimasi *newsite* dengan metode *capacity planning* tersebut dapat memperbaiki *level coverage* sinyal menjadi lebih baik untuk area Manonjaya Tasikmalaya.

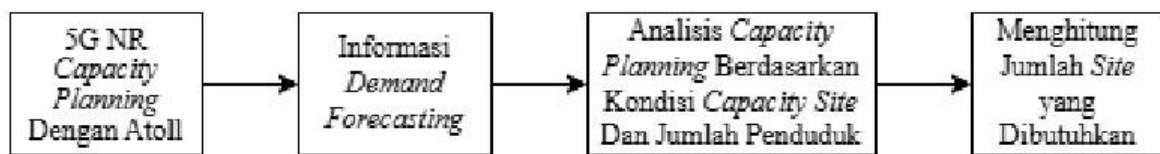
Adapun permasalahan yang ada saat ini khususnya di kota Cimahi yaitu menunjukkan penggunaan model *coverage planning* ternyata masih kurang optimal untuk digunakan pada perencanaan jaringan 5G NR di kota Cimahi. Walaupun, persentase cakupan areanya sudah jauh lebih baik. Perencanaan dengan menggunakan *coverage planning* tidak bisa mempertimbangkan jumlah dan kebutuhan *user* di area tersebut. Sehingga, bisa saja perencanaan 26 *site* ini tidak sesuai dengan persebaran kebutuhan pengguna teknologi 5G di area Cimahi [1]. Untuk mengakomodasi hal tersebut, solusi untuk memenuhi kebutuhan pengguna layanan dengan efisien dan handal, penelitian ini dapat menggunakan metode *capacity planning* untuk merencanakan jaringan 5G NR. Kapasitas perencanaan dalam jaringan seluler mampu menghitung kapasitas jaringan yang diperlukan berdasarkan jumlah pelanggan, tipe area, dan trafik yang diantisipasi. Analisis data, perubahan pada rencana kapasitas, dan penggunaan sistem terintegrasi seperti *Enterprise Resource Planning* (ERP) diperlukan dalam proses ini untuk memberikan informasi tentang kapasitas produksi dan penggunaan sumber daya secara *real-time* [5].

Dengan merinci latar belakang ini, penelitian perencanaan jaringan 5G NR dengan metode *capacity planning* menggunakan frekuensi 2.300 MHz di area kota Cimahi memiliki metode untuk menganalisis kebutuhan *site* yang diperlukan dengan menggunakan *provider* yang dianalisis adalah Telkomsel, kemudian menghitung jumlah pertumbuhan *subscriber* yang diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi pengguna atau *user* terhadap perkembangan infrastruktur telekomunikasi di tingkat lokal, serta mendukung pertumbuhan berkelanjutan dan kemajuan teknologi di seluruh kota.

II. METODE

Metode penelitian yang dipakai adalah metode Kuantitatif dengan pendekatan simulasi menggunakan perangkat lunak *Atoll Planning*, teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara simulasi dan membandingkan *coverage planning* sebelumnya dengan *capacity planning* yang akan digunakan. Di mana, perencanaan dengan menggunakan *coverage planning* tidak bisa mempertimbangkan jumlah dan kebutuhan *user* di area tersebut. Sehingga, bisa saja perencanaan 26 site ini tidak sesuai dengan persebaran kebutuhan pengguna teknologi 5G dengan daerah yang sama yaitu kota Cimahi. Sedangkan penelitian dilakukan dengan menganalisis, memperhitungkan jumlah kapasitas yang diperlukan pada setiap cakupan daerah, kemudian ditentukan tipe antena yang akan digunakan dan menentukan modulasi yang tepat untuk pada setiap *base station*. Setelah didapatkan semua data dapat ditentukan berapa banyak pembangunan BTS (*Base Station Transceiver*) dan kapasitas pada setiap BTS.

A. Diagram Blok Sistem



Gambar 1 Diagram Blok Sistem *Capacity Planning* Jaringan 5G NR

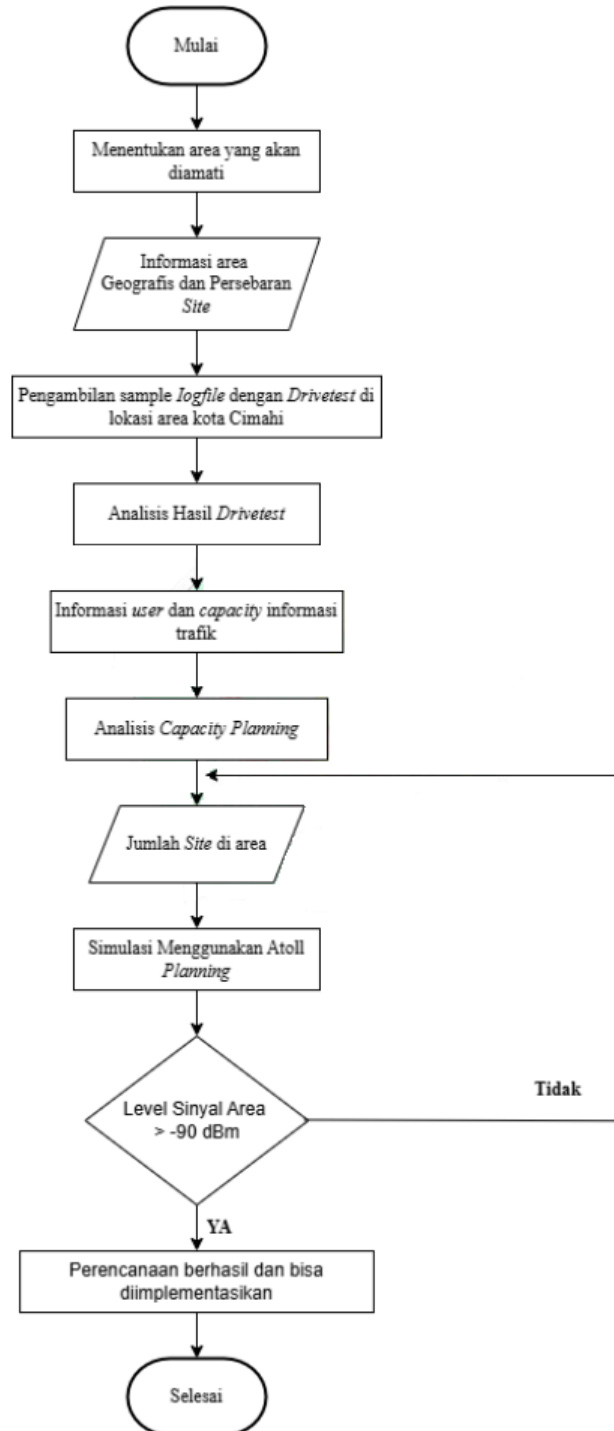
Gambar 1 menunjukkan bahwa, penelitian tahap pertama yang dilakukan penulis meliputi penggunaan metode perencanaan kapasitas dengan menggunakan aplikasi atau *software Atoll* untuk merancang dan menentukan jumlah lokasi yang akan digunakan.

Proses pengumpulan informasi tentang kecenderungan populasi suatu wilayah selama beberapa tahun terakhir dikenal sebagai informasi perkiraan permintaan (*Demand Forecasting*), yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitas yang dapat diprediksi dan menunjukkan potensi pertumbuhan di tahun mendatang. Bagian analisis perencanaan kapasitas melakukan proses pengambilan dan analisis data untuk mendapatkan nilai perencanaan kapasitas yang tepat. Pencarian data ini mencari informasi tentang kinerja dan kapasitas setiap lokasi saat ini serta menghitung jumlah pelanggan yang dapat ditampung di setiap lokasi.

Selanjutnya untuk menghindari kemacetan atau penundaan (*lagging*), bagian penghitungan jumlah pelanggan *subscriber per site* bertujuan untuk mengetahui berapa banyak pelanggan atau *subscriber* yang dimiliki setiap *site*.

Setelah mendapatkan semua data yang diperlukan untuk simulasi melalui *software Atoll*, kemudian menghitung berapa banyak lokasi baru yang diperlukan untuk kawasan perkotaan Cimahi. Selanjutnya, menggunakan *Google Earth* untuk mencari lokasi yang membutuhkan lokasi baru (*new site*). Tempat dengan kepadatan penduduk dan tingkat pengguna yang tinggi dianggap memiliki kebutuhan tinggi. Namun, karena kurangnya kapasitas di tempat tersebut, kekuatan sinyal yang baik tidak dapat diakses. Akibatnya, jelas bahwa lokasi memerlukan lokasi baru untuk menampung kapasitas pengguna di area tersebut. Setelah menggunakan *Google Earth* untuk menemukan titik-titik yang telah diidentifikasi, kemudian tentukan arah pancaran setiap antena dari lokasi baru untuk mencakup area yang telah dipilih.

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada Gambar 2 tersebut menunjukkan prosedur atau tahapan penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir penelitian :

1. Pertama, menentukan wilayah dan keadaan lapangan yang akan diamati selama proses penelitian. Ini dilakukan karena penggunaan model *coverage planning* ternyata masih kurang optimal untuk digunakan pada perencanaan jaringan 5G NR di area kota Cimahi.

2. Informasi area (geografis dan persebaran lokasi), pada tahap ini, penulis mengumpulkan informasi tentang lokasi yang akan diteliti. Ini termasuk luas area yang diamati dan jumlah lokasi yang tersebar di dalamnya.

3. Pengumpulan data sampel *logfile drive test* di area kota Cimahi. Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data lokasi untuk menentukan kualitas. Selain itu, analisis kondisi *coverage* di area kota Cimahi untuk mengetahui tingkat sinyal RSRP di wilayah tersebut dan mengoptimalkan beberapa lokasi yang dianggap masih *blank spot*.

4. Informasi *user* dan *capacity* (trafik). Pada titik ini, data tentang jumlah penduduk di area kota Cimahi, terutama wilayah yang sedang diawasi. Selanjutnya, untuk mengetahui jumlah penduduk selama tiga hingga lima tahun ke depan, dilakukan perhitungan prediksi. Selain itu, informasi tentang kapasitas dan trafik dikumpulkan dari lokasi nyata di wilayah yang sedang diteliti.

5. Analisis *capacity planning* pada tahap ini, perhitungan jumlah lokasi baru yang diperlukan dilakukan dengan menggunakan data kapasitas lokasi sebenarnya yang telah dikumpulkan sebelumnya dan dengan mempertimbangkan jumlah prediksi penduduk yang telah dianalisis sebelumnya.

6. Berdasarkan hasil analisis *capacity planning* yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, jumlah lokasi yang diperlukan untuk meningkatkan level sinyal di wilayah tersebut akan ditentukan.

7. Setelah mendapatkan jumlah lokasi yang diperlukan untuk meng-cover wilayah tersebut, *Atoll Planning Software* digunakan untuk melakukan analisis dan simulasi *coverage* prediksi. Pada tahap ini, perlu dibandingkan *coverage* sebelum dan setelah penambahan lokasi. yang selanjutnya perlu dianalisis untuk menentukan hasilnya.

8. Kondisi sebelum dan setelah optimasi dapat dibandingkan berdasarkan analisis hasil simulasi dari tahap sebelumnya. Pada tahap ini, akan dinilai apakah pengoptimalan dengan menambah lokasi menggunakan *capacity planning* dapat meningkatkan tingkat sinyal di area Kota Cimahi. Jika hasilnya menunjukkan peningkatan kondisi sinyal setelah optimasi, maka penelitian ini dapat dianggap berhasil dan metode tersebut layak untuk diterapkan. Sebaliknya, jika kondisi sinyal memburuk setelah simulasi, maka perhitungan rencana kapasitas dan penempatan lokasi baru harus dievaluasi kembali untuk mencari solusi yang lebih efektif.

C. Lokasi Penelitian Kota Cimahi

1. Sejarah Kota Cimahi

Kota Cimahi adalah sebuah kota di Provinsi Jawa Barat yang terletak di tengah Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat. Kota Cimahi dahulu merupakan bagian dari Kabupaten Bandung yang kemudian ditetapkan sebagai kota administratif pada tanggal 29 Januari 1976. Pada tanggal 21 Juni 2001, Cimahi sebagai kota otonom. Dalam bahasa Sunda, nama Cimahi berasal dari kata "Cai Mahi", yang artinya "air yang cukup". Cimahi juga dikenal sebagai kota 'Militer' atau kota 'Tentara' atau kota 'Hijau' (hijau ini mengacu ke seragam tentara yang berwarna hijau) sejak dibuat menjadi Pusat Pendidikan Militer pada tahun 1886. Selain itu Kota Cimahi yang berada di sebelah barat Kota Bandung, merupakan kota penyangga bagi Ibu Kota Provinsi Jawa Barat (menjadi salah satu kawasan pertumbuhan Kota Bandung di sebelah barat) [6].

2. Letak Geografis Kota Cimahi

Kota Cimahi terletak diantara 107°30'30" BT - 107°34'30" dan 6°50'00" - 6°56'00" Lintang Selatan. Luas wilayah Kota Cimahi sebesar 40,2 km² menurut UU No. 9 Tahun 2001 dengan batas-batas administratif sebagai berikut [6]: Sebelah Utara: Kecamatan Parongpong, Kecamatan Cisarua dan Kecamatan Ngamprah Kabupaten Bandung Barat. Sebelah Timur: Kecamatan Sukasari, Kecamatan

Sukajadi, Kecamatan Cicendo dan Kec. Andir Kota Bandung. Sebelah Selatan: Kecamatan Marga Asih, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat dan Kecamatan Bandung Kulon Kota Bandung. Sebelah Barat: Kecamatan Padalarang, Kecamatan Batujajar dan Kecamatan Ngamprah Kabupaten Bandung Barat. Kota Cimahi termasuk ke dalam wilayah Provinsi Jawa Barat dan meliputi 3 Kecamatan yang terdiri dari 15 Kelurahan, yaitu [6]:

- Kecamatan Cimahi Selatan terdiri 20 dari 5 Kelurahan
- Kecamatan Cimahi Tengah terdiri dari 6 Kelurahan
- Kecamatan Cimahi Utara terdiri dari 4 Kelurahan.

Kota Cimahi termasuk ke dalam kategori *urban* karena tingkat literasi dan mobilitasnya cukup tinggi. Jumlah dan Persebaran Penduduk Kota Cimahi Di lihat dari kondisi saat ini jumlah penduduk Kota Cimahi setiap tahunnya mengalami peningkatan dan hal ini akan menambah permasalahan terkait dengan kebutuhan ruang yang lebih luas untuk membangun tempat tinggal dan ruang gerak, namun di sisi lain terdapat permasalahan lingkungan seperti daerah aliran sungai, daerah resapan air, pertanian, penyediaan sumber daya alam, dan lain-lain. Kedua hal tersebut tidak dapat dipisahkan dan keduanya perlu mendapatkan perhatian yang sama demi keseimbangan alam dan yang lebih penting untuk dipahami adalah lahan dan wilayah Kota Cimahi tidaklah bertambah [6].

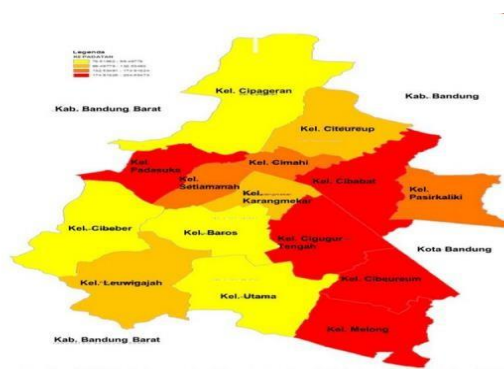
Berdasarkan data pada *website* resmi Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil (Disdukcapil) Kota Cimahi pada tahun 2022, jumlah penduduk secara keseluruhan mencapai 562.160 jiwa. Selain itu, menurut publikasi Badan Pusat Statistik (BPS), Kota Cimahi memiliki tingkat kepadatan rata-rata sebesar 132,33 jiwa per hektar. Kecamatan Cimahi Tengah memiliki kepadatan penduduk tertinggi, yaitu 147,44 jiwa per hektar [7].

Adapun permasalahan lain yang ditimbulkan dari peningkatan jumlah penduduk adalah meningkatnya angka kemiskinan, menurunnya angka kesehatan masyarakat, memburuknya angka kecukupan gizi, terjadinya kesenjangan ekonomi, dan banyaknya pengangguran, serta sulitnya pemerintah daerah untuk mensejahterakan penduduknya. Oleh karena itu, perencanaan yang tepat dan matang sangatlah diperlukan guna penentuan kebijakan terkait dengan besarnya jumlah penduduk, pertumbuhan penduduk, dan persebarannya.

Selain dampak negatif terkait jumlah penduduk yang besar, dampak positifnya adalah tersedianya jumlah tenaga kerja yang cukup untuk mengelola sumber daya alam, semakin meningkatnya jumlah produksi, dan angka kewirausahaan akan meningkat serta potensi untuk menjadi seorang kewirausahaan untuk memenuhi kebutuhan akan semakin terbuka, di mana semua ini akan mengembangkan dan meningkatkan ekonomi [6].

4. Hubungan antara Kepadatan Penduduk dengan Jaringan Telekomunikasi

Kepadatan penduduk Kota Cimahi memiliki hubungan erat dengan kualitas jaringan 5G *New Radio* (NR). Di daerah dengan populasi yang padat, kebutuhan akan layanan telekomunikasi yang cepat dan handal semakin meningkat. Implementasi teknologi 5G NR di Cimahi bertujuan untuk mengatasi tantangan ini dengan menawarkan kecepatan data yang lebih tinggi, *latency* yang lebih rendah, dan kapasitas yang lebih besar dibandingkan generasi sebelumnya. Namun, kepadatan penduduk yang tinggi juga berarti lalu lintas data yang padat, yang bisa memengaruhi kualitas jaringan jika infrastruktur tidak direncanakan dan dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penyedia layanan harus memperbanyak pembangunan BTS 5G, mengoptimalkan spektrum frekuensi, dan menggunakan teknologi seperti *beamforming* dan *network slicing* untuk memastikan kualitas sinyal yang optimal. Dengan demikian, pengelolaan yang tepat terhadap infrastruktur telekomunikasi sangat penting untuk memastikan bahwa masyarakat di kawasan padat penduduk seperti Cimahi dapat menikmati manfaat penuh dari teknologi 5G NR [6].



Gambar 3 Peta Persebaran dan kepadatan penduduk Kota Cimahi tahun 2018 [7]

Dari hasil penelitian sebelumnya, penelitian yang mendukung penelitian ini, menunjukkan penggunaan model *coverage planning* sebanyak 26 *site* ternyata masih kurang optimal untuk digunakan pada perencanaan jaringan 5G NR di kota Cimahi. Akan tetapi, persentase cakupan area pada penelitian ini sudah jauh lebih baik [3]. Selain penelitian tersebut, hasil penelitian yang dilakukan [4] menyatakan bahwa berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan *software Atoll Planning* di area Manonjaya, Tasikmalaya, memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi namun tidak diimbangi dengan jumlah *site* yang sesuai, parameter yang dianalisis adalah level sinyal RSRP (*Reference Signal Received Power*) yang menunjukkan hasil proses perencanaan dan optimasi *newsite* dengan metode *capacity planning* tersebut dapat memperbaiki *level coverage* sinyal menjadi lebih baik untuk area Manonjaya Tasikmalaya.

D. Desain Perencanaan Capacity Planning

1. Proyeksi jumlah *user* dan *market capacity*

Memperkirakan jumlah pengguna merupakan parameter yang dapat memengaruhi kebutuhan kapasitas dalam desain jaringan. Dalam perancangan jaringan 5G NR, perkiraan pengguna/pasar pada penelitian ini menggunakan model Bass. Persamaan (1), di

mana $N(t)$ merupakan jumlah pengguna pasar, M merupakan kapasitas pasar, $P \geq 0$ merupakan koefisien inovasi dan $Q \leq 0$ merupakan koefisien imitasi. Persamaan ini dapat digunakan untuk menghitung perkiraan jumlah user dan *market capacity* [8].

$$N(t) = M \frac{1 - e^{-t(p+q)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-t(p+q)}} \quad (1)$$

2. Proyeksi *Traffic Demands*

Permintaan lalu lintas data seluler menentukan kepadatan pengguna per kilometer dalam kaitannya dengan kinerja jaringan. Persamaan (2) digunakan untuk menentukan kebutuhan lalu lintas, di mana $G(t)$ merupakan proyeksi kebutuhan lalu lintas, p merupakan kepadatan pengguna, N_{md} merupakan jumlah hari per bulan, $\phi(T)$ merupakan persentase pengguna aktif pada waktu tertentu untuk menghitung permintaan lalu lintas puncak, D_k merupakan permintaan lalu lintas rata-rata per bulan dan N_{dh} merupakan jumlah jam sibuk per hari [8].

$$G(t) = p x (8/(Ndh x Nmd)) x (1/3600) x \phi(T) x Dk \quad (2)$$

3. Throughput (Data Rate)

IMT-2020 memiliki spesifikasi *data rate* maksimal yang dibutuhkan untuk 5G dengan rasio 20 Gbps pada *downlink* dan 10 Gbps pada *uplink*. Selain itu, kecepatan data 5G didukung untuk menghitung data kombinasi pita frekuensi yang digunakan oleh operator. Persamaan (3) digunakan untuk menghitung kebutuhan *downlink* dan *uplink data rate (throughput)* pada jaringan 5G NR. Yang dimana J merupakan jumlah pembawa komponen teragregasi dalam sebuah pita, $V \text{ layers}(J)$ merupakan jumlah lapisan maksimum, $Q_m(J)$ merupakan urutan modulasi maksimum, $f(J)$ merupakan faktor penskalaan yang dapat mengambil nilai 1,08, 0,75, dan 0,4. R_{maks} sebesar 709.8 Gbps, $NPRB(J) \times \mu$ merupakan alokasi RB maksimum dalam *bandwidth*, μ merupakan *numerology*, $BW(J)$ merupakan *bandwidth* dan $OH(J)$ merupakan nilai *overhead* 0,14 untuk frekuensi FR1 DL, 0,18 untuk FR2 DL, 0,08 FR1 UL dan 0,10 FR2 UL [8].

$$\text{Data Rate (Mbps)} = 10 - 6 \times V \text{ layers}(J) \times Q_m(J) \times f(J) \times R_{maks} \times NPRB(J) \times BW(J) \times \mu \times (1 - OH(J)) \quad (3)$$

4. Perhitungan Estimasi Subscriber

Dalam penelitian ini, *capacity planning* digunakan untuk menghitung jumlah lokasi yang diperlukan untuk memperbaiki kondisi level sinyal di area Kota Cimahi. Pada tahap ini, diperlukan untuk menghitung perkiraan jumlah orang yang tinggal di kota Cimahi. Metode pencarian informasi tentang jumlah penduduk sendiri bertujuan untuk mengetahui usia produktif, untuk mencapai tujuan ini, metode regresi linier digunakan untuk menghitung jumlah penduduk yang akan meningkat dalam waktu lima tahun ke depan.

Agar mengetahui jumlah penduduk di usia produktif, Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan jumlah penduduk kota Cimahi berdasarkan usia. Usia produktif pada penelitian ini adalah dari 10 hingga 65 tahun.

Tabel 1 Jumlah penduduk kota Cimahi pada tahun 2022 [7]

No.	Kelompok Umur	Laki-laki		Perempuan		Jumlah	
		n(jiwa)	%	n(jiwa)	%	n(jiwa)	%
1	0-4 tahun	19.429	3,46%	18.513	3,29%	37.942	6,75%
2	5-9 tahun	23.686	4,21%	22.410	3,99%	46.096	8,20%
3	10-14 tahun	24.700	4,39%	23.238	4,13%	47.938	8,53%
4	15-19 tahun	22.637	4,03%	21.775	3,87%	44.412	7,90%
5	20-24 tahun	24.121	4,29%	23.136	4,12%	47.257	8,41%
6	25-29 tahun	23.823	4,24%	22.943	4,08%	46.766	8,32%
7	30-34 tahun	20.935	3,72%	20.196	3,59%	41.131	7,32%
8	35-39 tahun	21.135	3,76%	20.773	3,70%	41.908	7,45%
9	40-44 tahun	22.864	4,07%	23.031	4,10%	45.895	8,16%
10	45-49 tahun	21.198	3,77%	22.043	3,92%	43.241	7,69%
11	50-54 tahun	18.534	3,30%	18.670	3,32%	37.204	6,62%
12	55-59 tahun	14.055	2,50%	15.110	2,69%	29.165	5,19%
13	60-64 tahun	10.768	1,92%	10.831	1,93%	21.599	3,84%
14	65-69 tahun	7.197	1,28%	7.500	1,33%	14.697	2,61%
15	70-74 tahun	3.814	0,68%	4.458	0,79%	8.272	1,47%
16	75+ tahun	3.661	0,65%	4.976	0,89%	8.637	1,54%
	Jumlah	282.557	100,00%	279.603	100,00%	562.160	100,00%

Tabel 2 Jumlah penduduk dengan regresi linier sebanyak 2%

No.	Kelompok Umur	Tahun 2022		Tahun 2027	
		n(jiwa)	%	n(jiwa)	%
1	0-4 tahun	37.942	6,75%	41.891	6,75%
2	5-9 tahun	46.096	8,20%	50.894	8,20%
3	10-14 tahun	47.938	8,53%	52.927	8,53%
4	15-19 tahun	44.412	7,90%	49.034	7,90%
5	20-24 tahun	47.257	8,41%	52.176	8,41%
6	25-29 tahun	46.766	8,32%	51.633	8,32%
7	30-34 tahun	41.131	7,32%	45.412	7,32%
8	35-39 tahun	41.908	7,45%	46.270	7,45%
9	40-44 tahun	45.895	8,16%	50.672	8,16%
10	45-49 tahun	43.241	7,69%	47.742	7,69%
11	50-54 tahun	37.204	6,62%	41.076	6,62%
12	55-59 tahun	29.165	5,19%	32.201	5,19%
13	60-64 tahun	21.599	3,84%	23.847	3,84%
14	65-69 tahun	14.697	2,61%	16.227	2,61%
15	70-74 tahun	8.272	1,47%	9.133	1,47%
16	75+ tahun	8.637	1,54%	9.536	1,54%
	jumlah	562.160	100,00%	620.670	100,00%

Perhitungan dengan metode regresi linier yang digunakan untuk memprediksi jumlah penduduk yang akan meningkat dalam waktu lima tahun ke depan di area kota Cimahi. Salah satu cara untuk memprediksi jumlah penduduk di masa depan adalah dengan menggunakan rumus eksponensial (Geometri) sederhana. Rumus ini didasarkan pada prediksi bahwa penduduk tumbuh pada laju tertentu setiap tahun. Dapat dihitung dengan persamaan (4). P_n adalah jumlah penduduk tahun ke- n (jiwa). P_o adalah jumlah penduduk pada tahun awal (jiwa). r adalah laju pertumbuhan penduduk per tahun (jiwa) dan n adalah jumlah interval tahun. Rumus yang digunakan untuk memperkirakan jumlah penduduk di masa depan adalah [9]:

$$P_n = P_o(1 + r)^n \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan (4), maka didapatkan prediksi pertumbuhan penduduk di area kota Cimahi berdasarkan laju pertumbuhan 2% per tahun dari tahun 2022 hingga 2027 (5 tahun), yaitu sebesar 620.670 jiwa. Angka 2% ini ditetapkan berdasarkan skenario maksimum dari laju pertumbuhan penduduk Kota Cimahi tahun 2022 yang berkisar diantara 1% hingga 2%. Selain itu, setelah memperoleh hasil prediksi dari jumlah populasi, penduduk yang dapat dihitung menggunakan persamaan (5), seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Di sini P adalah proporsi atau persentase jumlah penduduk produktif, yaitu kelompok umur antara 10 hingga 65 tahun, M adalah persentase pasar (*market place*) pengguna operator, di mana T adalah pengguna teknologi, dan CP adalah persentase perbandingan antara *circuit switched (CS)* dan *packet switched (PS)*.

$$K = \sum (\text{Penduduk total pada tahun 2027}) \times P \times M \times T \times CP \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan (5), maka didapatkan estimasi *subscriber* sebesar 509.198 *Subscriber*

5. Kemampuan Sel Melayani *Subscriber*

Setelah perhitungan estimasi pelanggan (*subscriber*) selesai, akan ada analisis dan perhitungan untuk menentukan kapasitas, yaitu kemampuan sel untuk melayani *subscriber*. Operator perlu mendapatkan beberapa parameter aktual untuk melakukan analisis dan perhitungan ini. Parameter yang digunakan untuk menghitung kemampuan sel untuk melayani pelanggan adalah sebagai berikut:

a. Parameter *DL cell average capacity* merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan rata-rata setiap *cell* untuk sisi *downlink* agar dapat melayani pelanggan dengan satuan kbps (*kilo bit per second*),
b. Parameter *DL cell average throughput* adalah parameter yang menunjukkan *bandwidth* rata-rata yang digunakan pada setiap sel di sisi *downlink* dengan satuan kbps (*kilo bit per second*).

c. Parameter *DL cell capacity* menunjukkan kapasitas keseluruhan sel melayani pelanggan di sisi *downlink* yang merupakan gabungan keseluruhan dari *DL cell average throughput*.

d. Parameter *peak to average ratio* yang menunjukkan kemampuan kekuatan pengambilan sinyal rata-rata pada *base station* oleh pengguna ditunjukkan dengan satuan dB (*desibel*).

e. Parameter *average DL BH throughput/sub* adalah *bandwidth* rata-rata yang digunakan setiap pelanggan pada setiap sel di sisi *downlink* pada periode *busy hour*.

f. Parameter ini menunjukan jumlah sektor per *site*. Umumnya parameter *subscriber suported in a site* adalah menunjukan kapasitas, terdapat 3 sektor pada 1 *site*. Sehingga untuk perhitungan ini, bernilai 3.

g. Parameter *subscriber suported in a site* yang menunjukkan jumlah *subscriber* yang bisa ditangani oleh 1 *site*. *Subscriber suported in a site* (g) didapatkan dengan menggunakan persamaan (6).

$$g = (DL\ Cell\ Capacity \times 3) / ((1 + Peak\ to\ Average\ Ratio) \times Average\ DL\ BH\ Throughput / Sub) \quad (6)$$

6. Penentuan BTS

Setelah mendapatkan nilai yang telah didapatkan dari perhitungan modulasi dan kemampuan sel melayani *subscriber*, langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah BTS baru (*new site*) yang akan dibangun di daerah penelitian yaitu area Cimahi, perhitungan *new site* ini menggunakan persamaan (7):

$$\text{Jumlah BTS (g-Nb)} = \text{Perkiraan Jumlah Pelanggan (K)} / \text{Kemampuan Sel Melayani Subscriber} \quad (7)$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka jumlah *site* atau *g-NodeB* yang dibutuhkan di area kota Cimahi sebanyak 67 *g-NodeB*.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Perencanaan *Newsite 5G NR*

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah total pelanggan (*subscriber*) di area kota Cimahi adalah 509.198 *subscriber*, menurut hasil perhitungan dengan menggunakan *capacity planning*. Setelah memperoleh nilai total *subscriber*, dilakukan perhitungan untuk memperkirakan jumlah pelanggan Telkomsel dengan menghitung jumlah penduduk di kota Cimahi berdasarkan kelompok umur. Kelompok umur ini disusun secara terpisah berdasarkan umur, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Selanjutnya, diperkirakan bahwa jumlah penduduk akan meningkat selama 5 tahun ke depan, penelitian ini mengumpulkan informasi tentang jumlah penduduk mulai tahun 2022 sampai pada tahun 2027 yaitu sebanyak 620.670 jiwa, perkiraan penduduk ini didapatkan menggunakan metode regresi linier dengan

Perancangan Jaringan 5G NR dengan Metode Capacity Planning menggunakan Frekuensi 2300 MHz di Area Kota Cimahi
(Ni Ketut H. D, Bagus Suganda Wijaya : Halaman 73 - 87)

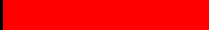
peningkatan 2%. Setelah mendapatkan seluruh penduduk pada tahun 2027 langkah selanjutnya adalah melakukan pemilihan usia produktif, dalam artian usia produktif ini berguna untuk membatasi pengguna yang pasti menggunakan teknologi internet adalah sebanyak 82,04%. Dapat dilihat pada rumus persamaan (5) ada beberapa parameter yang dibutuhkan mendapatkan nilai perkiraan pelanggan antara lain adalah P adalah persentase jumlah penduduk yang produktif yaitu di rentang usia 10 hingga 65 tahun, M adalah persentase *market place* pengguna operator, T adalah pengguna teknologi, dan CP adalah persentase perbandingan antara *Circuit Switch* (CS) dan *Packet Switch* (PS). Sehingga didapatkanlah perkiraan jumlah pelanggan sebanyak 509.198 Jiwa pada area kota Cimahi.

Langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan untuk area kota Cimahi dengan menggunakan persamaan (7) maka didapatkan perkiraan jumlah *site* yang dibutuhkan adalah sebanyak 67 *newsite* untuk area kota Cimahi.

B. Hasil dan Analisis Coverage Plot dengan Simulasi menggunakan Software Atoll dan Google Earth

Analisis hasil simulasi dengan menggunakan *Software Atoll* dan *Google Earth* dengan menggunakan metode *capacity planning*. Selanjutnya adalah melakukan simulasi *coverage* menggunakan *Software Atoll Planning* kemudian di *export* ke *Google Earth* untuk mengetahui serta menganalisis hasil *coverage plot* dari level sinyal (SS-RSRP) dari total 67 *site* pada area Kota Cimahi. Berdasarkan hasil analisis *coverage* dari level sinyal (SS-RSRP) diketahui bahwa kualitas sinyal yang ditunjukkan sesuai warna *legend* pada *Atoll*, yang di mana warna *legend* tersebut menunjukkan level sinyal yang baik sampai buruk, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Warna *Legend* pada *Software Atoll*

<i>Legend</i>	<i>Range SS-RSRP</i>
	-70 <=SS-RSRP Level (DL) (dBm) <0
	-80 <=SS-RSRP Level (DL) (dBm) <-70
	-90 <=SS-RSRP Level (DL) (dBm) <-80
	-100 <=SS-RSRP Level (DL) (dBm) <-90
	-110 <=SS-RSRP Level (DL) (dBm) <-100

C. Hasil Analisis Kecamatan Di Area Cimahi Utara, Area Cimahi Tengah dan Cimahi Selatan

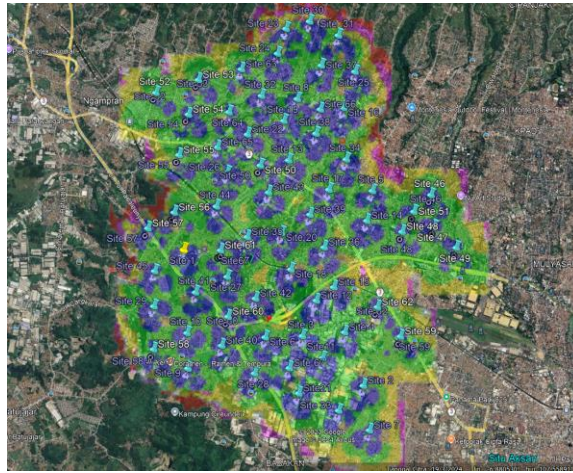
Penulis menempatkan titik *newsite* pada beberapa kecamatan di Cimahi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Jumlah *Site* pada Beberapa Kecamatan di Cimahi

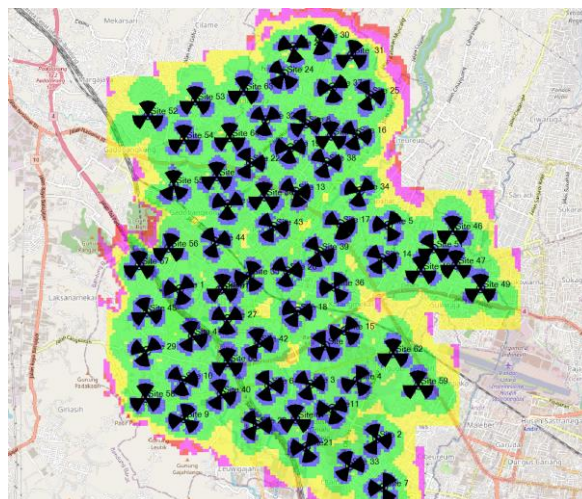
Kecamatan	Jumlah <i>Site</i>
Cimahi Utara	28
Cimahi Tengah	18
Cimahi Selatan	21

D. Simulasi Coverage Area Planning Kota Cimahi

Pada Gambar 4 menjelaskan hasil simulasi menggunakan *software Google Earth* setelah penambahan 67 *newsite* dengan metode *capacity planning* di area Kota Cimahi. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa sinyal yang berwarna biru dan hijau menandakan bahwa cakupan jaringan 5G NR tersebut sudah sangat baik.



Gambar 4 Coverage Area Perencanaan Jaringan 5G NR dengan *Capacity Planning* Berdasarkan Google Earth pada Area Kota Cimahi



Gambar 5 Coverage Area Perencanaan Jaringan 5G NR dengan *Capacity Planning* berdasarkan Simulasi Atoll

Sedangkan pada Gambar 5 menjelaskan hasil simulasi dengan menggunakan *software Atoll* dengan tampilan *Google Earth* setelah penambahan 67 *newsite* dengan metode *capacity planning* di area Kota Cimahi. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa sinyal yang berwarna biru dan hijau menandakan bahwa cakupan jaringan 5G NR tersebut sudah sangat baik.

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software Atoll* dan *Google Earth* dengan metode *capacity planning*, dilakukan analisis terhadap *coverage plot* dari level sinyal (SS-RSRP) di area Kota Cimahi dengan total 67 *site*. Hasil simulasi ini menunjukkan variasi kualitas sinyal yang diukur dalam berbagai rentang *decibel milliwatts* (dBm), yang ditampilkan dengan warna-warna berbeda pada *legend Atoll*..

Kualitas level sinyal sangat baik ($-70 \leq \text{SS-RSRP (dBm)} < 0$), area dengan kualitas sinyal sangat baik ditandai dengan warna biru tua pada *legend*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sinyal di level ini dengan *surface* atau jarak sebesar 3,817 km² dan persentase *coverage area* sebesar 39,802%. ini menunjukkan bahwa di area tersebut sangat baik dalam menyediakan cakupan sinyal yang optimal untuk pengguna atau *user*, Meskipun kualitasnya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan area yang memiliki sinyal sangat baik, sinyal di level ini tetap memberikan kinerja jaringan yang stabil dan dapat diandalkan untuk kegiatan sehari-hari, seperti *browsing*, *streaming video*, dan panggilan telepon.

Kualitas level sinyal baik ($-80 \leq \text{SS-RSRP (dBm)} < -70$), area yang ditandai dengan warna hijau pada *legend*, menunjukkan kualitas sinyal yang baik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sinyal di level ini

Perancangan Jaringan 5G NR dengan Metode Capacity Planning menggunakan Frekuensi 2300 MHz di Area Kota Cimahi
(Ni Ketut H. D, Bagus Suganda Wijaya : Halaman 73 - 87)

dengan *surface* atau jarak sebesar 4,72 km² dan persentase 49,218% dari total area. Dengan cakupan hampir setengah dari keseluruhan area, level sinyal ini memberikan kinerja jaringan yang memadai untuk sebagian besar aktivitas pengguna, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan level sinyal yang sangat baik.

Kualitas level sinyal cukup baik (-90 ≤ SS-RSRP (dBm) < -80), kualitas sinyal yang cukup baik ditandai dengan warna kuning pada *legend*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sinyal di level ini dengan *surface* atau jarak sebesar 0,868 km² dan persentase 9,051%. Meskipun area ini masih memiliki sinyal yang cukup untuk aktivitas dasar, pengguna mungkin mengalami penurunan kinerja dalam kondisi tertentu seperti di dalam gedung atau pada saat penggunaan data yang tinggi.

Kualitas level sinyal kurang baik (-100 ≤ SS-RSRP (dBm) < -90), area dengan sinyal kurang baik ditandai dengan warna ungu. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sinyal di level ini dengan *surface* atau jarak sebesar 0,183 km² dan persentase 1,908%. Di area ini, pengguna mungkin mengalami gangguan dalam koneksi atau kualitas layanan yang tidak stabil, terutama dalam kondisi jaringan yang sibuk atau di lokasi-lokasi yang lebih jauh dari BTS.

Kualitas level sinyal buruk (-110 ≤ SS-RSRP (dBm) < -100), area dengan kualitas sinyal yang buruk ditandai dengan warna merah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sinyal di level ini dengan *surface* atau jarak sebesar 0,003 km² dan persentase 0.031%. Sinyal di area ini sangat lemah, dan pengguna atau *user* kemungkinan besar akan mengalami kesulitan dalam melakukan panggilan, mengirim pesan, atau mengakses data, terutama di area yang lebih tertutup atau dengan hambatan fisik yang signifikan.

Tabel 5 Hasil Kalkulasi *Coverage Area* Kota Cimahi Dengan Metode *Capacity Planning* Setelah Dilakukan Penambahan *Newsite*

Legend	Range SS-RSRP	Surface (km ²)	% of Covered Area
	-70 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < 0	3,817	39,802
	-80 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -70	4,72	49,218
	-90 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -80	0,868	9,051
	-100 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -90	0,183	1,908
	-110 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -100	0,003	0,031
Total		9,591 km ²	100,01%
SS-RSRP < -90 dBm		1,344	1,054
SS-RSRP > -90 dBm		9,406	9,405

Tabel 6 Hasil Kalkulasi Perbandingan Level Sinyal Area Kota Cimahi Setelah Dilakukan Penambahan *Newsite*

Legend	Range SS-RSRP	Coverage Planning[1]		Capacity Planning	
		Surface (km ²)	% of Covered Area	Surface (km ²)	% of Covered Area
	-70 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < 0	1,8	4,464	3,817	39,802
	-80 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -70	3,22	7,986	4,72	49,218
	-90 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -80	5,805	14,397	0,868	9,051
	-100 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -90	15,793	39,169	0,183	1,908
	-110 ≤ SS-RSRP Level (DL) (dBm) < -100	1,023	2,537	0,003	0,031
Total		27,641 km ²	68,553%	9,591 km ²	100,01%
SS-RSRP < -90 dBm		22,621	56,103	1,054	10,99
SS-RSRP ≥ -90 dBm		10,825	26,847	9,405	98,071

Berdasarkan analisis data dari metode *coverage planning* dan *capacity planning* untuk jaringan 5G NR di Kota Cimahi, terdapat perbedaan signifikan dalam efektivitas masing-masing metode dalam mencapai cakupan sinyal yang optimal. *Capacity planning*, dengan total 67 *site*, menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal kualitas sinyal dibandingkan dengan metode *coverage planning* yang hanya menggunakan 26 *site*. Dalam *capacity planning*, cakupan sinyal RSRP yang sangat baik ($-70 \leq \text{SS-RSRP Level (DL)} < 0$ dBm) mencakup area sebesar 3,817 km² atau sekitar 39,802% dari total area yang dicakup, serta sinyal yang baik ($-80 \leq \text{SS-RSRP Level} < -70$ dBm) mencakup 4,72 km² atau 49,218% dari area. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *site* dalam *capacity planning* secara signifikan meningkatkan kualitas sinyal, mengurangi area dengan sinyal yang kurang baik, dan memastikan performa jaringan yang stabil untuk berbagai aktivitas pengguna.

Sebaliknya, *coverage planning* yang menggunakan 26 *site* mampu mencakup area yang lebih luas, tetapi dengan hasil cakupan sinyal yang kurang optimal. Cakupan sinyal yang sangat baik ($-70 \leq \text{SS-RSRP Level} < 0$ dBm) hanya mencakup 1,8 km² atau 4,464% dari area, sedangkan sinyal yang baik ($-80 \leq \text{SS-RSRP Level} < -70$ dBm) mencakup 3,22 km² atau 7,986% dari area. Meskipun metode ini dapat mencakup area yang lebih besar, kualitas sinyal di sebagian besar area lebih rendah, terutama pada level yang lebih jauh dari *site*. *Coverage planning*, yang berfokus pada perluasan jangkauan sinyal, menunjukkan total cakupan yang lebih luas, yaitu 27,641 km², dibandingkan dengan 9,592 km² pada *capacity planning*, tetapi dengan kualitas sinyal yang lebih rendah, di mana sebagian besar area memiliki $\text{SS-RSRP} < -90$ dBm.

Secara keseluruhan, *capacity planning* lebih efektif dalam memastikan cakupan sinyal yang berkualitas tinggi dengan mempertimbangkan kebutuhan kapasitas jaringan untuk memenuhi kebutuhan data pengguna, terutama di area padat. Sementara itu, *coverage planning* memerlukan penambahan lebih banyak *site* atau peningkatan kapasitas untuk mencapai cakupan sinyal yang lebih baik. Dengan demikian, *capacity planning* menyediakan solusi yang lebih komprehensif dan memadai untuk mengatasi kebutuhan kapasitas dan kualitas sinyal di area yang lebih luas. Sedangkan *coverage planning* lebih sesuai untuk memperluas jangkauan sinyal, meskipun sering kali mengakibatkan penurunan kualitas sinyal di beberapa wilayah.

IV. KESIMPULAN

Jumlah *site* yang dibutuhkan berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode *capacity planning* untuk jaringan 5G NR di area Kota Cimahi adalah sebanyak 67 *site*.

Capacity planning dan *coverage planning* adalah dua pendekatan berbeda dalam perencanaan jaringan telekomunikasi, masing-masing dengan fokus yang berbeda. *Capacity planning* fokus pada memastikan kapasitas jaringan yang cukup untuk melayani banyak pengguna dengan kualitas sinyal yang kuat dan stabil, sering kali menghasilkan cakupan area yang lebih kecil namun dengan sinyal yang lebih baik. Sebaliknya, *coverage planning* bertujuan untuk memperluas cakupan sinyal ke area yang lebih luas, meskipun sering kali mengakibatkan penurunan kualitas sinyal di beberapa wilayah, terutama di area yang jauh dari *site*. Dengan demikian, *capacity planning* lebih menekankan pada kualitas dan kapasitas layanan, sementara *coverage planning* lebih fokus pada perluasan jangkauan sinyal. Secara keseluruhan, *capacity planning* lebih efektif dalam memastikan cakupan sinyal yang berkualitas tinggi dengan mempertimbangkan kebutuhan kapasitas jaringan untuk memenuhi kebutuhan data pengguna, terutama di area padat.

Berdasarkan perbandingan antara *capacity planning* dan *coverage planning* di Kota Cimahi menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam cakupan area dan kualitas sinyal meskipun jumlah *site* yang digunakan berbeda. *Capacity planning*, yang menggunakan 67 *site*, fokus pada penyediaan kapasitas yang memadai untuk menangani banyak pengguna, menghasilkan cakupan area yang lebih kecil, yaitu 9,591 km², namun dengan kualitas sinyal yang lebih baik, di mana sebagian besar area memiliki $\text{SS-RSRP} > -90$ dBm. Sebaliknya, *coverage planning* dengan 26 *site* lebih mengutamakan perluasan jangkauan sinyal, mencakup area yang lebih luas, yaitu 27,641 km², tetapi dengan kualitas sinyal yang lebih rendah, di mana sebagian besar area memiliki $\text{SS-RSRP} < -90$ dBm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. M. S. S. B. M. R. H. Hajjar Yuliana, “Analisis Model Propagasi 3GPP TR38.900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area Urban,” *Analisis Model Propagasi 3GPP TR38.900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2.300 MHz di Area Urban*, 2022.
- [2] M. Niama Dwi Susila, N. Gunantara, dan P. Korespondensi, “PERENCANAAN COVERAGE JARINGAN 5G BERDASARKAN PROPAGASI RUGI RUGI LINTASAN DAN SHADOWING COVERAGE PLANNING ON THE 5G NETWORK BASED ON PATH LOSS PROPAGATION AND SHADOWING,” vol. 8, no. 2, hlm. 283–292, 2021, doi: 10.25126/jtiik.202184485.
- [3] D. Estining, T. Lufianawati, C. Adipura Wicaksana, dan I. Artikel, “Analisis Kesiapan Indonesia dalam Menghadapi Teknologi 5G,” *Cakra Adipura Wicaksana / Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 9, no. 1, hlm. 17–23, 2020.
- [4] R. Muhammad, “PERENCANAAN NEWSITE UNTUK JARINGAN 4G DENGAN METODE CAPACITY PLANNING DI AREA MANONJAYA TASEK MALAYA,” 2021.
- [5] A. Syahputra Tanjung, “Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Menggunakan Parameter Existing Di Universitas Riau,” 2017.
- [6] “Profil Perkembangan Penduduk Tahun 2021”.
- [7] “BUKU AGREGAT.”
- [8] P. Rahmawati, M. I. Nashiruddin, dan M. A. Nugraha, “Capacity and Coverage Analysis of 5G NR Mobile Network Deployment for Indonesia’s Urban Market,” dalam *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology, IAICT 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul 2021, hlm. 90–96. doi: 10.1109/IAICT52856.2021.9532574.
- [9] S. Putri dan C. Astiti, “SEPREN: Journal of Mathematics Education and Applied Penerapan Metode Least Square Dalam Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk,” vol. 04, no. 02, hlm. 147–154, 2023, doi: 10.36655/sepren.v4i1.

Perencanaan Sistem Kelistrikan Gedung Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

**Mohamad Andriansyah Posumah ¹⁾, Frengki Eka Putra Surusa ²⁾, Steven Humena ^{3*)},
Adnan Qosim ⁴⁾, Rahmad Hidayat Boli ⁵⁾**

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro

Universitas Ichsan Gorontalo

Jl. Drs. Achmad Nadjamuddin, Gorontalo 96138

⁴⁾CV. Bintang Prima Consultant, Bone Bolango, Gorontalo 96571

⁵⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gorontalo, Gorontalo 96260

^{*)}Korespondensi : stevenhumena@gmail.com

Abstrak

Gedung perkantoran maupun rumah sangat membutuhkan adanya instalasi listrik, namun masih cukup banyak masyarakat yang kita temui belum paham dengan perancangan instalasi listrik yang aman sesuai dengan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Dengan Memperhatikan PUIL dalam pemasangan desain instalasi listrik, instalasi listrik yang baik dan benar serta aman dapat diperoleh. Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan instalasi listrik yang baik dan benar serta aman, menentukan spesifikasi dan komponen pengaman yang di perlukan serta menentukan rekapitulasi daya yang digunakan. Metode Perencanaan sistem kelistrikan di gedung mengikuti standar-standar yang telah ditentukan yaitu PUIL 2020 dan SNI konservasi energi pada sistem pencahayaan 2020. Perencanaan ini menghasilkan gambar desain instalasi berupa gambar situasi dan diagram satu garis. Dari perhitungan di peroleh arus sebesar 55,63 Amper dan daya total daya terpasang 36.571 VA, sehingga komponen proteksi MCCB induk yang dipilih dengan kapasitas 3 x 63 Amper. Untuk pengajuan layanan sambungan daya listrik kepada PT. PLN (Persero) yaitu sebesar 41.500 VA dengan pembatas MCB 3 x 25 Ampere. Jenis dan luas penampang kabel yang dipilih untuk kabel induk berdasarkan PUIL 2020 yaitu NYY 4 x 25 mm².

Kata kunci : Sistem kelistrikan, PUIL 2020, gedung kantor pertanahan

Abstract

Office buildings and homes are in dire need of electrical installations, but there are still quite a lot of people we meet who do not understand the design of safe electrical installations in accordance with the General Regulation on Electrical Installation (PUIL). By paying attention to PUIL in the installation of electrical installation design, a good and correct and safe electrical installation can be obtained. The purpose of this study is to determine a good and correct and safe electrical installation, determine the specifications and safety components needed and determine the recapitulation of the power used. The method of planning the electrical system in the building follows the standards that have been determined, namely PUIL 2020 and SNI energy conservation in lighting systems 2020. This planning produces installation design drawings in the form of situation drawings and one-line diagrams. From the calculation, a current of 55.63 Amperes was obtained and a total installed power of 36,571 VA, so that the main MCCB protection component was selected with a capacity of 3 x 63 Amperes. For the submission of electrical power connection services to PT. PLN (Persero) is 41,500 VA with a 3 x 25 Ampere MCB limiter. The type and cross-sectional area of the cable selected for the main cable based on PUIL 2020 is NYY 4 x 25 mm².

Keywords : Electrical system, PUIL 2020, Land Office Building

I. PENDAHULUAN

Listrik menjadi salah satu kebutuhan utama masyarakat pada saat ini dan mempunyai pengaruh besar dalam keberlangsungan kegiatan setiap orang[1]. Oleh karena itu, setiap gedung perkantoran maupun rumah sangat membutuhkan adanya instalasi listrik, namun masih cukup banyak masyarakat yang kita temui belum paham dengan perancangan instalasi listrik yang aman sesuai dengan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Sistem listrik di dalam gedung mencakup transformasi tegangan dari PLN yang

Info Makalah:

Dikirim : 15-01-2025;

Revisi 1 : 05-02-2025;

Revisi 2 : mm-dd-yy;

Diterima : 02-06-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62812-8007-1189

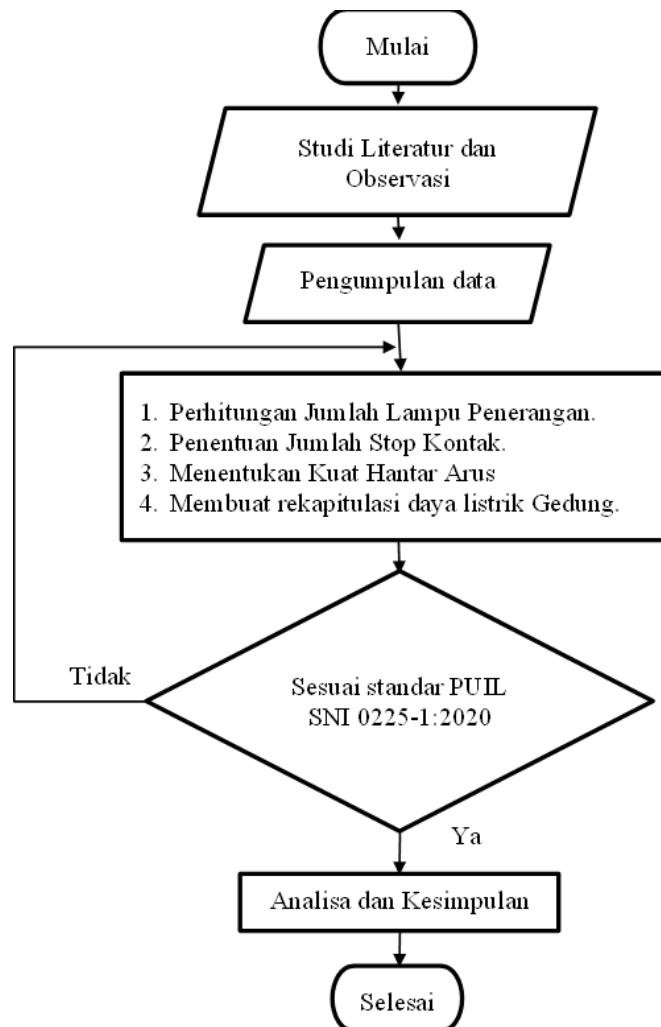
e-mail : stevengumena@gmail.com

tinggi menjadi tegangan rendah dan penyediaan distribusi listrik tegangan rendah ke peralatan listrik yang membutuhkan[2][3][4]. Sistem listrik harus mampu melindungi gedung dari potensi kebakaran akibat korsleting[5]. PUIL 2020 yang sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) memuat ketentuan – ketentuan pemasangan instalasi listrik serta pemilihan peralatan dan perlengkapan instalasi[6]. Dengan Memperhatikan PUIL 2020 dalam pemasangan desain instalasi listrik dapat menghasilkan instalasi listrik yang baik dan benar serta aman[7].

Bolaang mongondow utara merupakan salah satu kabupaten yang berada di provinsi Sulawesi utara. Berdasarkan hasil pengamatan di kabupaten bolaang mongondow utara sudah beberapa kali terjadi kebakaran rumah dan juga ada beberapa Gedung perkantoran yang hampir terbakar akibat korsleting arus listrik[8]. Hal tersebut menggambarkan bahwa tingkat keamanan pada perancangan sistem kelistrikan yang sesuai PUIL 2020 di kabupaten bolaang mongondow utara masi tergolong rendah.

Berdasarkan Uraian tersebut peneliti tertarik melakukan penelitian tentang Perencanaan Instalasi Listrik pada Kantor ATR / BPN Dinas Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, dengan tujuan merencanakan instalasi listrik yang baik dan benar serta aman sesuai dengan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020.

II. METODE



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada Gambar 1 menjelaskan teknik pengumpulan data yaitu dengan cara studi literatur dan observasi. Pada tahapan studi literatur peneliti mencari referensi baik dari jurnal – jurnal maupun buku tentang perencanaan instalasi listrik guna menambah pemahaman dalam pelaksanaan penelitian. Selain itu peneliti juga mempelajari penelitian terdahulu sebagai acuan dan dasar dalam pelaksanaan. Selanjutnya pada tahap observasi peneliti turun langsung ke lokasi penelitian guna mengamati secara langsung bagaimana posisi Gedung dan alur instalasi yang akan di laksanakan, selain itu peneliti juga meminta data berupa denah dari Gedung kantor ATR / BPN Pertanahan kabupaten Bolaang Mongondow Utara sebagai salah satu data primer yang dibutuhkan dalam proses penelitian.

A. Sistem Kelistrikan Gedung

Sistem kelistrikan adalah sistem instalasi listrik yang digunakan merancang dan membangun sistem catu daya kelompok beban yang cukup kompleks[9], mulai dari penginstalan sumber untuk memasang beban ringan di gedung yang dirancang sedemikian rupa untuk membuat aman dan nyaman untuk tinggal dikedung[10]. Merancang instalasi listrik dalam bangunan harus mengacu pada peraturan dan ketentuan yang berlaku PUIL 2020 dan SNI 6197:2020 konservasi energi pada sistem pencahayaan. Secara umum, beban yang dilayani oleh sistem distribusi listrik dibagi dalam beberapa kategori yaitu kategori rumah tangga, kategori penerangan jalan umum, kategori bengkel dan kategori komersil. Masing-masing kategori memiliki kriteria yang berbeda-beda karena hal ini berkaitan dengan pemakaian energi para konsumen masing-masing[11].

B. Sistem Pencahayaan

Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan pada umumnya didefinisikan sebagai Tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Yang dimaksud dengan bidang kerja ialah bidang horisontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan[12].

Untuk menghitung jumlah lumener, terlebih dahulu dihitung fluks luminus total,dengan menggunakan persamaan [13]:

$$F_{total} = (E \times A)/(k_p \times k_d) \quad (1)$$

Kemudian jumlah lumener dddapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{total} = (F_{total})/(F_1 \times n) \quad (2)$$

Keterangan:

N_{total} = jumlah lumener

F_{total} = fluks luminous total dari semua lampu yang menerangi bidang kerja (lumen)

F_1 = fluks luminous satu buah lampu (lumen)

N = jumlah lampu dalam 1 lumener

C. Kapasitas Pengaman Proteksi dan Penampang Penghantar

Perhitungan daya harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak salah memilih/memasang pengaman MCB dan juga dapat menentukan luas penampang kabel yang akan digunakan[14]. Perhitungn daya dapat dihitung berdasarkan persamaan-persamaan daya berikut:

$$P = V. I. \cos\phi \quad (3)$$

$$Q = V. I. \sin\phi \quad (4)$$

$$S = V. I \text{ atau } S = \sqrt{P^2 + S^2} \quad (5)$$

Dimana:

P = daya aktif (Watt)

Q = daya reaktif (VAR)

S = daya semu (VA)

I = arus (Amper)

V = tegangan (Volt)

Dengan mengetahui total daya yang terpasang pada suatu bangunan maka selanjutnya adalah menentukan kapasitas pengaman atau pembatas MCB yang akan dipasang dengan menggunakan persamaan persamaan daya tersebut di atas. Sedangkan luas penampang kabel dapat diperoleh dengan menghitung kuat hantar arus (KHA) kabel dengan cara arus nominal beban yang terpasang pada satu jalur kabel yang digunakan untuk melayani beban tersebut dan dikalikan dengan 125 %[15], seperti persamaan berikut:

$$KHA = 1,25 \times I_n \quad (6)$$

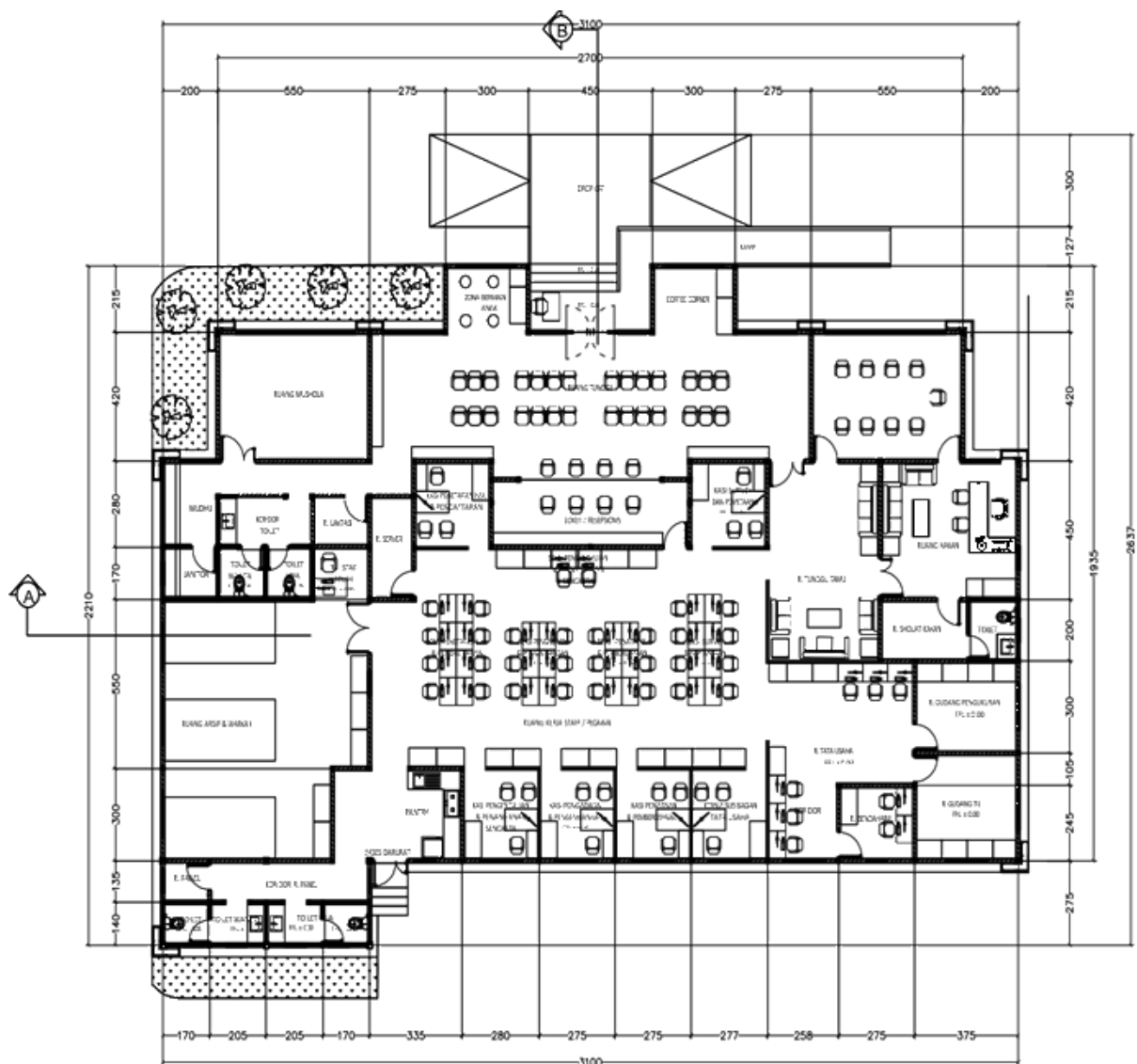
Dimana:

KHA = kuat hantar arus (Amper)

I_n = arus nominal beban (Amper)

Dengan mendapatkan nilai KHA, maka luas penampang kabel dapat diperoleh dari tabel nilai KHA yang tersedia pada PUIL 2020.

III. HASIL DAN DISKUSI



Gambar 2. Denah Gedung Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

Terlihat pada Gambar 2 hasil perencanaan bangunan gedung ATR / BPN Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara yang berukuran panjang 22,1 meter dan Lebar 31 meter.

Perencanaan Sistem Kelistrikan Bangunan Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

(Mohamad Andriansyah Posumah, Frengki Eka Putra Surusa, Steven Humena, Adnan Qosim, dan Rahmad Hidayat Boli :Halaman 88 - 96)

A. Analisis Perhitungan Kebutuhan Penerangan

Pada analisis perhitungan kebutuhan penerangan jumlah lampu yang digunakan tergantung pada luas dan fungsi ruangan itu sendiri. Sehingga dapat menghasilkan tingkat pencahayaan yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Pada ATR/BPN Kantor Pertanahan Kab. Bolaang Mongondow Utara Terdapat 38 ruangan dengan total 108 titik lampu.

Perencanaan sistem kelistrikan menggunakan lampu TL / *Flourrescent* 2 x 16 (F1 = 3.200 lumen). Berikut merupakan objek perhitungan pada ruang kerja staf / pegawai:

Data ruang kerja staf / pegawai:

Panjang ruangan : 6,2 m²

Lebar ruangan : 14,42 m²

Luas ruangan : 89,404 m²

Kp (bangunan baru) : 0,9

Kd (bangunan baru) : 0,8

E : 350 Lux

Dengan persamaan (1) didapatkan fluks total sebesar:

$$F_{total} = (350 \times 89,404) / (0,9 \times 0,8) = 43.460 \text{ Lumen}$$

Dengan persamaan (2) didapatkan jumlah armature sebagai berikut:

$$N_{total} = \frac{43.460}{3.200 \times 1} = 13,58 = 14 \text{ Unit Lampu}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas jumlah lampu di ruangan Kerja staf / pegawai sebanyak 14-unit lampu dengan daya total 32 watt.

Dengan menggunakan perhitungan yang sama dalam menentukan jumlah titik lampu di ruangan yang lain di peroleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Kebutuhan Penerangan

No	Nama Ruang	Ukuran ruang		Rencana Lux	Daya Lampu (Watt)	Jumlah Lampu	Jumlah Daya (Watt)
		Panjang (m)	Lebar (m)				
1	Ruang Mushola	4,2	5,5	200	12	3	36
2	Zona Bermain Anak	2,15	3	200	12	1	12
3	Pintu Masuk & Keamanan	2,15	4,5	60	12	1	12
4	Sudut Kopi	2,15	3	200	12	1	12
5	Ruang Rapat & Mediasi	4,2	5,5	200	12	3	36
6	Ruang Tunggu	4,2	16	200	32	6	192
7	Tempat Wudhu	2,8	2	200	12	1	12
8	Koridor Toilet	1,65	3,4	200	12	1	12
9	Ruang Laktasi	1,65	2,1	200	12	1	12
10	Janitor	1,7	2	200	12	1	12
11	Toilet Wanita 1	1,7	1,7	250	12	1	12
12	Toilet Pria 1	1,7	1,7	250	12	1	12
13	Ruang Staf Warkah	1,65	2,1	350	12	1	12
14	Ruang Server	3,35	1,6	350	12	2	24
15	R.Kasi Penetapan Hak & Pendaftaran	2,8	2,8	350	12	3	36
16	Loket / Resepsionis	2,2	7,2	300	32	2	64
17	R.Kasi Survei & Pemetaan	2,8	2,8	350	12	3	36
18	Ruang Kakan	2,5	5	350	32	3	96
19	Ruang Arsip & Warkah	8,5	7,5	300	32	8	256
20	Ruang Kerja Staf / Pegawai	6,2	14,42	350	32	14	448
21	Ruang Tunggu Tamu	6,5	4	200	12	6	72
22	Ruang Sholat Kakan	2	3,2	200	12	1	12
23	Toilet Kakan	2	1,8	250	12	1	12
24	Pantry	3	4,85	250	12	4	48

25	R.Kasi Pengendalian & Penanganan Sengketa	3	2,8	350	12	3	36
26	R.Kasi Pengadaan & Pengembangan	3	2,75	350	12	3	36
27	R.Kasi Penataan & Pemberdayaan	3	2,75	350	12	3	36
28	R.Kepala SUB Bagian Tata Usaha	3	2,77	350	12	3	36
29	R.Gudang Pengukuran	3	3,75	150	12	2	24
30	R.Tata Usaha	4,05	5,33	350	12	9	108
31	Koridor Bendahara	3,5	2,58	100	12	1	12
32	Ruang Bendahara	2,45	2,75	350	12	3	36
33	Ruang Gudang TU	2,45	3,75	150	12	2	24
34	Ruang Panel	1,35	1,7	200	12	1	12
35	Koridor Ruang Panel	1,35	5,8	200	12	2	24
36	Toilet Pria 2	1,4	3,75	250	12	2	24
37	Toilet Wanita 2	1,4	3,75	250	12	2	24
38	Koridor	1,35	8,85	200	12	3	36
TOTAL						108	1.956

Dari tabel 1 telah menentukan jumlah daya (Watt) untuk kebutuhan penerangan yaitu 1.956 dengan jumlah sebanyak 108 titik lampu. Selain titik lampu yang sudah di tentukan ada juga beberapa jenis lampu yang akan di pasang untuk menambah penerangan juga keindahan ruang dan area landscape kantor.

Tabel 2. Kebutuhan Penerangan Tambahan

No	Jenis Lampu	Jumlah	Daya (Watt)	Jumlah Daya (Watt)
1	Lampu Sorot LED	3	10	30
2	Up - Down Lamp	2	12	24
3	Lampu Strip LED Warm White	80 meter	14,4/m	1.152
Total				1.206

B. Analisis Kebutuhan Kotak Kontak

Pada Analisis kebutuhan kotak kontak atau stop kontak pada setiap ruangan dibedakan dengan kapasitas arus beban lainnya, contohnya seperti penerangan. Untuk menghindari adanya gangguan yang mengakibatkan kedua instalasi tersebut tidak menerima sumber daya listrik sehingga sulit dalam melakukan pemeliharaan instalasi. Untuk lebih memudahkan hal tersebut dibuat instalasi sendiri pada kotak kontak sebagai sampel pada ruangan tunggu tamu dipasang 2 buah kotak kontak yang memiliki kapasitas masing – masing 200 VA. Berikut merupakan tabel kebutuhan Stop Kontak / kotak kontak.

No	Nama ruang	Jumlah KK (buah)	Daya KK (Watt)	Jumlah Daya (Watt)
1	Ruang Mushola	1	200	200
2	Zona Bermain Anak	1	200	200
3	Pintu Masuk & Keamanan	1	200	200
4	Sudut Kopi	1	200	200
5	Ruang Rapat & Mediasi	3	200	600
6	Ruang Tunggu	2	200	400
7	Tempat Wudhu	-	-	-
8	Koridor Toilet	-	-	-
9	Ruang Laktasi	1	200	200
10	Janitor	-	-	-
11	Toilet Wanita	-	-	-
12	Toilet Pria	-	-	-
13	Ruang Staf Warkah	1	200	200
14	Ruang Server	2	200	400
15	R.Kasi Penetapan Hak & Pendaftaran	1	200	200
16	Loket / Resepsionis	4	200	800
17	R.Kasi Survei & Pemetaan	1	200	200
18	Ruang Makan	2	200	400

Perencanaan Sistem Kelistrikan Bangunan Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

(Mohamad Andriansyah Posumah, Frengki Eka Putra Surusa, Steven Humena, Adnan Qosim, dan Rahmad Hidayat Boli :Halaman 88 - 96)

19	Ruang Arsip & Warkah	2	200	400
20	Ruang Kerja Staf /Pegawai	5	200	1.000
21	Ruang Tunggu Tamu	2	200	400
22	Ruang Sholat Kakan	1	200	200
23	Toilet	-	-	-
24	Pantry	1	200	200
25	R.Kasi Pengendalian & Penanganan Sengketa	1	200	200
26	R.Kasi Pengadaan & Pengembangan	1	200	200
27	R.Kasi Penataan & Pemberdayaan	1	200	200
28	R.Kepala SUB Bagian Tata Usaha	1	200	200
29	R.Gudang Pengukuran	1	200	200
30	R.Tata Usaha	1	200	200
31	Koridor Bendahara	1	200	200
32	Ruang Bendahara	1	200	200
33	Ruang Gudang TU	1	200	200
34	Ruang Panel	1	200	200
35	Koridor Ruang Panel	1	200	200
36	Toilet Pria	-	-	-
37	Toilet Wanita	-	-	-
38	Belakang Gedung	1	200	200
Total		43		8.800

C. Rekapitulasi Kebutuhan Daya Listrik

NO	LAMPU TL/FLOURESCENT 2 X 16	LAMPU STRIP LED WARM WHITE 14.4 / M	DOWNLIGHT MR16 LAMPU 12 WATT	UP - DOWN LAMP 12 WATT	LAMPU SOROT LED 10 WATT	STOP KONTAK LANTAI 200 WATT	EXHAUST FAN 11 WATT	STOP KONTAK 200 WATT	STOP KONTAK A C 800 WATT	STOP KONTAK POMPA 200 WATT	LOAD (W)		
											R	S	T
1	8		26		3		4				642		
2	22	36 m	21	2							1498		
3	3	44 m	28				1						1077
4													
5								10		1	2200		
6						2		18				4000	
7						1		12					2600
8													
9									2		1600		
10									3			2400	
11									2				1600
12													
13													
JUMLAH	33	80	75	2	3	3	5	40	7	1	5940	6400	5277
											JUMLAH DAYA	17617 + 20% (spare) = 21.140 WATT	
												36.571 VA	

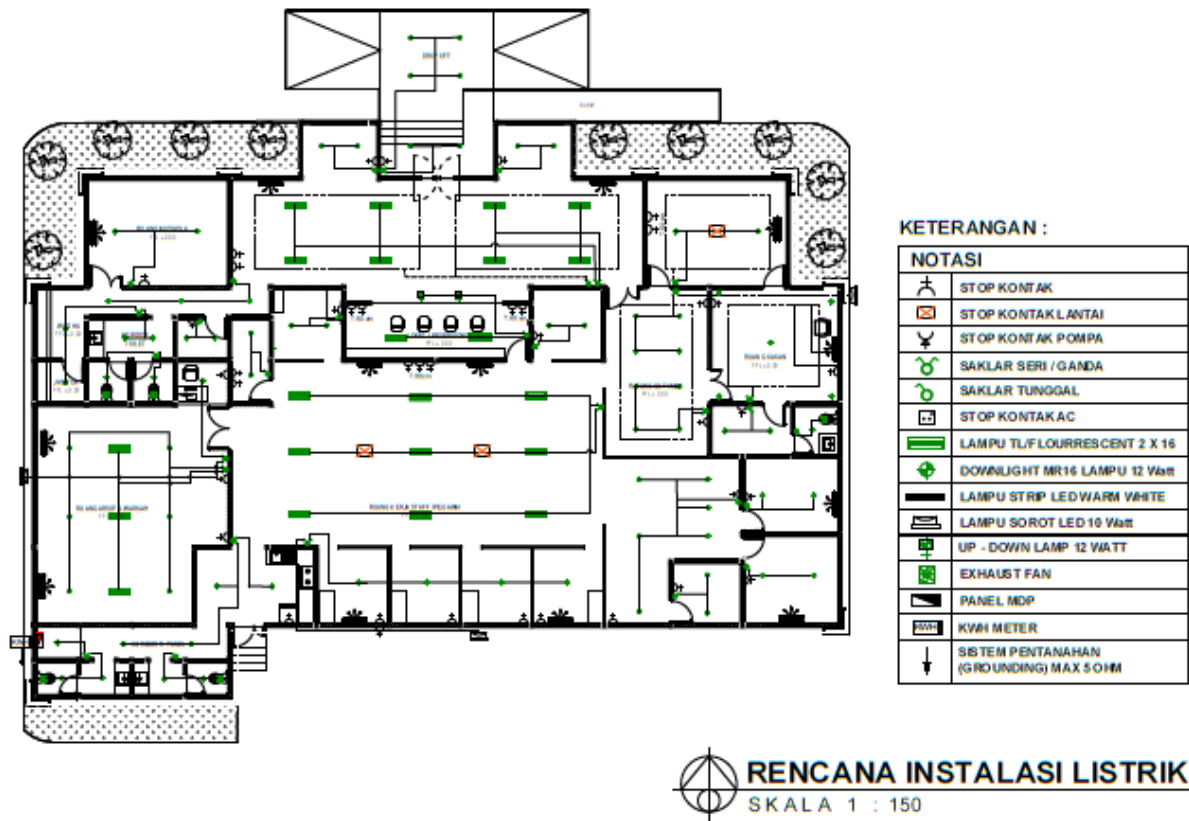
Gambar 3. Rekapitulasi Kebutuhan Daya Listrik

Pada gambar 3 terlihat bahwa terbagi dalam 11 grup beban yang terbagi dalam 3 fasa rekapitulasi pembebanan listrik, diketahui total daya beban listrik adalah 17.617 Watt atau 17,617 kW. Untuk perhitungan di tambahkan dengan *Spare* 20% dan mendapatkan hasil 21.140 Watt atau 36.571 VA.

D. Menentukan Kapasitas Proteksi dan Penghantar Induk

Dari hasil perhitungan didapatkan total daya terpasang yaitu 36.571 VA sehingga diperoleh arus sebesar 55,63 Amper, sehingga proteksi induk (*MCCB*) yang dipilih dengan kapasitas 3 x 63 Amper. Untuk pengajuan layanan sambungan daya listrik kepada PT. PLN (persero) yaitu sebesar 41.500 VA dengan pembatas 3 x 63 Amper dan Jenis dan luas penampang kabel yang dipilih untuk kabel induk berdasarkan

PUIL 2020 yaitu NYY 4 X 25 mm². Pada Gambar 4 terlihat desain perencanaan sistem kelistrikan kantor pertanahan kabupaten Bolaang Mongondow Utara.



Gambar 4. Desain Sistem Kelistrikan Kantor Pertanahan Kabupaten Bolaang Mongondow Utara

IV. KESIMPULAN

Suatu desain instalasi listrik menurut PUIL 2020 harus dilakukan survey lokasi dan desain harus seakurat mungkin. Pemilihan komponen pembebanan harus sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Gambar yang diperlukan adalah gambar desain instalasi listrik berupa diagram garis tunggal. Dari hasil perhitungan didapatkan total daya terpasang yaitu 36.571 VA. Dari perhitungan diperoleh arus sebesar 55,63 Amper dan daya terpasang 36.571, sehingga komponen proteksi MCCB induk yang dipilih dengan kapasitas 3 x 63 Amper. Untuk pengajuan layanan sambungan daya listrik kepada PT . PLN (persero) yaitu sebesar 41.500 VA dengan pembatas 3 x 63 Amper dan jenis penampang kabel yang dipilih untuk kabel induk berdasarkan PUIL 2020 yaitu NYY 4 X 25 mm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Setiono, "Perencanaan Daya Listrik Pada Kawasan Pemukiman Dengan Interpretasi Foto Udara," *Pros. SNST ke-4 Tahun 2013 Fak. Tek. Univ. Wahid Hasyim Semarang*, pp. 45–50, 2013.
- [2] G. A. Setia, F. M. Nur, and F. Haz, "Studi Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang DPRD ULP Cianjur Kota Menggunakan ETAP," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 21, no. 1, pp. 38–48, 2023, doi: 10.55893/epsilon.v21i1.101.
- [3] A. Lukmantara, "Sistem Mekanikal Dan Elektrikal (Sistem Utilitas) Gedung," 2014. <http://aloekmantara.blogspot.com/2014/10/sistem-mekanikal-dan-elektrikal-sistem.html>.
- [4] S. Humena, F. E. P. Surusa, Y. Malago, and T. Libunelo, "Analisis Pengaruh Peningkatan Beban Terhadap Sistem Ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo Berbasis Power System Analysis Toolbox-Matrix Laboratory," vol. 19, no. 01, pp. 10–17, 2020.
- [5] S. A. Muis, "Instalasi Listrik Pada Gedung Bertingkat Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri-ISTN rating arus pengaman 4 . Kebutuhan kapasitas trafo dan genset," *Sinusoida*, vol. XXIII, no. 1, pp. 40–49, 2021.
- [6] S. N. Indonesia, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2020 (PUIL 2020)," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2020, pp. 1–133, 2020.
- [7] I. Santoso, M. Dhofir, and H. Suyono, "Perancangan Instalasi Listrik Pada Blok Pasar Modern Dan

- Apartemen Di Gedung Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Malang,” *J. Jur. Tek. ELEKTRO*, vol. 1, no. 11150331000034, pp. 1–147, 2018.
- [8] Redaksi, “Terjadi Kebakaran di Kantor Bupati Bolmut,” *satubmr.com*, Boroko, 2018.
- [9] P. I. Listrik and L. M. Siregar, “Oleh : Kelompok 4 Sintya Verina Br Tarigan Widya Hanun Zuhairi,” 2021.
- [10] A. I. Pratiwi, S. Humena, and Hendrawan, “Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Pada Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo,” vol. 11, no. 2, 2023.
- [11] J. Pattinasarany, J. Ticoh, R. Ridwan, and B. Kilis, “Perancangan Instalasi Tenaga Listrik di Bengkel Universitas Negeri Manado,” *J. EDUNITRO J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 19–28, 2022, doi: 10.53682/edunitro.v2i1.3343.
- [12] R. Gobel *et al.*, “Perancangan Sistem Elektrikal Gedung Asrama Terpadu Man 1 Kota Gorontalo,” *Electrichsan*, vol. 11, no. November, pp. 2252–8237, 2022.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, “Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan,” *Standar Nas. Indones.*, pp. 1–38, 2020.
- [14] M. S. P. Lesmana, “Desain Instalasi Listrik Bangunan Bertingkat Dan Rating Arus Pengaman - Studi Kasus Bangunan Pesantren Stp Smp / Sma Khoiru Ummah Sumedang Program Diploma Iii Teknologi Listrik Institut Teknologi Pln Jakarta , 2020 Lembar Pengesahan Desain Instalasi Listr,” 2020.
- [15] M. Hariansyah, “Penerangan Dan Tenaga Di Gedung Workshop Pt . Basuh Power Electric,” pp. 28–36, 2014.

Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (Land Cover) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma Random Forest Pada Google Earth Engine

Hajiar Yuliana^{1*)}, Zahra Cahya Hanifa Rizqiana²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro

Universitas Jenderal Achmad Yani

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Jenderal Achmad Yani

^{*)}Korespondensi : hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tutupan lahan di Kota Bandung menggunakan algoritma *Random Forest* (RF) yang diimplementasikan pada platform berbasis *cloud Google Earth Engine* (GEE). Data citra satelit Sentinel-2 digunakan untuk menganalisis empat kelas utama tutupan lahan, yaitu lahan permukiman, lahan hijau, perairan, dan lahan terbuka. Proses klasifikasi melibatkan pemrosesan data awal, pelatihan model menggunakan data sampel, serta evaluasi akurasi melalui *confusion matrix* dan validasi silang (*cross-validation*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma RF memiliki akurasi keseluruhan sebesar 89%, dengan akurasi tertinggi pada kelas lahan permukiman (92%) dan terendah pada kelas perairan (80%). Validasi silang menunjukkan performa yang stabil dengan rata-rata akurasi 88.5%, *precision* 0.91, *recall* 0.88, dan *F1-score* 0.89. Analisis *confusion matrix* mengidentifikasi kesalahan klasifikasi pada kelas-kelas tertentu akibat tumpang tindih spektral, terutama antara lahan hijau dan area terbuka. Penelitian ini membuktikan bahwa algoritma RF pada GEE merupakan metode yang efisien dan akurat untuk klasifikasi tutupan lahan, sekaligus mendukung perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan. Pengembangan lebih lanjut dapat mencakup penggunaan data resolusi lebih tinggi, algoritma pembelajaran lanjutan, dan analisis berbasis waktu untuk memahami dinamika perubahan tutupan lahan.

Kata kunci : *Random Forest, Google Earth Engine, Sentinel-2, klasifikasi tutupan lahan*

Abstract

This research aims to map land cover in Bandung City using the Random Forest (RF) algorithm implemented on the Google Earth Engine (GEE) cloud-based platform. Sentinel-2 satellite image data was used to analyze four main classes of land cover, namely residential land, green land, water, and open land. The classification process involved initial data processing, model training using sample data, and accuracy evaluation through confusion matrix and cross-validation. The results showed that the RF algorithm had an overall accuracy of 89%, with the highest accuracy in the residential land class (92%) and the lowest in the water class (80%). Cross-validation showed stable performance with an average accuracy of 88.5%, precision 0.91, recall 0.88, and F1-score 0.89. Confusion matrix analysis identified misclassification in certain classes due to spectral overlap, especially between green land and open area. This research proves that the RF algorithm in GEE is an efficient and accurate method for land cover classification, while supporting spatial planning and environmental management. Further developments could include the use of higher resolution data, advanced learning algorithms and time-based analysis to understand the dynamics of land cover change.

Keywords : *Random Forest, Google Earth Engine, Sentinel-2, Land Cover*

I. PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan di daerah perkotaan menjadi perhatian utama dalam studi lingkungan, karena dampaknya yang signifikan terhadap ekosistem, perubahan iklim, serta perencanaan pembangunan wilayah. Kota Bandung, sebagai salah satu kota terbesar di Indonesia, mengalami dinamika perubahan

tutupan lahan yang cepat, seiring dengan pertumbuhan penduduk dan urbanisasi. Oleh karena itu, pemetaan tutupan lahan secara akurat dan efisien sangat diperlukan untuk mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam pemetaan tutupan lahan adalah pemanfaatan citra satelit yang dapat menyediakan data spasial dalam skala besar dan resolusi tinggi.

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan algoritma *machine learning*, khususnya algoritma *Random Forest* (RF), telah menjadi metode populer dalam klasifikasi citra satelit. Algoritma ini dikenal karena kemampuannya dalam menangani data dengan dimensi tinggi serta ketahanannya terhadap overfitting, yang sangat berguna dalam klasifikasi citra dengan berbagai kelas tutupan lahan. *Google Earth Engine* (GEE) telah menjadi platform yang mempermudah penerapan algoritma *machine learning* dalam analisis citra satelit, dengan menyediakan akses ke dataset global serta kemampuan komputasi cloud yang besar. Penggunaan GEE dalam penelitian pemetaan tutupan lahan di Kota Bandung diharapkan dapat memberikan solusi praktis dan efisien dalam menghasilkan peta tutupan lahan yang akurat.

Penggunaan GEE sebagai platform untuk pemrosesan citra satelit memungkinkan analisis yang lebih efisien dan cepat. GEE menyediakan akses ke berbagai dataset satelit, termasuk citra dari Landsat dan Sentinel, yang dapat digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan. Sebagai contoh, penelitian oleh Phan et al. menunjukkan bahwa kombinasi data Landsat 8 dengan algoritma RF dapat menghasilkan peta tutupan lahan dengan akurasi yang tinggi, mencapai lebih dari 84% [1]. Selain itu, Mahdavi et al. melaporkan bahwa akurasi peta yang dihasilkan menggunakan algoritma RF di GEE juga menunjukkan hasil yang memuaskan, meskipun sedikit di bawah 91% [2].

Algoritma RF memiliki keunggulan dalam menangani data yang kompleks dan multitemporal. Dalam studi oleh Eisavi et al., penggunaan data spektral dan termal multitemporal dengan RF menunjukkan peningkatan akurasi dalam pemetaan tutupan lahan [3]. Hal ini penting untuk Kota Bandung, yang mengalami perubahan tutupan lahan yang cepat akibat urbanisasi dan konversi lahan. Penelitian oleh Kuntoro et al. juga menyoroti dampak perubahan penggunaan lahan terhadap aliran sungai, yang menunjukkan pentingnya pemetaan tutupan lahan untuk manajemen sumber daya air [4]. Selain itu, Algoritma RF menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan metode lain seperti Classification and Regression Trees (CART) dan Gradient Boosting (GB) dalam beberapa studi [5]. Namun, penting untuk dicatat bahwa pemilihan dataset dan metode komposisi citra sangat mempengaruhi hasil klasifikasi [6].

Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa algoritma RF telah berhasil diterapkan dalam berbagai studi pemetaan tutupan lahan, baik di daerah perkotaan maupun di wilayah lainnya [7]. Algoritma *Random Forest* (RF) telah terbukti sebagai metode yang kuat dan akurat untuk klasifikasi tutupan lahan, terutama ketika diterapkan pada platform *Google Earth Engine* (GEE) yang menyediakan data satelit multi-sumber dan layanan komputasi berkinerja tinggi [8], [9]. Algoritma *Random Forest* dipilih karena keunggulannya dalam menangani data yang kompleks dan kemampuannya untuk menentukan variabel penting dalam klasifikasi [10]. Parameter optimal untuk RF, seperti jumlah pohon, variabel per split, dan fraksi bagging, diatur untuk mencapai akurasi yang tinggi [9]. Namun, tantangan utama dalam pemetaan tutupan lahan di kota-kota besar adalah kompleksitas lingkungan yang melibatkan berbagai jenis tutupan seperti permukiman, area hijau, perairan, dan infrastruktur lainnya. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih mendalam mengenai penerapan algoritma RF di Kota Bandung, dengan memanfaatkan *Google Earth Engine* untuk mengoptimalkan klasifikasi tutupan lahan secara lebih akurat dan efisien.

Info Makalah:

Dikirim : 11-26-2025;
Revisi 1 : 01-23-2025;
Revisi 2 : 02-05-2025;
Diterima : mm-dd-yy.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-812-2299-7113
e-mail : hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id

Selain itu, akurasi klasifikasi dapat dipengaruhi oleh kualitas data dan pemilihan fitur yang tepat. Jamali mengemukakan bahwa pemilihan fitur yang baik dalam algoritma RF dapat meningkatkan hasil klasifikasi [11]. Tantangan dalam pemetaan tutupan lahan juga mencakup masalah noise dalam data pelatihan. Pelletier et al. menyoroti bagaimana noise dalam label kelas pelatihan dapat mempengaruhi kinerja klasifikasi [12]. Oleh karena itu, penting untuk melakukan validasi yang cermat terhadap data pelatihan yang digunakan dalam analisis. Dalam konteks pemetaan tutupan lahan di Bandung, penting untuk mempertimbangkan

variabel lingkungan yang relevan, seperti suhu permukaan tanah dan pola penggunaan lahan sebelumnya, untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.

Selain itu, permasalahan utama dalam pemetaan tutupan lahan di area perkotaan, seperti Kota Bandung, adalah tingginya kompleksitas dan dinamika perubahan tutupan lahan. Banyak faktor yang mempengaruhi perubahan ini, mulai dari aktivitas manusia, pembangunan infrastruktur, hingga perubahan iklim. Hal ini membuat klasifikasi citra satelit menjadi tugas yang menantang karena banyaknya kelas tutupan yang perlu dibedakan dan kecenderungan data yang tidak terbalancing antara kelas tutupan yang satu dengan yang lainnya. Untuk mengatasi hal ini, algoritma *machine learning* seperti *Random Forest* (RF) menawarkan kemampuan untuk melakukan klasifikasi dengan akurasi yang tinggi dan toleransi terhadap kerumitan data.

Pendekatan umum yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemanfaatan algoritma *Random Forest* untuk klasifikasi citra satelit guna menghasilkan peta tutupan lahan yang akurat. Dalam hal ini, *Google Earth Engine* (GEE) sebagai platform berbasis cloud memberikan keuntungan dalam hal aksesibilitas dan kemampuan komputasi yang sangat tinggi, yang memungkinkan analisis data citra satelit secara efisien dan skalabel. GEE memungkinkan pemrosesan data satelit dalam jumlah besar, dengan waktu eksekusi yang lebih cepat dibandingkan metode tradisional, serta dapat memanfaatkan berbagai fitur algoritma *machine learning* yang ada. Dengan mengidentifikasi potensi dan tantangan yang ada dalam klasifikasi tutupan lahan di Kota Bandung, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengimplementasikan algoritma *Random Forest* pada platform *Google Earth Engine* untuk menghasilkan peta tutupan lahan yang lebih akurat dan tepat guna.

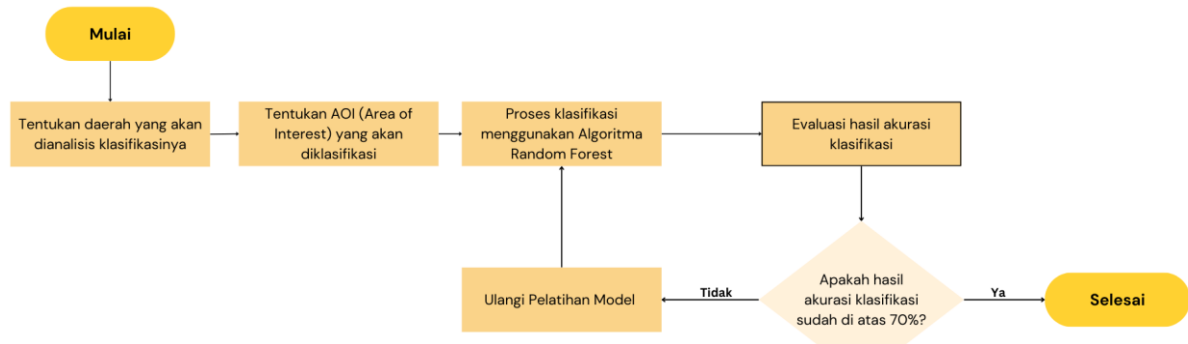
II. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan menentukan daerah yang akan dianalisis klasifikasinya, dalam hal ini Kota Bandung dipilih sebagai area penelitian. Wilayah ini memiliki variasi tutupan lahan yang cukup beragam, seperti lahan hijau, perairan, permukiman, dan area terbuka, sehingga cocok untuk pengujian algoritma klasifikasi. Langkah ini mencakup pengumpulan informasi spasial dan identifikasi *Area of Interest* (AOI) yang menjadi fokus klasifikasi. Tahap selanjutnya adalah menentukan *Area of Interest* (AOI) yang akan diklasifikasikan. AOI dipilih berdasarkan batas administrasi Kota Bandung yang relevan dan memastikan representasi berbagai jenis tutupan lahan dalam dataset. Proses ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan citra satelit berbasis *cloud*, yaitu *Google Earth Engine* (GEE), untuk mengimpor data citra Sentinel-2.

Setelah AOI ditentukan, penelitian memasuki proses klasifikasi menggunakan algoritma *Random Forest*. Algoritma ini dipilih karena kemampuannya yang andal dalam menangani data yang kompleks dan menghasilkan model yang *robust*. Data citra Sentinel-2 diproses menggunakan indeks vegetasi seperti NDVI dan EVI, serta fitur-fitur lain yang relevan untuk melatih model klasifikasi. Model dilatih menggunakan data sampel dari setiap kelas tutupan lahan yang diidentifikasi dalam AOI. Tahap berikutnya adalah evaluasi hasil akurasi klasifikasi, di mana model yang dihasilkan diuji menggunakan data validasi. Evaluasi dilakukan melalui matriks kesalahan (*confusion matrix*) untuk menghitung metrik akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Penilaian ini bertujuan memastikan bahwa model dapat mengklasifikasikan data dengan tingkat keandalan yang tinggi.

Jika hasil akurasi yang diperoleh dari model berada di bawah 70%, proses pelatihan model akan diulang dengan menyesuaikan parameter algoritma atau memperbaiki kualitas data latih. Namun, jika akurasi mencapai atau melebihi 70%, proses klasifikasi dinyatakan selesai, dan hasil klasifikasi dapat digunakan untuk keperluan analisis lebih lanjut. Tahapan-tahapan ini dirancang untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan secara sistematis dan menghasilkan model klasifikasi yang akurat serta dapat diandalkan untuk pemetaan tutupan lahan di Kota Bandung.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Deskripsi Data Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan citra satelit sebagai data utama untuk klasifikasi tutupan lahan di Kota Bandung. Citra satelit yang digunakan adalah data Landsat yang tersedia melalui platform *Google Earth Engine* (GEE), yang mencakup periode waktu terbaru untuk menggambarkan dinamika perubahan tutupan lahan. Data Landsat memiliki resolusi spasial 30 meter dan menyediakan informasi spektral dalam berbagai band, yang sangat berguna untuk membedakan berbagai kelas tutupan lahan. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari koleksi Landsat 8, yang memiliki cakupan temporal dari 2013 hingga 2023.

Selain itu, data tambahan berupa informasi referensi berupa peta tutupan lahan yang sudah ada dan titik data ground truth juga digunakan untuk validasi dan pelatihan model. Data referensi ini dikumpulkan dari survei lapangan dan sumber peta tutupan lahan yang sudah dipublikasikan, seperti data dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan sumber pemerintah daerah setempat.

C. Persiapan Sampel Data

Proses persiapan sampel untuk klasifikasi dimulai dengan pengumpulan citra satelit Landsat yang relevan untuk area Kota Bandung. Citra tersebut kemudian diproses untuk mendapatkan data yang siap digunakan dalam model klasifikasi. Tahapan awal pemrosesan meliputi pemotongan citra (clipping) untuk area penelitian yang mencakup seluruh wilayah Kota Bandung. Selain itu, citra satelit juga diproses untuk koreksi atmosfer (atmospheric correction) guna mengurangi pengaruh elemen atmosfer terhadap data citra. Proses ini penting agar citra satelit mencerminkan keadaan sesungguhnya di lapangan.

Setelah itu, citra yang telah diproses dilakukan pemilihan band yang relevan, yaitu band spektral yang dapat membedakan berbagai jenis tutupan lahan, seperti band merah (red), hijau (green), biru (blue), inframerah dekat (near-infrared), dan inframerah pendek (short-wave infrared). Pemilihan band ini didasarkan pada literatur yang menunjukkan efektivitasnya dalam membedakan kelas-kelas tutupan lahan perkotaan, seperti vegetasi, permukiman, perairan, dan lahan terbuka (Cohen et al., 2021).

Selanjutnya, data pelatihan atau training data dikumpulkan dari titik-titik ground truth dan peta referensi untuk membangun label yang akan digunakan untuk melatih model *Random Forest*. Titik data ini mencakup berbagai jenis tutupan lahan yang ada di Kota Bandung, seperti lahan permukiman, area hijau, jalan raya, dan perairan. Titik data pelatihan ini kemudian digunakan untuk melatih model *Random Forest* dalam mengklasifikasikan citra satelit menjadi kelas-kelas tutupan lahan yang relevan.

D. Pengaturan Percobaan

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah algoritma *Random Forest* (RF), yang diterapkan pada data citra satelit menggunakan platform *Google Earth Engine*. *Random Forest* merupakan algoritma ensemble yang membangun sejumlah pohon keputusan (decision trees) dan melakukan klasifikasi berdasarkan mayoritas keputusan yang diberikan oleh masing-masing pohon. Algoritma RF ini dipilih karena kemampuannya untuk menangani data yang besar dan kompleks, serta memiliki performa yang baik dalam hal akurasi klasifikasi. Di dalam GEE, model RF diimplementasikan menggunakan library built-in yang memfasilitasi pelatihan model serta evaluasi kinerja.

Proses eksperimen dimulai dengan melatih model *Random Forest* menggunakan data pelatihan yang telah disiapkan sebelumnya. Proses pelatihan ini dilakukan dengan menggunakan sampel data citra satelit yang telah diberi label sesuai dengan kelas tutupan lahan yang diinginkan. Selanjutnya, model yang terlatih digunakan untuk mengklasifikasikan citra satelit yang tidak diberi label untuk menghasilkan peta

Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (Land Cover) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma Random Forest Pada Google Earth Engine ***(Hajiar Yuliana, Zahra Cahya Hanifa Rizqiana : Halaman 97 - 106)***

tutupan lahan. Parameter yang digunakan dalam pelatihan meliputi jumlah pohon dalam hutan (number of trees) serta kedalaman maksimum pohon (maximum depth), yang dioptimalkan melalui uji coba untuk mendapatkan model dengan kinerja terbaik.

E. Evaluasi Kinerja

Untuk mengevaluasi kinerja model yang telah dilatih, dilakukan pengujian menggunakan data validasi yang tidak terlibat dalam proses pelatihan. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi model dengan data *ground truth* dan peta referensi. Metode pengukuran yang digunakan untuk menilai akurasi model adalah *Confusion Matrix*, yang memungkinkan perhitungan akurasi keseluruhan, serta metrik lain seperti *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* untuk masing-masing kelas tutupan lahan. Pengukuran ini penting untuk memastikan model dapat mengklasifikasikan dengan baik berbagai kelas tutupan lahan yang ada di area Kota Bandung.

Berikut adalah penjelasan masing-masing metrik evaluasi yang digunakan pada penelitian ini:

- **Akurasi (%)**: Mengukur seberapa besar proporsi prediksi yang benar dibandingkan dengan jumlah total prediksi. Akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa model secara keseluruhan dapat mengklasifikasikan citra dengan benar.
- **Precision**: Mengukur akurasi prediksi positif. Ini menunjukkan berapa banyak dari semua prediksi yang dikategorikan sebagai positif (misalnya, lahan hijau atau lahan permukiman) yang benar-benar termasuk dalam kategori tersebut.
- **Recall**: Mengukur sejauh mana model dapat menemukan semua kasus positif dalam data yang diuji. Recall yang tinggi menunjukkan bahwa model tidak melewatkan banyak prediksi yang benar untuk kelas tertentu.
- **F1-score**: Merupakan rata-rata harmonis dari *precision* dan *recall*. *F1-score* memberikan gambaran yang lebih seimbang antara *precision* dan *recall*, sehingga lebih cocok untuk evaluasi ketika ada ketidakseimbangan kelas dalam data.

Selain itu, untuk memastikan bahwa model *Random Forest* tidak mengalami overfitting, dilakukan teknik validasi silang (cross-validation) dengan membagi data pelatihan menjadi beberapa subset. Proses validasi silang ini digunakan untuk menilai stabilitas model dengan berbagai set data pelatihan dan pengujian.

III. HASIL DAN DISKUSI

Tabel 1 menggambarkan distribusi luas area untuk masing-masing kelas tutupan lahan yang terdeteksi di Kota Bandung. Ini memberikan gambaran umum tentang komposisi tutupan lahan yang dominan di wilayah tersebut. Berdasarkan hasil klasifikasi, terdapat empat kategori utama tutupan lahan yang mencakup wilayah kota, yaitu lahan permukiman, lahan hijau, perairan, dan area.

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa lahan permukiman adalah kelas yang paling dominan di Kota Bandung, dengan luas mencapai 15,200 hektar, atau sekitar 45% dari total luas kota. Hal ini mencerminkan tingginya tingkat urbanisasi dan pertumbuhan permukiman di area pusat dan sekitarnya, yang sesuai dengan tren perkembangan kota besar di Indonesia. Permukiman ini mencakup berbagai jenis bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya yang menyebar di seluruh area perkotaan. Kelas kedua yang paling besar adalah lahan hijau, yang mencakup area vegetasi dan taman kota, dengan luas sekitar 10,300 hektar atau 31% dari total luas kota. Lahan hijau ini memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem perkotaan, menyediakan ruang terbuka untuk publik, dan berkontribusi pada kualitas udara serta penyerapan air hujan. Area hijau juga tersebar di berbagai bagian kota, termasuk taman kota, ruang terbuka hijau, dan lahan pertanian.

Perairan, yang mencakup sungai, danau, dan waduk yang ada di Kota Bandung, memiliki luas sekitar 2,500 hektar, atau sekitar 7% dari total luas kota. Meskipun tidak sebanyak lahan permukiman atau lahan hijau, perairan memainkan peran penting dalam mengatur aliran air dan menjadi sumber kehidupan bagi banyak spesies flora dan fauna. Kelas ini juga relevan untuk studi terkait pengelolaan sumber daya air dan mitigasi risiko bencana alam seperti banjir. Sementara itu, area terbuka mencakup tanah kosong, pekarangan, dan area non-vegetatif lainnya yang tidak memiliki tutupan vegetasi atau bangunan. Luas area terbuka ini tercatat sekitar 5,000 hektar, atau 17% dari luas total Kota Bandung. Area terbuka sering

kali berfungsi sebagai ruang transisi atau sebagai lahan untuk kegiatan non-permanen seperti parkir dan kegiatan komersial sementara.

Secara keseluruhan, total luas tutupan lahan di Kota Bandung yang terklasifikasi dalam penelitian ini mencapai 33,000 hektar. Distribusi luas masing-masing kelas menunjukkan bahwa lahan permukiman mendominasi wilayah kota, sementara lahan hijau dan area terbuka juga memiliki peran yang signifikan dalam struktur kota. Pengetahuan ini penting untuk perencanaan kota yang lebih berkelanjutan, di mana keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan harus diperhatikan dengan cermat.

Tabel 1. Distribusi Luas Tutupan Lahan di Kota Bandung

Kelas Tutupan Lahan	Luas (Hektar)	Persentase (%)
Lahan Permukiman	15.200	45%
Lahan Hijau	10.300	31%
Perairan	2.500	7%
Area Terbuka	5.000	17%
Total	33.000	100%

A. Hasil Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan

Berdasarkan penerapan algoritma *Random Forest* pada citra satelit Landsat yang telah diproses, peta tutupan lahan Kota Bandung berhasil diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu lahan permukiman, lahan hijau, perairan, dan area terbuka. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa sebagian besar area di pusat kota didominasi oleh lahan permukiman, sedangkan kawasan pinggiran kota dan beberapa area hijau menunjukkan prevalensi lahan vegetasi. Proses klasifikasi menghasilkan peta dengan akurasi keseluruhan sebesar 89%, yang menunjukkan kemampuan algoritma *Random Forest* dalam membedakan berbagai jenis tutupan lahan meskipun terdapat tantangan berupa variasi spektral dalam citra satelit, terutama di area yang padat penduduk. Angka tersebut menunjukkan kinerja yang sangat baik, mengingat kompleksitas tutupan lahan yang ada di daerah perkotaan yang melibatkan berbagai jenis kelas, seperti lahan permukiman, lahan hijau, perairan, dan area terbuka.

Pengukuran akurasi untuk masing-masing kelas yang ditunjukkan pada Tabel 2 menunjukkan hasil yang bervariasi. Kelas lahan permukiman memiliki tingkat akurasi tertinggi, yaitu 92% yang mencerminkan keberhasilan model dalam mengenali kawasan permukiman yang dominan di pusat kota. Hal ini mungkin karena lahan permukiman memiliki ciri-ciri spektral yang lebih konsisten dan mudah dibedakan dari kelas lainnya, seperti perbedaan yang jelas dalam reflektansi antara material bangunan dan vegetasi atau perairan.

Sebaliknya, kelas lahan hijau dan perairan menunjukkan akurasi yang lebih rendah, masing-masing 85% dan 80%. Hasil ini mungkin dipengaruhi oleh adanya tumpang tindih spektral antara vegetasi dan area terbuka, serta kesulitan dalam membedakan perairan yang tercermin dengan latar belakang yang lebih gelap atau terkontaminasi oleh polusi air atau kekeruhan. Dalam konteks ini, lahan hijau meliputi berbagai jenis vegetasi yang dapat memiliki reflektansi yang bervariasi tergantung pada jenis vegetasi dan kondisi lingkungan, yang bisa mengurangi akurasi klasifikasi. Kelas area terbuka memperoleh akurasi 87%, yang juga merupakan hasil yang cukup baik, namun masih menunjukkan ruang untuk perbaikan. Area terbuka, meskipun lebih mudah dibedakan dari area permukiman atau perairan, terkadang memiliki spektrum yang tumpang tindih dengan area lain yang tidak tertutup vegetasi atau bangunan. Hasil tersebut memberikan gambaran bahwa algoritma *Random Forest* dapat efektif dalam mengidentifikasi kategori tutupan lahan yang berbeda, meskipun ada kemungkinan kesalahan klasifikasi pada kelas-kelas tertentu yang memiliki karakteristik spektral yang tumpang tindih.

Tabel 2. Akurasi Klasifikasi untuk Masing-Masing Kelas

Kelas Tutupan Lahan	Akurasi (%)
Lahan Permukiman	92 %
Lahan Hijau	85 %
Perairan	80 %
Area Terbuka	87 %
Akurasi Keseluruhan	89 %

B. Confusion Matrix dan Kesalahan Klasifikasi

Tabel Confusion Matrix yang ditunjukkan pada Tabel 3 memberikan informasi lebih mendalam terkait kesalahan klasifikasi yang terjadi pada model. Confusion Matrix ini membantu mengidentifikasi

Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (Land Cover) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma Random Forest Pada Google Earth Engine
(Hajjar Yuliana, Zahra Cahya Hanifa Rizqiana : Halaman 97 - 106)

performa model dalam klasifikasi setiap jenis tutupan lahan secara lebih terperinci, termasuk kesalahan klasifikasi (*false positives* dan *false negatives*) untuk setiap kelas. Confusion Matrix ini menunjukkan perbandingan antara hasil klasifikasi yang diprediksi oleh model dan data referensi ground truth. Angka-angka ini menunjukkan jumlah piksel yang benar-benar diklasifikasikan dengan tepat atau yang biasa disebut dengan *True Positives* (TP) dan jumlah piksel yang salah klasifikasi atau yang biasa disebut dengan *False Positives* (FP) atau *False Negatives* (FN). Berdasarkan matrix tersebut, dapat dilihat bahwa lahan permukiman cenderung terklasifikasi dengan baik, dengan hanya sedikit kesalahan dalam mengklasifikasikan sebagai lahan hijau atau area terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa model RF mampu dengan baik membedakan area yang padat permukiman dari area hijau atau terbuka.

Namun, kesalahan klasifikasi pada kelas lahan hijau lebih signifikan, dengan banyaknya *false positives* (FP) yang mengidentifikasi area yang seharusnya masuk dalam kelas lahan hijau sebagai lahan permukiman atau area terbuka. Hal ini dapat dijelaskan oleh variasi tinggi dalam reflektansi spektral yang dimiliki oleh jenis vegetasi yang berbeda (misalnya, vegetasi semak dan pohon tinggi), serta kemungkinan tumpang tindih dengan area permukiman atau infrastruktur lainnya, yang sulit dibedakan hanya dengan data citra satelit. Kelas perairan juga mengalami beberapa *false positives* dan *false negatives*, meskipun tidak sebanyak kelas lahan hijau. Kesalahan ini dapat disebabkan oleh pencampuran spektral antara perairan yang gelap atau tercemar dengan area terbuka atau lahan permukiman yang berdekatan, yang dapat membuat deteksi perairan menjadi kurang akurat. Pada kelas area terbuka, meskipun akurasi tinggi, model masih mengalami beberapa *false positives* yang mengklasifikasikan area terbuka sebagai lahan hijau atau perairan, yang menunjukkan tantangan dalam membedakan area dengan vegetasi jarang atau tanah kosong dengan area lain yang lebih kompleks.

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Model *Random Forest* dengan *Confusion Matrix*

Kelas Prediksi /Kelas Sebenarnya	Lahan Permukiman	Lahan Hijau	Perairan	Area Terbuka	Total
Lahan Permukiman	2.000 (TP)	100 (FN)	50 (FN)	150 (FN)	2.300
Lahan Hijau	80 (FP)	1.900 (TP)	30 (FN)	120 (FN)	2.130
Perairan	30 (FP)	40 (FP)	500 (TP)	30 (FN)	600
Area Terbuka	50 (FP)	120 (FP)	20 (FP)	1.800 (TP)	1.990
Total	2.160	2.160	600	2.100	7.020

C. Hasil Cross-Validation (Validasi Silang)

Cross-validation adalah teknik yang digunakan untuk mengevaluasi model secara lebih robust dan memastikan bahwa model yang dilatih dapat digeneralisasi dengan baik pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya (data yang tidak terlibat dalam pelatihan). Teknik ini sangat berguna untuk menghindari *overfitting*, yaitu ketika model terlalu "terikat" pada data pelatihan dan tidak dapat bekerja dengan baik pada data baru.

Fold dalam *cross-validation* merujuk pada pembagian data menjadi beberapa subset yang lebih kecil. Secara umum, dalam *k-fold cross-validation*, data dibagi menjadi k bagian (*folds*). Model dilatih menggunakan k-1 *fold*, sementara satu *fold* lainnya digunakan untuk validasi (pengujian). Proses ini diulang sebanyak k kali, dengan setiap *fold* digunakan sekali sebagai data uji dan sisanya sebagai data pelatihan. Hasil dari semua percobaan tersebut kemudian dirata-rata untuk memberikan evaluasi akhir terhadap model.

Tabel 4 yang menunjukkan hasil dari validasi silang menunjukkan bahwa model RF memiliki kinerja yang stabil dan tidak mengalami *overfitting*. Dengan rata-rata akurasi 88.5% dari empat *fold*, model RF dapat diandalkan untuk klasifikasi data citra satelit yang serupa di wilayah lain. Nilai *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* yang tinggi menunjukkan bahwa model RF memiliki keseimbangan yang baik dalam hal kemampuan untuk mengidentifikasi kelas tutupan lahan dengan benar (*Precision*) dan menangkap seluruh variabel yang relevan dari setiap kelas (*Recall*), yang menjadikannya model yang sangat baik untuk klasifikasi tutupan lahan.

Tabel 4. Kinerja Model dalam Validasi Silang (*Cross-Validation*)

<i>Fold</i>	Akurasi (%)	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>
Fold 1	88%	0,91	0,89	0,90
Fold 2	90%	0,92	0,87	0,89
Fold 3	89%	0,90	0,88	0,89
Fold 4	87%	0,89	0,90	0,89

Rata-rata	88,5%	0,91	0,88	0,89
------------------	--------------	-------------	-------------	-------------

Tabel 4 menunjukkan hasil evaluasi model untuk empat *fold* dalam proses validasi silang (*4-fold cross-validation*), di mana data dibagi menjadi empat bagian yang saling tumpang tindih, dan model dilatih dan diuji secara bergantian pada masing-masing *fold*. Setiap *fold* (*Fold 1*, *Fold 2*, *Fold 3*, dan *Fold 4*) memiliki nilai akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*, yang mengukur kinerja model dalam memprediksi kelas tutupan lahan yang berbeda.

Model *Random Forest* yang digunakan tersebut menunjukkan keseimbangan yang baik antara *precision* dan *recall*. Meskipun *precision* lebih tinggi dari *recall* pada beberapa *fold*, model mampu mendeteksi sebagian besar kelas positif (*recall* tetap berada di sekitar 0.88 hingga 0.90). *F1-score* yang tinggi di semua *fold* menunjukkan bahwa model menjaga keseimbangan yang efektif antara keduanya, sangat penting untuk tugas klasifikasi tutupan lahan di area perkotaan yang kompleks. Walaupun ada sedikit fluktuasi dalam hasil evaluasi dari *fold* ke *fold*, hasil rata-rata menunjukkan bahwa model memiliki performa yang sangat konsisten dalam klasifikasi citra satelit untuk tutupan lahan di Kota Bandung. Akurasi yang stabil di seluruh *fold* mengindikasikan bahwa model tidak terpengaruh oleh ketidakseimbangan kelas atau variasi data yang ada dalam set pelatihan.

Karena model menunjukkan hasil yang stabil di seluruh *fold*, ini menunjukkan bahwa model *Random Forest* tidak mengalami *overfitting* (terlalu menyesuaikan diri dengan data pelatihan) maupun *underfitting* (tidak cukup belajar dari data pelatihan). Validasi silang ini berhasil mengidentifikasi model yang robust dan dapat digeneralisasi dengan baik ke data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Dengan menggunakan platform *Google Earth Engine* (GEE), penelitian ini berhasil menerapkan algoritma *Random Forest* (RF) untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di wilayah Kota Bandung. Hasil klasifikasi menunjukkan akurasi total sebesar 89%, dengan tingkat akurasi yang berbeda untuk setiap kategori tutupan lahan: 92% untuk lahan permukiman, 85% untuk lahan hijau, 80% untuk perairan, dan 87% untuk area terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma Hutan Random memiliki kinerja yang baik dalam membedakan berbagai jenis tutupan lahan, meskipun tumpang tindih spektral antar kelas merupakan masalah. Hasil validasi silang (*cross-validation*) juga menunjukkan performa yang stabil, dengan rata-rata akurasi 88.5%, *precision* 0.91, *recall* 0.88, dan *F1-score* 0.89. Nilai-nilai ini menggambarkan bahwa model mampu menjaga keseimbangan yang baik antara akurasi prediksi positif dan kemampuan mendeteksi seluruh kelas dalam data uji. Selain itu, evaluasi melalui *confusion matrix* menunjukkan distribusi klasifikasi yang baik untuk sebagian besar kelas. Misalnya, kelas lahan permukiman dan lahan hijau memiliki jumlah piksel yang tinggi yang diklasifikasikan dengan benar, sementara kelas perairan menunjukkan beberapa kasus salah klasifikasi menjadi lahan terbuka, yang memengaruhi akurasi kelas tersebut.

GEE sebagai platform berbasis cloud terbukti menghemat waktu dan memproses data besar. Pemetaan tutupan lahan yang lebih akurat dan efisien telah dicapai melalui penelitian ini. Ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan Kota Bandung. Namun, ada beberapa keterbatasan pada penelitian ini. Salah satunya adalah tingkat akurasi yang lebih rendah pada kelas lahan hijau dan perairan karena variasi spektral yang kompleks. Selain itu, distribusi data kebenaran faktual yang tidak merata di seluruh wilayah penelitian juga dapat berdampak pada hasil klasifikasi.

Terdapat beberapa peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam hal metode, data, dan cakupan analisis penelitian ini. Menggunakan data gambar satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, seperti Sentinel-2 atau WorldView, adalah langkah penting yang dapat diambil. Penggunaan gambar dengan resolusi lebih tinggi dapat membantu meningkatkan akurasi model dalam membedakan kelas tutupan lahan yang sulit, seperti perairan dan lahan hijau. Selain itu, integrasi dengan data tambahan seperti LiDAR, topografi, atau data cuaca dapat menambah dimensi baru dalam analisis. Ini memungkinkan model untuk menangkap pola yang lebih kompleks dan menghasilkan klasifikasi yang lebih akurat.

Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi algoritma yang lebih canggih dari segi metode, seperti *Convolutional Neural Networks* (CNN) atau ensemble learning yang menggabungkan kekuatan beberapa algoritma. Metode ini dapat membantu menangani masalah dengan data dengan variasi spektral yang tinggi, seperti kelas vegetasi dan perairan. Selain itu, menggunakan pendekatan berbasis deret waktu (analisis deret waktu) juga penting untuk memetakan perubahan tutupan lahan secara dinamis. Analisis ini dapat memberikan wawasan lebih mendalam tentang pola perubahan penggunaan lahan dari waktu ke waktu, yang sangat relevan untuk perencanaan tata ruang dan mitigasi dampak lingkungan. Peningkatan kualitas data *ground truth* juga dapat menjadi bagian dari pengembangan lebih lanjut. Data sampel dapat didistribusikan secara lebih merata di seluruh area penelitian, yang dapat memperbaiki proses pelatihan model dan mengurangi bias klasifikasi. Selain itu, data lapangan yang lebih representatif dapat digunakan untuk validasi hasil klasifikasi, sehingga hasil dapat diverifikasi secara lebih akurat.

Pengujian teknik ini di daerah lain dengan karakteristik tutupan lahan yang berbeda sangat penting untuk mengevaluasi generalisasi algoritma yang digunakan. Metode ini membantu kita memahami seberapa efektif algoritma Hutan Sederhana dalam berbagai kondisi, dan memberikan wawasan yang dapat digunakan untuk daerah dengan masalah klasifikasi yang serupa. Penelitian selanjutnya dapat membantu perencanaan wilayah yang lebih efisien, pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan, dan pengambilan keputusan berbasis data yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. N. Phan, V. Kuch, and L. W. Lehnert, "Land Cover Classification Using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 15, p. 2411, 2020, doi: 10.3390/rs12152411.
- [2] M. Mahdavi, S. K. AHANGAR, B. Feizizadeh, K. V. Kamran, and S. Karimzadeh, "Spatio-Temporal Monitoring of Qeshm Mangrove Forests Through Machine Learning Classification of SAR and Optical Images on Google Earth Engine," *Int. J. Eng. Geosci.*, vol. 8, no. 3, pp. 239–250, 2023, doi: 10.26833/ijeg.1118542.
- [3] V. Eisavi, S. Homayouni, A. M. Yazdi, and A. Alimohammadi, "Land Cover Mapping Based on Random Forest Classification of Multitemporal Spectral and Thermal Images," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 187, no. 5, 2015, doi: 10.1007/s10661-015-4489-3.
- [4] A. A. Kuntoro, A. W. Putro, M. S. B. Kusuma, and S. Natasaputra, "The Effect of Land Use Change to Maximum and Minimum Discharge in Cikapundung River Basin," 2017, doi: 10.1063/1.5011621.
- [5] N. Ponganan, T. Horanont, K. Artlert, and P. Nuallaong, "Land Cover Classification using Google Earth Engine's Object-oriented and Machine Learning Classifier," *2021 2nd Int. Conf. Big Data Anal. Pract. IBDAP 2021*, pp. 33–37, 2021, doi: 10.1109/IBDAP52511.2021.9552099.
- [6] A. Tassi, D. Gigante, G. Modica, L. Di Martino, and M. Vizzari, "Pixel-vs. Object-based landsat 8 data classification in google earth engine using random forest: The case study of maiella national park," *Remote Sens.*, vol. 13, no. 12, 2021, doi: 10.3390/rs13122299.
- [7] S. Amini, M. Saber, H. Rabiei-Dastjerdi, and S. Homayouni, "Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 11, pp. 1–23, 2022, doi: 10.3390/rs14112654.
- [8] S. Xie, L. Liu, X. Zhang, J. Yang, X. Chen, and Y. Gao, "Automatic land-cover mapping using landsat time-series data based on google earth engine," *Remote Sens.*, vol. 11, no. 24, 2019, doi: 10.3390/rs11243023.
- [9] J. Sun and S. Ongsomwang, "Optimal parameters of random forest for land cover classification with suitable data type and dataset on Google Earth Engine," *Front. Earth Sci.*, vol. 11, no. October, pp. 1–17, 2023, doi: 10.3389/feart.2023.1188093.
- [10] V. F. Rodriguez-Galiano, B. Ghimire, J. Rogan, M. Chica-Olmo, and J. P. Rigol-Sanchez, "An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 67, no. 1, pp. 93–104, 2012, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002.

- [11] A. Jamali, "Land Use Land Cover Mapping Using Advanced Machine Learning Classifiers," *Ekológia (Bratislava)*, vol. 40, no. 3, pp. 286–300, 2021, doi: 10.2478/eko-2021-0031.
- [12] C. Pelletier, S. Valero, J. Inglada, N. Champion, C. M. Sicre, and G. Dedieu, "Effect of Training Class Label Noise on Classification Performances for Land Cover Mapping With Satellite Image Time Series," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 2, p. 173, 2017, doi: 10.3390/rs9020173.