

Simulasi Jaringan 5G Broadcast Low Power Low Tower (LPLT) Menggunakan Metode K-Means Clustering Studi Kasus Provinsi Bali

Sadewa Putra Nussan¹, Fitri Yuli Zulkifli²

[Submission: 02-10-2024, Accepted: 23-11-2024]

Abstract— The growth in the total amount of data transmitted through cellular networks globally has increased significantly, especially for video content, with an estimated reach of 227 Exabytes (EB) per month by 2027. This data serves as the backdrop for the continuous development of video-based broadcasting technology to capture the growth opportunities in video content consumption, which is very rapid, by focusing on the target audience using mobile reception modes such as smartphones. The new technology considered capable of meeting this need is 5G Broadcast. This research aims to design an LTE-Based 5G Broadcast network with Low Power Low Tower (LPLT) transmitters in one of the Digital TV Service Areas in Indonesia. The design and simulation of the LTE-Based 5G Broadcast in Bali Province were conducted using the LPLT network approach, utilizing existing cellular operator BTS towers. Scenario-1, the location of the 5G Broadcast transmitters was chosen with the condition of an Inter Site Distance (ISD) of more than 3km, resulting in 292 selected transmitters based on the latest ITU-R recommendations, reports, and publications. From the simulation results using CHIRplus_BC, Scenario-2 (K-Means Clustering) is better in terms of population coverage in all Reception Modes and Location Probabilities compared to the simulation results of Scenario-1 (ISD > 3km) using the same number of transmitters, which is 292 LPLT transmitters. However, in terms of Coverage Area, Scenario-1 ISD > 3km tends to cover a larger area compared to Scenario-2. (K-Means Clustering).

Keywords— 5G Broadcast; LTE-Based; Low Power Low Tower (LPLT); K-means Clustering; CHIRplus_BC; Bali

Intisari— Pertumbuhan jumlah total data yang ditransmisikan melalui jaringan seluler secara global naik secara sangat signifikan terutama untuk konten video dengan perkiraan akan mencapai 227 Exabyte (EB) per bulan pada tahun 2027. Data ini yang menjadi latar belakang teknologi penyiaran berbasis video terus dikembangkan agar bisa menangkap peluang pertumbuhan akan konsumsi konten video yang sangat pesat tersebut dan berfokus kepada sasaran audiens dengan mode penerimaan *mobile* seperti *smartphone*. Teknologi baru yang dianggap dapat memenuhi kebutuhan tersebut adalah 5G Broadcast. Pada penelitian ini bertujuan untuk merancang jaringan LTE Based - 5G Broadcast dengan jaringan pemancar Low Power Low Tower (LPLT) pada salah satu Wilayah Layanan

TV Digital di Indonesia. Dilakukan perancangan serta simulasi LTE-Based 5G Broadcast di Provinsi Bali dengan menggunakan pendekatan jaringan LPLT dengan memanfaatkan menara BTS milik operator selular eksisting. Skenario-1, dipilih lokasi pemancar 5G Broadcast dengan ketentuan Inter Site Distance (ISD) lebih dari 3km sehingga didapatkan 292 pemancar terpilih. Skenario-2 dilakukan dengan menggunakan algoritma K-Means Clustering dan pemancar 5G Broadcast akan dipilih 1 pemancar dengan kriteria posisi antena tertinggi dari masing-masing klaster. Simulasi menggunakan perangkat lunak CHIRplus_BC yang dibuat berdasarkan dari rekomendasi, laporan, dan publikasi ITU-R terbaru. Dari hasil simulasi menggunakan CHIRplus_BC, Skenario-2 (K-Means Clustering) lebih baik dalam hal cakupan populasi pada semua Reception Mode dan Location Probability bila dibandingkan dengan hasil simulasi Skenario-1 (ISD > 3km) dengan menggunakan jumlah pemancar yang sama yaitu 292 pemancar LPLT. Namun dalam hal Coverage Area, Skenario-1 ISD > 3km cenderung mencakup luas area yang lebih besar bila dibandingkan dengan Skenario-2 (K-Means Clustering).

Kata Kunci— 5G Broadcast; LTE-Based; Low Power Low Tower (LPLT); Klasterisasi K-means; CHIRplus_BC; Bali

I. PENDAHULUAN

Jumlah penggunaan data seluler di seluruh dunia telah mengalami pertumbuhan yang dramatis dalam beberapa tahun terakhir. Sementara pada tahun 2021 jumlah total data yang ditransmisikan melalui jaringan seluler secara global mencapai 65 ExaByte (EB) per bulan, diperkirakan akan mencapai 288 EB per bulan pada tahun 2027 [1]. Saat ini, 69% dari penggunaan data seluler yang ditransmisikan melalui jaringan seluler adalah data berupa konten video, dan diperkirakan akan meningkat hingga 79% pada tahun 2027 yang setara dengan 227 EB per bulan. Jaringan *broadcasting* telah menangani pengiriman sejumlah data konten video dalam mode penerima Televisi selama beberapa dekade dan mulai melirik untuk menjangkau audiens dengan mode penerimaan ke media pengguna *mobile* seperti *smartphone* atau *tablet PC*. Namun harus diingat, menyediakan layanan kepada perangkat *mobile* dengan menggunakan sistem siaran tradisional pernah mengalami kegagalan [2]. Hal ini yang membuat teknologi penyiaran baru terus dikembangkan agar bisa menangkap peluang pertumbuhan akan konsumsi konten video yang sangat pesat tersebut.

Namun dari sudut pandang negara, berkaca pada keterlambatan implementasi siaran Televisi Digital Terrestrial yang disebabkan oleh keterlambatan Analog Switch Off (ASO), Indonesia harus lebih cermat dalam memperhatikan

¹Mahasiswa S2, Teknik Elektro Program Manajemen Telekomunikasi, Kampus UI Depok, Pondok Cina, Depok, Jawa Barat, Indonesia 16424 (telp: 021-1500002; e-mail: sadewa.putra11@ui.ac.id)

²Guru Besar, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Kampus UI Depok, Pondok Cina, Depok, Jawa Barat, Indonesia 16424 (telp: 021-1500002; e-mail: yuli@eng.ui.ac.id)



perkembangan teknologi-teknologi terbaru dibidang penyiaran. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan adalah teknologi *5G Broadcast*. Ketertarikan negara-negara di dunia terhadap perkembangan *5G Broadcast* telah dimulai sejak tahun 2017. Hal ini didasari oleh standar teknologi yang sudah ditentukan oleh *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* sejak *Release-14* pada tahun 2017 [3] dan kemudian diterbitkan juga oleh ETSI pada tahun 2018 [4].

Teknologi *5G Broadcast* merupakan siaran multimedia *free-to-air* dengan kualitas yang baik tanpa perlu menggunakan data internet atau kartu SIM tertentu. Implementasi teknologi *5G Broadcast* tidak hanya membawa manfaat bagi masyarakat dalam hal aksesibilitas siaran multimedia, tetapi juga memungkinkan terciptanya peluang bisnis baru dan nilai tambah bagi layanan *free-to-air* di tengah persaingan dengan layanan *streaming video over the top* melalui internet.

Selain peluang bisnis baru, perkembangan *5G Broadcast* juga didasari oleh semakin besarnya kesadaran dunia akan jumlah emisi CO₂ yang meningkat dalam sistem komunikasi, sebanding dengan peningkatan jumlah konsumen seluler [5]. *5G Broadcast* yang bersifat *broadcast (point-to-multipoint)* memiliki kelebihan dari sisi penghematan energi dalam situasi pendistribusian konten contohnya video ke banyak pengguna dalam waktu yang bersamaan bila dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan bila menggunakan sistem komunikasi *unicast (point-to-point)* seperti teknologi selular pada umumnya.

Meskipun potensinya besar, implementasi teknologi *5G Broadcast* di Indonesia dihadapkan pada beberapa tantangan. Salah satunya adalah belum adanya kebijakan ataupun regulasi yang menjadi dasar untuk mengimplementasi teknologi *5G Broadcast*. Diperlukan pertimbangan yang matang disertai dengan kajian ataupun simulasi yang dapat memberikan gambaran mengenai opsi skenario untuk implementasi *5G Broadcast* di Indonesia. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pembentukan regulasi dan kebijakan yang mendukung pengimplementasian *5G Broadcast*.

Dalam menentukan daerah/wilayah yang akan dijadikan objek penelitian ini, akan dipilih Provinsi di Indonesia yang tepat hanya memiliki satu Wilayah Layanan Televisi Digital Terrestrial seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2019 tentang Rencana Induk Frekuensi Radio untuk Keperluan Penyelenggaraan Televisi Siaran Digital Terrestrial Pada Pita Frekuensi Radio *Ultra High Frequency* seperti ditunjukkan pada Gambar 1

Wilayah Layanan (WL) Bali dipilih menjadi objek penelitian ini karena menjadi satu-satunya WL TV Digital dalam PM Kemkominfo Nomor 6 Tahun 2019 yang terdiri dari satu Provinsi penuh tanpa beririsan dengan Wilayah Layanan Provinsi lainnya. Letak geografis pulau Bali juga sangat mendukung untuk dijadikan sebagai objek penelitian kali ini karena batas-batas wilayah yang tegas terpisah oleh lautan dengan WL TV Digital lainnya sehingga memudahkan dalam perhitungan simulasi untuk persentase *coverage area* serta proses perhitungan cakupan populasinya



Gambar 1: WL Bali pada PM Kemkominfo Nomor 6 Tahun 2019 [6]

II. STUDI PUSTAKA

A. Evolusi Teknologi LTE-Based 5G Broadcast

Dalam standarisasi *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, sebuah standar bernama *evolved Multimedia Broadcast Multicast Services (eMBMS)* pertama kali dicetuskan pada *3GPP Release-9* yang dihadirkan untuk bisa menyediakan layanan *live-streaming* berkualitas tinggi bagi sejumlah besar pengguna secara bersamaan atau yang dikenal juga sebagai *LTE Broadcast* [7]. Karena eMBMS masih hanya bisa diimplementasikan dalam jaringan seluler dengan *Low Power Low Tower (LPLT)*, 3GPP lalu berfokus pada peningkatan standar untuk merealisasikan jaringan *Multicast/Broadcast Single Frequency Network (MBSFN)* dengan beberapa peningkatan fungsi dan fitur melalui beberapa rilis selanjutnya.

Dalam hal penambahan fitur agar eMBMS bisa diaplikasikan ke jaringan siaran *High Power High Tower (HPHT)*, 3GPP membuat standar baru untuk MBMS yang telah di perbaharui menjadi *Further evolved MBMS (FeMBMS)* pada *3GPP Release-14* yang mencakup beberapa fitur tambahan yang diperlukan untuk mendukung layanan penyiaran terestrial. Dengan memperhatikan berbagai kebutuhan dari industri penyiaran, FeMBMS memungkinkan alokasi sumber daya hingga 100% untuk mentransmisikan layanan siaran melalui kanal khusus FeMBMS untuk mode *receiver-only* yang tidak memerlukan kartu SIM, serta mendukung jarak antar lokasi pemancar atau *Inter Site Distance (ISD)* yang lebih besar [8].

Lalu dengan terbitnya spesifikasi *3GPP Release-16* pada 3GPP dan spesifikasi *LTE Based - 5G Broadcast* di ETSI TS 103 720 [9], siaran TV digital menggunakan *5G Broadcast* semakin siap untuk diimplementasikan. Spesifikasi *5G Broadcast* dari 3GPP dapat memenuhi semua persyaratan utama untuk melakukan siaran TV digital. Sistem ini dirancang untuk biaya implementasi yang rendah, efisiensi tinggi, serta pemanfaatan infrastruktur pemancar yang dimiliki oleh *broadcaster* yang umum digunakan yaitu HPHT serta fungsi penerimaan 3GPP yang sudah ada. *5G Broadcast* disesuaikan untuk karakteristik broadcasting pada umumnya dan mendukung layanan *free-to-air* dengan mode *receive-only* dengan sistem pendistribusian *downlink-only* dalam spektrum di pita UHF yaitu frekuensi 470 hingga 698 MHz [10].

Namun pada 3GPP Release-16 ini, teknologi LTE-Based - 5G Broadcast hanya mendukung bandwidth sistem yang sama seperti LTE pada sistem IMT yaitu 1,4; 3; 5; 10; 15; dan 20 MHz. Bandwidth penganalan ini sama dengan pada penganalan sistem seluler, di mana spektrum umumnya dialokasikan dalam kelipatan 5 MHz. Sedangkan dalam spektrum siaran, bandwidth kanal berbeda sehingga penganalan bandwidth untuk siaran tidak kompatibel dengan bandwidth dari sistem LTE selular tersebut.

Sebagai contoh, menurut EBU TR054 [11] transmisi HPHT membutuhkan koordinasi yang cermat antara negara terutama di wilayah perbatasan antara satu negara dengan negara lainnya. Penggunaan frekuensi siaran di Band IV dan V pada ITU Region 1 (terutama Eropa, Afrika, Timur Tengah) harus mengikuti isi dari Perjanjian Geneva 06 (GE06) [12]. Perjanjian ini memberikan kerangka kerja untuk mengelola hak penggunaan Pita UHF, yang dibagi menjadi saluran UHF 8 MHz di negara-negara terkait. Semua transmisi di pita 470 - 694 MHz harus sesuai dengan kerangka kerja GE06 yang memastikan kompatibilitas antar layanan.

Sedangkan di ITU Region 2 (Amerika Utara, Amerika Latin, dan Amerika Selatan), perjanjian internasional menetapkan rencana pita televisi terpadu menggunakan saluran 6 MHz untuk pita VHF dan UHF. Pada ITU Region 3 (sebagian besar Asia dan Oseania), berbagai negara menggunakan bandwidth saluran yang berbeda-beda antara 6; 7; dan 8 MHz. Sebagai contoh, India saat ini menggunakan bandwidth saluran 7 dan 8 MHz pada pita VHF dan UHF [13], dan Indonesia sendiri mengadopsi penganalan 8 MHz seperti tertuang pada PM Kemkominfo Nomor 6 Tahun 2019 [6].

Masalah ini kemudian diakomodasi oleh 3GPP dan pada bulan Maret 2021, European Broadcasting Union bersama dengan 27 anggota pendukung lain membawa yang item kerja baru [14] dengan tujuan menambahkan dukungan bandwidth kanal sebesar 6, 7, dan 8 MHz untuk LTE Based 5G Broadcast. Working item ini sebelumnya telah dibahas pada Desember 2020, tetapi belum mencapai kesimpulan. Sejak itu dukungan dibangun dari berbagai bagian ekosistem, termasuk entitas broadcasting di seluruh dunia dunia (EBU, BNE, TDF, Cellnex, Saankhya Labs), vendor perangkat TV (LGE, Panasonic), operator seluler (NTT Docomo, Reliance Jio), universitas (SJTU, IIT Bombay, Universitas Negara Basque), penyedia teknologi TV (Dolby, Xperi, Rohde & Schwarz, ATEME) dan perusahaan media sosial (Facebook). Working Item ini secara resmi telah dimasukkan ke dalam spesifikasi 3GPP Technical Report 21.917 tahun 2023 [15].

Ada salah satu pendekatan lain lagi yang sedang dikembangkan oleh 3GPP mengenai teknologi penyiaran di era 5G yaitu 5G NR Multicast and Broadcast Services (NR-MBS). Namun layanan multicast dan broadcast pada 5G NR (NR-MBS) lebih berfokus pada V2X, keadaan darurat, dan keselamatan publik sebagai aplikasi dari layanan tersebut. Perkembangan NR-MBS dalam hal penyediaan layanan penyiaran terestrial juga bukanlah isu mendesak dalam 3GPP Release 18/19 mendatang [16].

B. Jaringan HPHT vs LPLT

Sadewa Putra Nussan: Simulasi Jaringan 5G Broadcast...

Jaringan High Power High Tower (HPHT) adalah terminologi kontras terhadap jaringan Low Power Low Tower (LPLT). Jaringan HPHT biasanya menunjuk pada pemancar yang ditempatkan setidaknya 150 m di atas permukaan bumi. Tinggi pemancar HPHT umumnya mencapai 300m, dan Effective Radiated Power (ERP) mencapai puluhan kilowatt. Sebaliknya, tinggi antena pemancar LPLT rata-rata terletak pada ketinggian di 40m. Dalam pemahaman umum, LPLT menargetkan area layanan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan HPHT, dengan ERP tidak sampai ke dalam skala kilowatt.

Dibandingkan dengan HPHT, jaringan LPLT akan menunjukkan distribusi pemancar yang lebih padat/banyak jika ingin memenuhi persentase coverage area atau cakupan populasi yang sebanding. Namun LPLT memiliki kelebihan dengan sifat emisi daya yang rendah memungkinkan untuk mengabaikan kontribusi dari pemancar yang jauh, tidak seperti kasus pada jaringan HPHT. Selain itu jaringan LPLT juga dianggap sesuai digunakan dalam area kota besar seperti telah dijelaskan pada penelitian [17]. Dari parameter fisik jaringan pemancar LPLT hampir menyerupai dengan jaringan BTS selular eksisting karena memiliki tinggi antena yang hampir serupa sehingga bisa menjadi hipotesis bahwa rancangan jaringan 5G Broadcast dapat memanfaatkan infrastruktur menara BTS selular eksisting sebagai kandidat pemancar 5G Broadcast dalam penelitian ini.

C. K-Means Algorithm

K-means adalah metode partisi yang paling populer dari sebuah proses klusterisasi. Pertama kali diusulkan oleh MacQueen pada tahun 1967. K-Means adalah metode unsupervised, non-deterministik, numerik, dan merupakan metode pengelompokan berulang atau iteratif. Dalam K-Means, setiap kluster diwakili oleh nilai rata-rata dari objek-objek di dalam kluster.

Algoritma ini terdiri dari dua fase terpisah. Fase pertama adalah memilih k centroid secara acak, di mana nilai k sudah ditentukan sebelumnya. Fase kedua yaitu setiap objek dalam kumpulan data diasosiasikan dengan centroid terdekat. Jarak Euclidean digunakan untuk mengukur jarak antara setiap objek data dan centroid kluster.

Dalam algoritma K-Means dibutuhkan dua parameter input yang pertama adalah K (jumlah kluster yang diinginkan). Kemudian input yang kedua adalah D: {d1, d2, ..., dn} adalah sebuah kumpulan data set yang memiliki sejumlah n objek. Dari parameter input tersebut akan didapatkan sebuah output berupa satu set k kluster seperti yang ditentukan dalam input.

Cara kerja algoritma ini dimulai dengan memilih nilai k secara acak dari set data D yang menentukan jumlah kluster yang diinginkan. Setiap nilai k pada awalnya merepresentasikan pusat kluster atau rata-rata kluster. Kemudian untuk setiap item data yang tersisa di D, item data ditugaskan ke kluster yang paling mirip, berdasarkan jarak antara item data dan rata-rata kluster. Kemudian perhitungan dilanjutkan dengan rata-rata yang baru untuk setiap kluster dan memperbarui nilai rata-rata tersebut. Proses ini akan



diulangi sampai *centroid* cenderung tidak berubah lagi atau sampai fungsi kriteria konvergen [18].

Hasil yang terbentuk dari algoritma K-Means ini sangat bergantung pada pemilihan nilai K sebagai jumlah kluster yang diinginkan [19]. Walaupun nilai K bersifat sangat sensitif [20], dalam menentukan jumlah kluster pada penelitian ini, nilai K akan ditentukan mengikuti jumlah pemancar yang terpilih pada skenario pemilihan kandidat pemancar berdasarkan $ISD > 3\text{km}$.

D. CHIRplus_BC

CHIRplus_BC adalah perangkat lunak untuk *planning* dan koordinasi yang canggih untuk layanan Broadcasting analog dan digital. Pada awalnya, perangkat lunak ini dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan regulator dan operator jaringan di Eropa saja. Namun, dengan pengalaman lebih dari 20 tahun dan pengembangan yang sukses, kemampuan CHIRplus_BC telah ditingkatkan untuk dapat mendukung regulator dan operator jaringan di seluruh dunia.

CHIRplus_BC dibuat dan terus diperbaharui berdasarkan pada rekomendasi, laporan, dan publikasi ITU-R terbaru dari organisasi yang berhubungan dengan penyiaran seperti EBU dan dari organisasi teknis secara umum seperti ETSI. Sebagian besar rekomendasi ITU-R yang relevan untuk CHIRplus_BC diterbitkan dalam *BS series (Broadcasting service sound)*, *BT series (Broadcasting service television)* dan *P series (Radio wave propagation)*. Namun, rekomendasi yang diterbitkan dalam seri lain misalnya *SM series (Spectrum management)* atau *F series (Fixed service)* juga diperhitungkan dalam proses meningkatkan kemampuan dan kinerja perhitungan dalam CHIRplus_BC [21].

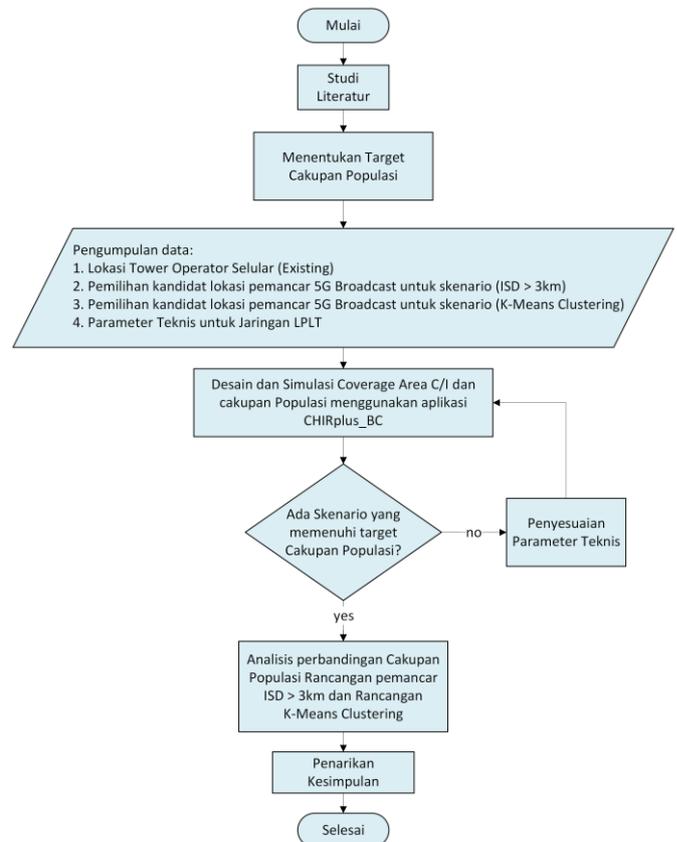
Dalam fitur perencanaan jaringan *LTE-Based 5G Broadcast*, CHIRplus_BC telah memperbaharui *network processor* untuk mendukung parameter pemancar hingga Release-17. Simulasi jaringan untuk *Cyclic Prefix (CP)* dari $4.7\ \mu\text{s}$ hingga $300\ \mu\text{s}$ sudah dimungkinkan. Selain mendukung nilai *bandwidth* LTE pada standar seluler, Release-17 juga mendukung nilai *bandwidth* saluran siaran standar 6, 7 dan 8 MHz. Sebagai seting parameter awal dan referensi, perangkat lunak ini mengadopsi 4 (empat) kondisi penerimaan yang diuraikan dalam dokumen EBU TR 034 serta 6 (enam) kondisi penerimaan yang diuraikan dalam dokumen EBU TR 063. Tentu saja, parameter yang ingin dimodifikasi secara manual oleh pengguna untuk kondisi penerimaan lainnya juga dimungkinkan [22].

III. METODOLOGI

Kerangka kerja penelitian adalah sebuah alur dalam penelitian yang diawali dari persiapan penelitian, proses penelitian, hingga penarikan kesimpulan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan jaringan *5G Broadcast Low Power Low Tower* pada salah satu WL TV Digital di Indonesia dengan menggunakan data persebaran lokasi BTS milik salah satu operator seluler eksisting yang ada di wilayah layanan tersebut. Wilayah layanan yang dijadikan objek pada penelitian ini adalah WL Bali seperti yang telah dijelaskan pada bab pendahuluan.

Dalam proses penelitian ini, dibuat suatu kerangka penelitian berupa langkah-langkah yang dilakukan secara terstruktur. Pada proses persiapan penelitian terdiri dari dua

langkah yaitu dimulai dengan studi literatur dan dilanjutkan dengan menentukan target cakupan populasi yang diharapkan dari hasil rancangan simulasi pada penelitian ini. Bagian inti proses penelitian selanjutnya adalah proses pengumpulan data yang dibutuhkan sebagai bahan yang akan diolah sehingga bisa digunakan untuk melakukan perancangan dan simulasi menggunakan perangkat lunak CHIRplus_BC. Alur penelitian ditutup dengan menganalisis hasil dari simulasi serta menarik kesimpulan dari hasil analisis tersebut. Keseluruhan alur kerangka penelitian ini digambarkan dalam sebuah diagram alur penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Diagram Alur Penelitian

A. Menentukan Target Cakupan Populasi

Dalam proses menentukan target cakupan populasi dari hasil simulasi jaringan *5G Broadcast* ini didasarkan pada persentase penduduk usia 5 tahun ke atas yang mengakses Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam 3 bulan terakhir menurut kabupaten/kota di Provinsi Bali [23] dan jumlah penduduk menurut kelompok umur di Provinsi [24] yang ditunjukkan pada Tabel I dan Tabel II.

TABEL I
PERSENTASE PENDUDUK USIA 5 TAHUN KE ATAS YANG MENGGAKSES TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI (TIK) DALAM 3 BULAN TERAKHIR MENURUT KABUPATEN/KOTA DI BALI, TAHUN 2023

Kabupaten/Kota Provinsi Bali	Menggunakan Telepon Seluler
Jembrana	87.52%
Tabanan	79.76%
Badung	87.20%

Gianyar	80.94%
Klungkung	72.44%
Bangli	75.15%
Karangasem	77.56%
Buleleng	80.70%
Denpasar	93.00%
Jumlah / Total :	83.98%

TABEL III
 JUMLAH PENDUDUK (RIBU) MENURUT KELOMPOK UMUR DI PROVINSI BALI, TAHUN 2023

Kelompok Umur	Jumlah Penduduk (ribu)	Persentase Kumulatif
0-4	314.2	7.13 %
5-9	295.3	92.87 %
10-14	310.1	
15-19	331.4	
20-24	333.4	
25-29	333.1	
30-34	329.9	
35-39	324.4	
40-44	326.0	
45-49	322.5	
50-54	297.6	
55-59	264.5	
60-64	215.5	
65-69	162.9	
70-74	114.5	
75+	129.0	
Jumlah	4404.3	100 %

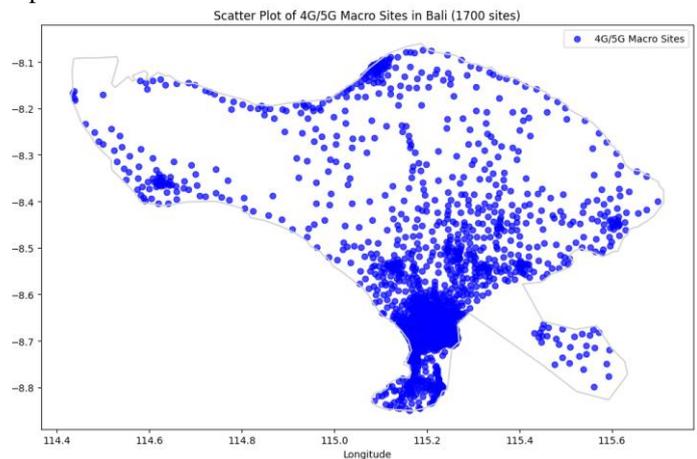
Dari kedua data pada tabel tersebut lalu dilakukan perhitungan persentase penduduk usia 5 tahun ke atas yang mengakses TIK senilai 83,98% pada Tabel I dikalikan dengan persentase kumulatif jumlah penduduk kelompok umur lebih dari 5 tahun dengan nilai 92,87%. Dari hasil perkalian tersebut diperoleh angka mendekati ~78% yang mewakili data pengguna TIK dari seluruh kelompok umur yang ada Provinsi Bali dan diasumsikan memiliki telepon selular pribadi. Atas dasar salah satu objektif penting dari *5G Broadcast* yang menyoar penerimaan melalui telepon selular (*handheld mobile*), maka target *population coverage* pada penelitian ini adalah

78% dari total populasi untuk mode penerimaan *indoor handheld* di Provinsi Bali.

B. Data Persebaran Pemancar Operator Selular Existing

Sebelum melakukan pemilihan jumlah dan lokasi yang akan dijadikan kandidat pemancar *5G Broadcast* untuk disimulasikan, penelitian ini memanfaatkan data 1700 *Base Transceiver Station* (BTS) "macro" eksisting dari salah satu operator telekomunikasi. Data BTS makro yang akan di perhitungkan dalam memilih kandidat pemancar *5G Broadcast* adalah BTS dengan kriteria minimal sudah Sadewa Putra Nussan: Simulasi Jaringan 5G Broadcast...

mendukung teknologi 4G ataupun 5G dengan asumsi juga sudah memiliki *backbone* fiber optik. Kriteria ini berguna untuk memastikan bahwa kandidat pemancar *5G Broadcast* yang terpilih tidak memiliki masalah isu kekurangan kapasitas *backbone*. Distribusi BTS operator selular ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Data Persebaran 1700 BTS Makro Operator Selular

C. Pemilihan Jumlah dan Lokasi Pemancar 5G Broadcast

Dari data sebaran 1700 BTS operator selular di Provinsi Bali, untuk Skenario-1 dipilih kandidat dengan jarak antar pemancar minimal 3km dengan mengimplementasikan fungsi "is_far_enough" dalam bahasa *Python* yang dijalankan menggunakan platform Google Colab. Selanjutnya dalam Skenario-2, digunakan algoritma *K-means Clustering* untuk mengelompokkan data lokasi dari persebaran BTS dan membaginya ke dalam sejumlah K kluster. Jumlah kluster akan disamakan dengan jumlah pemancar yang didapatkan pada perhitungan di Skenario-1.

Skenario-2 akan mengimplementasikan fungsi "Kmeans" dalam bahasa *Python*, juga dengan menggunakan platform Google Colab. Kemudian dari sejumlah K kluster tadi untuk dipilih satu kandidat pemancar dengan posisi antena tertinggi dari setiap klasternya.

D. Simulasi Coverage dan Analisis Populasi

Simulasi *coverage* dilakukan menggunakan perangkat lunak CHIRplus_BC. Beberapa parameter simulasi diambil dari dokumen *Technical Report "5G Broadcast Network Planning and Evaluation"* [25]. Mode penerimaan (*Reception Modes*) yang akan disimulasikan adalah:

- *Car Mounted Reception*;
- *Handheld Portable Outdoor Reception*;
- *Portable Indoor Reception*; dan
- *Handheld Portable Indoor Reception*

dengan kriteria *coverage* 70%, 90% dan 95% *location probability* dari masing-masing mode penerimaan tersebut.

Setelah mendapatkan hasil prediksi *coverage* dari setiap simulasi, dilakukan analisis populasi untuk menentukan seberapa besar populasi yang tercakup oleh hasil simulasi jaringan tersebut. Analisis ini penting dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi dari kedua skenario jaringan dan untuk

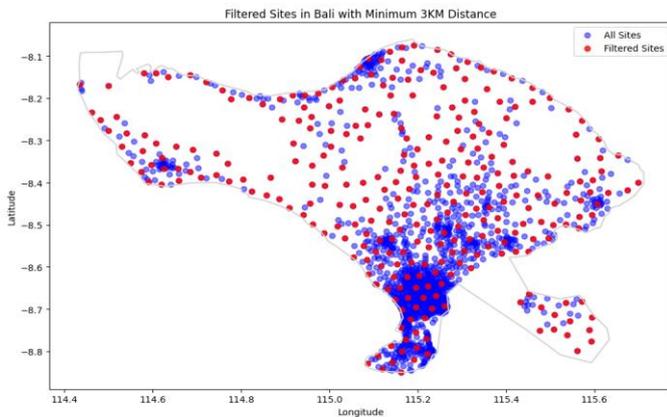


mengetahui ketercapaian target populasi yang sudah ditentukan sebelumnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Pemancar untuk Skenario-1 (ISD > 3km)

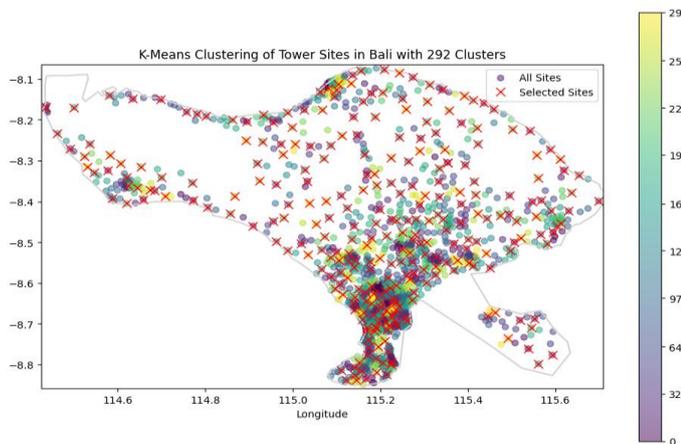
Dari hasil mengimplementasikan fungsi “is_far_enough” di Google Colab, didapatkan 292 site terpilih yang akan dijadikan sebagai pemancar 5G Broadcast untuk Skenario-1. Pada Gambar 4, titik warna merah menunjukkan lokasi BTS yang terpilih menjadi pemancar 5G Broadcast dengan jarak antar pemancar minimal lebih dari 3km.



Gambar 4: Data Persebaran 292 BTS Terpilih untuk Skenario-1 (ISD > 3km)

B. Pemilihan Pemancar untuk Skenario-2 (K-means)

Ditentukan jumlah pemancar 5G Broadcast yang akan digunakan dalam Skenario-2 yaitu mengikuti jumlah 292 pemancar seperti yang didapatkan pada Skenario-1. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih baik dan tidak bias akibat dari perbedaan jumlah pemancar antara kedua skenario yang akan dibandingkan. Dengan menggunakan parameter “optimal_cluster” sejumlah 292 kluster yang didapat, kemudian dipilih satu site dengan posisi antenna tertinggi dari setiap kluster sebagai kandidat pemancar 5G Broadcast. Gambar 5 menunjukkan lokasi BTS yang terpilih menjadi pemancar 5G Broadcast dengan simbol silang berwarna merah.



Gambar 5: Data Persebaran 292 Site Terpilih untuk Skenario-2 (K-Means)

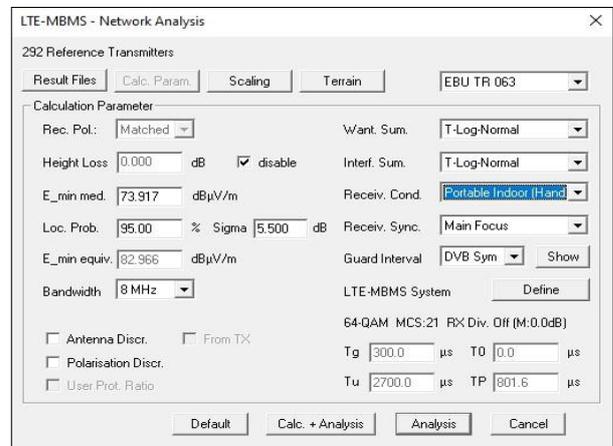
C. Parameter Teknis LPLT (Low Power Low Tower)

Setelah mendapatkan lokasi pemancar untuk masing-masing skenario, parameter teknis lain yang digunakan untuk simulasi untuk kedua skenario ditunjukkan oleh Tabel III. Kapasitas bitrate yang ditentukan mendekati nilai ~16Mbps untuk memenuhi kebutuhan bitrate untuk satu konten UHD/4K atau 3840 x 2160 atau dua konten FHD 1920 x 1080 dengan video codec HEVC (H.265) [26].

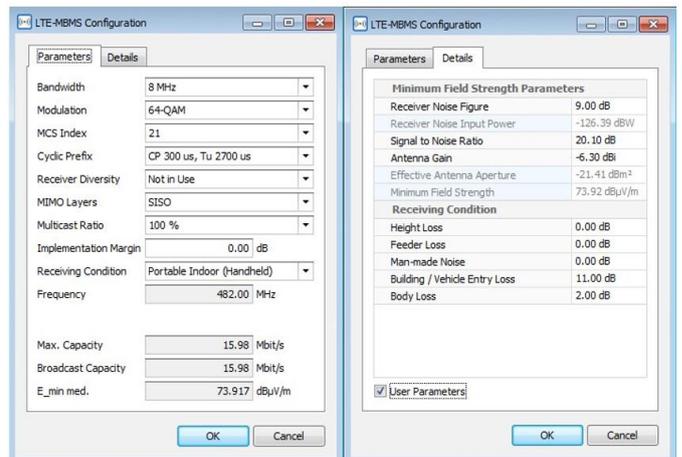
TABEL III
PARAMETER TEKNIS LPLT (LOW POWER LOW TOWER)

Parameter	Menggunakan Telepon Seluler
Jumlah Site	292 Pemancar
Tinggi Antena	Menggunakan tinggi antenna existing pemancar
EIRP	57.4 dBm (~ 550 Watt)
Bandwidth	8 MHz
Frekuensi	SFN mode, 478 – 486 MHz (kanal 22 untuk DVB-T2)
Modulation	64 QAM (MCS Index: 21)
Cyclic Prefix	300µs
Bitrate (max)	15.98 Mbps

Parameter teknis tersebut kemudian diaplikasikan ke dalam perangkat lunak CHIRplus_BC seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

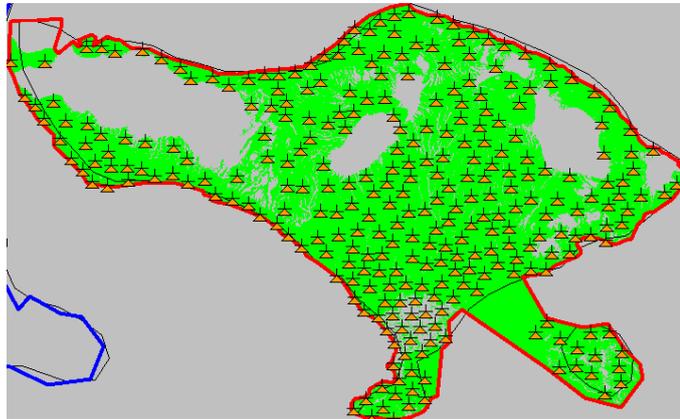


Gambar 6: Tampilan Network Analysis CHIRplus_BC



Gambar 7: Tampilan Parameter dan Details pada CHIRplus_BC

Gambar 8 menunjukkan hasil *coverage* dari simulasi untuk Skenario-1 menggunakan mode penerimaan *indoor portable handheld* dengan *location probability* 95%. Area tercover ditunjukkan dengan gambar berwarna hijau sedangkan warna abu-abu adalah area yang dianggap tidak tercover atau tidak memenuhi kriteria kuat sinyal yang dibutuhkan.



Gambar 8: Hasil Simulasi Skenario-1 (ISD > 3km) dengan *Reception Mode Indoor Handheld with Location Probability 95%*

Hasil cakupan Populasi dari simulasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 9 untuk seluruh *reception mode* pada Skenario-1.

Receiving Type with (Loc Prob %)	E _{min} (dBuV/m)	Population Number	Population Coverage (%)	Cov. Area (sqKm)	Cov. Area (%)
Indoor - HH (95%)	82.966	3387580	75.56%	4093.03	71.71%
Indoor - HH (90%)	80.967	3414619	76.17%	4217.14	73.88%
Indoor - HH (70%)	76.799	3488210	77.81%	4439.51	77.78%
Indoor (95%)	78.966	3458874	77.15%	4374.98	76.65%
Indoor (90%)	76.967	3493071	77.92%	4477.77	78.45%
Indoor (70%)	72.799	3627755	80.92%	4671.98	81.85%
Outdoor - HH (95%)	71.966	3716127	82.89%	4779.78	83.74%
Outdoor - HH (90%)	69.967	3879376	86.53%	4863.52	85.21%
Outdoor - HH (70%)	65.799	4328321	96.55%	5027.36	88.08%
CM (95%)	60.666	4457754	99.44%	5245.53	91.90%
CM (90%)	58.677	4458254	99.45%	5282.08	92.54%
CM (70%)	54.499	4460187	99.49%	5350.51	93.74%
Total Area calculated		5707.74			
Total Population in Area Calculated		4483076			

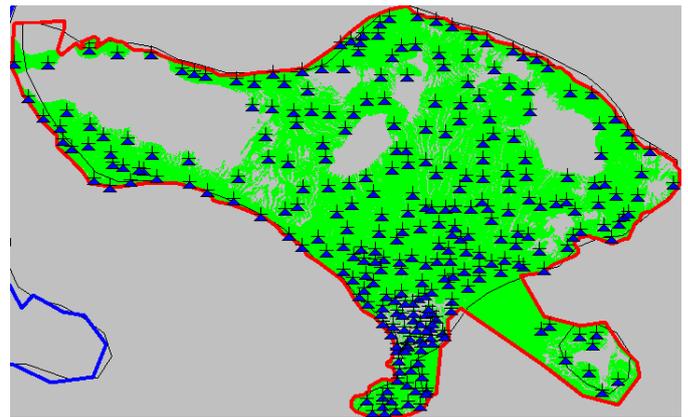
Gambar 9: Hasil Cakupan Populasi dan Cakupan Area untuk seluruh *reception mode* pada Skenario-1 (ISD > 3km)

Dari data hasil di atas terlihat bahwa target 78% cakupan populasi untuk penerimaan *indoor handheld* masih belum ada yang terpenuhi karena nilainya antara 75,56% - 77,81% untuk ketiga standar *location probability* yang berbeda.

E. Hasil Simulasi Skenario-2 (K-Means)

Gambar 10 menunjukkan hasil *coverage* dari simulasi untuk Skenario-2 menggunakan mode penerimaan *indoor portable handheld* dengan *location probability* 95%. Sama seperti simulasi sebelumnya, area tercover ditunjukkan dengan gambar berwarna hijau sedangkan warna abu-abu

adalah area yang dianggap tidak tercover atau tidak memenuhi kriteria kuat sinyal yang dibutuhkan.



Gambar 10: Hasil Simulasi Skenario-2 (*K-means*) dengan *Reception Mode Indoor Handheld with Location Probability 95%*

Hasil cakupan Populasi dari simulasi Skenario-2 ditunjukkan pada untuk seluruh *reception mode* yang disimulasikan.

Receiving Type with (Loc Prob %)	E _{min} (dBuV/m)	Population Number	Population Coverage (%)	Cov. Area (sqKm)	Cov. Area (%)
Indoor - HH (95%)	82.966	3620110	80.75%	4002.62	70.13%
Indoor - HH (90%)	80.967	3776523	84.24%	4155.92	72.81%
Indoor - HH (70%)	76.799	4131691	92.16%	4436.43	77.73%
Indoor (95%)	78.966	4041830	90.16%	4355.16	76.30%
Indoor (90%)	76.967	4220307	94.14%	4488.16	78.63%
Indoor (70%)	72.799	4398757	98.12%	4715.44	82.61%
Outdoor - HH (95%)	71.966	4444439	99.14%	4824.26	84.52%
Outdoor - HH (90%)	69.967	4451613	99.30%	4905.09	85.94%
Outdoor - HH (70%)	65.799	4457812	99.44%	5037.81	88.26%
CM (95%)	60.666	4460864	99.50%	5238.84	91.78%
CM (90%)	58.677	4461025	99.51%	5275.98	92.44%
CM (70%)	54.499	4461638	99.52%	5340.47	93.57%
Total Area calculated		5707.74			
Total Population in Area Calculated		4483076			

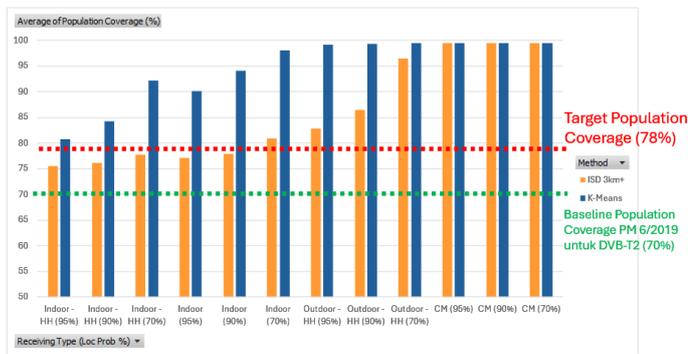
Gambar 11: Hasil Cakupan Populasi dan *Coverage Area* untuk seluruh *reception mode* pada Skenario-2 (*K-means*)

Gambar 11 menunjukkan bahwa target 78% cakupan populasi untuk penerimaan *Indoor Handheld* sudah terpenuhi. Rentang nilai yang didapatkan untuk penerimaan *Indoor Handheld* adalah dari nilai 80,75% - 92,16%. Analisis untuk perbandingan antara kedua skenario ini dibahas pada bagian selanjutnya.

F. Perbandingan Cakupan Populasi

Berdasarkan hasil simulasi cakupan populasi, dapat dibuat diagram perbandingan antara kedua skenario untuk setiap kombinasi dari keempat mode penerimaan dan ketiga *location probability* yang ada. Gambar diagram ini ditunjukkan pada Gambar 12.





Gambar 12: Diagram Hasil Cakupan Populasi untuk Seluruh Reception Mode pada Skenario-1 (ISD > 3km) dan Skenario-2 (K-means)

Berdasarkan diagram tersebut, terlihat bahwa hasil simulasi cakupan populasi Skenario-2 (*K-Means*) lebih baik dari Skenario-1 (ISD > 3km) untuk semua kombinasi mode penerimaan dan *location probability*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan Chirplus_BC, dapat disimpulkan bahwa perancangan jaringan LPLT *LTE-Based 5G Broadcast* menggunakan pendekatan metode *K-Means Clustering* dapat mencapai target cakupan 78% populasi di Provinsi Bali dalam mode penerimaan *Portable Indoor Handheld (location probability 95%)*

Dengan menggunakan pemancar sebanyak 292 site, skenario ISD > 3km memperoleh total cakupan populasi dalam mode penerimaan *Portable Indoor Handheld (location probability 95%)* sebesar 75.56%. Nilai tersebut belum mencapai target dari perancangan dalam penulisan ini.

Skenario *K-Means Clustering* dengan menggunakan jumlah pemancar yang sama 292 site, diperoleh total cakupan populasi dalam mode penerimaan *Portable Indoor Handheld (location probability 95%)* adalah 80.75%. Nilai tersebut sudah mencapai target dari perancangan dalam penulisan ini.

Metode *K-Means Clustering* lebih baik dalam hal cakupan populasi dibandingkan dengan metode ISD > 3km dalam jumlah site pemancar yang sama (292 pemancar) untuk semua *Reception Mode* dan *Location Probability* yang disimulasikan. Namun dalam hal *Coverage Area*, skenario ISD > 3km cenderung mencakup luas area yang lebih besar bila dibandingkan dengan skenario *K-Means Clustering*.

REFERENSI

- [1] P. Cerwall, *Ericsson Mobility Report*, Nov. 2021.
- [2] U. Reimers, "The past present and future of video delivery" in *Tomorrow's Media: Essays in Honour of Aleksandar Louis Todorovic*, Cambridge, U.K.:Cambridge Scholars Publ, 2022.
- [3] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Technical Report 21.914, Release 14," 2017.
- [4] ETSI, "Technical Report 121 914 V14.0.0: 3GPP; Release 14," 2018.
- [5] K. A. P. Kardiyasa and N. Gunantara, "Literatur Review Green Energy Pada Pemancar Sistem Komunikasi Seluler," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 203–206, 2023.
- [6] Kementerian Komunikasi dan Informatika, "Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2019 tentang Rencana Induk Frekuensi Radio untuk Keperluan Penyelenggaraan Televisi Siaran Digital Terrestrial Pada Pita Frekuensi

- Radio Ultra High Frequency," 2019. [Online]. Available: www.peraturan.go.id.
- [7] 3GPP, "Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1," Tech. Rep. TS22.146 V14.0.0, Mar. 2017.
- [8] S. Ahn, H. Jung, S. Kwon, S. Ahn, and S. Park, "Performance evaluation of Rel-16 5G-MBMS," in *Proc. 2021 IEEE Int. Symp. Broadband Multimedia Syst. Broadcast. (BMSB)*, 2021, pp. 1–4, doi: 10.1109/BMSB53066.2021.9547109.
- [9] ETSI, *5G Broadcast System for Linear TV and Radio Services; LTE-based 5G Terrestrial Broadcast System*, ETSI Standard TS 103 720, 2020.
- [10] A. Rico-Alvarino, I. Bouazizi, M. Griot, P. Kadiri, L. Liu, and T. Stockhammer, "3GPP Rel-17 Extensions for 5G Media Delivery," *TBC*, vol. 68, no. 2, pp. 422–438, 2022.
- [11] European Broadcasting Union (EBU), "5G for the distribution of audiovisual media content and services," *EBU Rep. TR 054*, Geneva, Switzerland, 2020.
- [12] ITU-R, Geneva, Switzerland, *Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for Planning of the Digital Terrestrial Broadcasting Service in Parts of Regions 1 and 3, in the Frequency Bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06)*, 2006. [Online]. Available: <http://handle.itu.int/11.1002/pub/801af205-en>.
- [13] "TRAI Recommendations on Issues Related to Digital Terrestrial Broadcasting in India," Jan. 2017. [Online]. Available: https://www.trai.gov.in/sites/default/files/Recommendation_DTT_31Jan2017_2.pdf.
- [14] European Broadcasting Union (EBU), "New WID on new bands and bandwidth allocation for 5G terrestrial broadcast," *EBU Rep. RP-210907*, Geneva, Switzerland, 2021.
- [15] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Technical Report 21.917 Version 17.0.1: Release 17," 2023. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org>.
- [16] S.-K. Ahn et al., "Performance Evaluation of 5G MBS for Terrestrial Broadcasting Scenarios," 2023 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), Beijing, China, 2023, pp. 1–4, doi: 10.1109/BMSB58369.2023.10211121
- [17] S. Ahn et al., "Characterization and modeling of UHF wireless channel in terrestrial SFN environments: Urban fading profiles", *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 68, no. 4, pp. 803–818, Dec. 2022.
- [18] J. Yadav and M. Sharma, "A Review of K-Mean Algorithm," *Int. J. Eng. Trends Technol. (IJETT)*, vol. 4, no. 7, pp. 2972–2976, 2013. [Online]. Available: <http://www.ijettjournal.org>.
- [19] Y. D. Putra, M. Sudarna, and I. B. A. Swamardika, "Clustering History Data Penjualan Menggunakan Algoritma K-Means," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 20, no. 2, pp. 195–198, 2021.
- [20] M. P. A. Ariawan, N. P. Sastra, and I. M. Sudarna, "Clustering Data Remunerasi PNS Menggunakan Metode K-Means Clustering Dan Local Outlier Factor," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 1, pp. 33–35, 2020.
- [21] LS Telcom AG, *Broadcast Mobile TV: Network Planning Tools*. [Online]. Available: <https://www.lstelcom.com/en/products/network-planning-tools/broadcast-mobile-tv/>.
- [22] LS Telcom AG, *CHIRplus_BC User Guide 7.5.0_01*, Lichtenau, Germany, 2022.
- [23] Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, "Persentase Penduduk Usia 5 Tahun ke Atas yang Mengakses Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam 3 Bulan Terakhir Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Bali, 2019-2023," 2024. [Online]. Available: <https://bali.bps.go.id/id/statistics-table/1/OTUjMQ%3D%3D/persentase-penduduk-usia-5-tahun-ke-atas-yang-mengakses-teknologi-informasi-dan-komunikasi--tik--dalam-3-bulan-terakhir-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-bali--2019-2023.html>.
- [24] Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, "Proyeksi Penduduk Provinsi Bali Menurut Kelompok Umur," Jul. 31, 2024. [Online]. Available: <https://bali.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTg0IzI%3D/proyeksi-penduduk-provinsi-bali-menurut-kelompok-umur.html>.
- [25] European Broadcasting Union (EBU), *5G Broadcast Network Planning and Evaluation (EBU TR 063)*, Geneva: EBU Technical Report, 2021.
- [26] L. Sabel and P. Walop, "Linear television broadcasting over 5G networks: Spectrum, regulatory and business considerations," *Broadcast Technol.*, Second Quarter, pp. 28–37, 2022.