

Perencanaan Jaringan 5G Menggunakan Teknologi *Macrocell* dan *Picocell*

Rivan Achmad Nugroho¹, Redy Ratiandi Yacoub¹, Herry Sujaini², Dedy Suryadi¹, Eva Faja Ripanti²

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kalimantan Barat 78124, Indonesia

² Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kalimantan Barat 78124, Indonesia

[Diterima: 15 Januari 2025, Direvisi: 24 Maret 2025, Diterima: 16 April 2025]

Penulis Korespondensi: Rivan Achmad Nugroho (email: rivan.achmad37@gmail.com)

INTISARI — Kota Pontianak diproyeksikan mengalami pertumbuhan signifikan dalam permintaan jaringan akibat ekspansi pusat komersial, institusi pendidikan, destinasi pariwisata, dan layanan publik esensial. Saat ini, Pontianak belum memiliki cakupan jaringan 5G, sehingga diperlukan perencanaan jaringan 5G secara komprehensif guna mendukung pengembangan kawasan perkotaannya. Penelitian ini melakukan analisis mendalam terhadap cakupan dan perencanaan kapasitas jaringan 5G dengan memanfaatkan teknologi *macrocell* dan *picocell* untuk menjawab kebutuhan konektivitas di lingkungan urban. Penelitian ini menggunakan pita frekuensi 3,5 GHz dengan lebar pita 100 MHz untuk mengkaji kebutuhan jaringan dalam spektrum pita menengah. Hasil analisis menunjukkan bahwa teknologi *macrocell* memerlukan 18 *site uplink* dan 23 *site downlink* untuk mencakup area seluas 107,8 km², sedangkan teknologi *picocell*, yang menuntut infrastruktur lebih padat, membutuhkan 351 *site uplink* dan 364 *site downlink* untuk melayani area seluas 90,72 km². Berdasarkan proyeksi kapasitas selama lima tahun untuk populasi sebesar 673.400 jiwa, teknologi *macrocell* diperkirakan membutuhkan 10 *site uplink* dan 22 *site downlink*. Sebaliknya, teknologi *picocell*, yang lebih sesuai untuk area padat penduduk, diperkirakan memerlukan 261 *site uplink* dan 263 *site downlink* untuk melayani populasi sebesar 423.881 jiwa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *synchronization signal - reference signal received power* (SS-RSRP) dan *synchronization signal - signal-to-interference-plus-noise ratio* (SS-SINR) melampaui indikator kinerja utama (*key performance indicator*, KPI) yang ditetapkan. Rencana pengembangan jaringan 5G ini sejalan dengan visi kota cerdas Kota Pontianak, yaitu meningkatkan konektivitas, mengoptimalkan cakupan layanan, dan menghadirkan pengalaman pengguna yang lebih mulus. Temuan ini juga menyoroti fleksibilitas solusi *macrocell* dan *picocell* dalam menghadapi tantangan lingkungan urban yang beragam.

KATA KUNCI — *Macrocell*, *Picocell*, 5G New Radio, SS-RSRP, SS-SINR, Atoll.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi jaringan seluler telah mencapai tahap yang signifikan dengan kemunculan jaringan 5G. Jaringan 5G merupakan jaringan dengan kecepatan tinggi, latensi rendah, serta kapasitas yang besar dibandingkan dengan generasi sebelumnya, yakni jaringan 4G *Long Term Evolution* (4G LTE). Keberadaan jaringan 5G membuka peluang besar di berbagai sektor, seperti layanan pemerintahan, perdagangan, pendidikan, kesehatan, hingga pariwisata. Oleh karena itu, perencanaan strategis jaringan 5G menjadi krusial dalam mendukung pengembangan kota cerdas (*smart city*). Dalam penelitian ini, perencanaan jaringan 5G dilakukan di Kota Pontianak yang memiliki karakteristik geografis dataran rendah, terletak di garis khatulistiwa, serta memiliki jaringan sungai dan rawa yang luas. Karakteristik geografis tersebut menjadi pertimbangan dalam proses perencanaan dan implementasi jaringan 5G di wilayah Pontianak [1].

Terdapat beberapa opsi dalam menentukan perencanaan frekuensi jaringan 5G di Kota Pontianak, yaitu frekuensi rendah (di bawah 1 GHz), frekuensi menengah (1–6 GHz), dan frekuensi tinggi (di atas 24 GHz). Frekuensi rendah memiliki keunggulan dalam hal jangkauan dan penetrasi sinyal, tetapi terbatas dalam hal kapasitas dan kecepatan data, sehingga lebih cocok untuk wilayah pedesaan. Sebaliknya, frekuensi tinggi menawarkan kapasitas dan kecepatan data yang sangat tinggi, tetapi memiliki jangkauan yang terbatas serta penetrasi sinyal yang rendah, menjadikannya ideal untuk kawasan perkotaan yang padat. Maka, frekuensi menengah sebesar 3,5 GHz dengan lebar pita 100 MHz dipilih karena memberikan keseimbangan ideal antara kapasitas dan jangkauan.

Kombinasi ini mencakup kapasitas tinggi, cakupan yang memadai, ketersediaan spektrum yang cukup, serta lebar pita yang luas. Pemilihan frekuensi 3,5 GHz dinilai paling optimal untuk perencanaan jaringan 5G di Kota Pontianak dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kapasitas dan jangkauan yang dibutuhkan [2].

Beragam teknologi dapat dimanfaatkan untuk mendukung penyebaran jaringan 5G, seperti *macrocell*, *microcell*, *picocell*, dan *femtocell*, yang masing-masing memiliki fungsi berbeda. Penelitian ini berfokus pada penggunaan *macrocell* dan *picocell* karena memiliki keunggulan dibandingkan *microcell* dan *femtocell* dalam hal efisiensi biaya, konsumsi energi, dan skalabilitas [3]. *Macrocell* memang memerlukan biaya instalasi dan konsumsi energi yang lebih tinggi, tetapi mampu mencakup area yang luas, sehingga sesuai untuk tujuan penyebaran jaringan skala besar. Sementara itu, *picocell* dipilih karena biaya instalasinya yang lebih rendah dan efisiensi energi yang baik, sehingga cocok digunakan untuk meningkatkan kapasitas jaringan di wilayah padat penduduk, meskipun memiliki cakupan yang terbatas. Skalabilitas *macrocell* terbatas di area dengan kepadatan tinggi, sedangkan *picocell* menawarkan skalabilitas yang lebih baik. Oleh sebab itu, pemilihan teknologi yang tepat memerlukan pertimbangan cermat terhadap keterbatasan finansial, efisiensi konsumsi daya, serta adaptabilitas terhadap dinamika kebutuhan jaringan. Dalam praktiknya, integrasi kedua teknologi ini sering kali menghasilkan solusi yang paling optimal, dengan menciptakan sinergi antara jangkauan cakupan, kapasitas data, dan kinerja operasional [4].

Penelitian ini mengimplementasikan dua model propagasi, yaitu kerangka *urban macro* (UMa) dan *urban micro* (UMi), dengan asumsi utama berada pada lingkungan perkotaan yang padat bangunan dan memiliki variasi ketinggian. Model UMa mengasumsikan bahwa antenna *base transceiver station* (BTS) ditempatkan di atas atap bangunan tinggi, dengan dominasi kondisi *non-line-of-sight* (NLOS) dan jarak propagasi yang panjang, sehingga sesuai untuk cakupan wilayah yang luas. Sebaliknya, model UMi mengasumsikan bahwa antenna BTS ditempatkan di tingkat jalan, mempertimbangkan kondisi *line-of-sight* (LOS) maupun NLOS dengan jarak propagasi yang pendek, sehingga ideal untuk kawasan yang sangat padat. Kedua model ini menggunakan asumsi terhadap frekuensi dan kondisi propagasi tertentu guna menyederhanakan proses perhitungan, meskipun menyisakan keterbatasan dalam hal akurasi pada situasi tertentu [5].

Perencanaan dan analisis jaringan 5G bukanlah hal yang baru. Perencanaan jaringan 5G telah berhasil dilaksanakan dalam berbagai studi eksperimental dengan memanfaatkan beragam frekuensi, jenis propagasi, *site*, serta perangkat lunak pemodelan. Salah satu studi tersebut adalah perencanaan jaringan 5G di Kota Semarang, yang menggunakan perangkat lunak Fork Atoll 5G serta model propagasi UMa dari 3rd Generation Partnership Project (3GPP) dengan skema *outdoor-to-outdoor* (O2O) LOS pada frekuensi 2,3 GHz. Hasil penelitian ini mencakup rekomendasi dan analisis terhadap perencanaan jaringan 5G di wilayah Semarang [6].

Studi lanjutan yang dilakukan di kawasan Segitiga Emas Jakarta juga berhasil mengimplementasikan perencanaan jaringan 5G dengan memanfaatkan perangkat lunak simulasi Mentum Planet versi 7.3 pada frekuensi 2,6 GHz menggunakan model propagasi UMa. Temuan studi ini menyajikan rekomendasi serta analisis terhadap desain jaringan 5G di kawasan tersebut [7].

Studi lainnya menggunakan model propagasi UMi pada frekuensi 26 GHz yang ditujukan untuk kawasan industri di Jakarta. Perencanaan ini dilakukan dengan perangkat lunak simulasi Mentum Planet. Hasilnya meliputi rekomendasi dan evaluasi desain jaringan 5G untuk wilayah industri Jakarta [8].

Sementara itu, penelitian mengenai perencanaan jaringan 5G di wilayah Yogyakarta pada tahun 2022 memanfaatkan model propagasi UMi pada frekuensi 24 GHz, yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak Fork Atoll. Hasilnya mencakup rekomendasi serta studi perencanaan jaringan 5G untuk wilayah Yogyakarta [9].

Berdasarkan kajian pustaka yang tersedia, belum ditemukan penelitian terdahulu yang secara bersamaan menggunakan model propagasi UMa dan UMi dengan kombinasi teknologi *macrocell* dan *picocell*. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud mengembangkan perencanaan jaringan 5G yang komprehensif untuk Kota Pontianak melalui penerapan model propagasi UMa dan UMi, dengan integrasi teknologi *macrocell* dan *picocell* yang beroperasi pada frekuensi 3,5 GHz dengan alokasi lebar pita sebesar 100 MHz.

II. METODOLOGI

Perencanaan jaringan 5G *New Radio* (NR) di Kota Pontianak dilaksanakan melalui pengumpulan informasi yang diperlukan, seperti regulasi, skenario penelitian, serta segmentasi pasar yang dituju. Informasi ini diperoleh dari berbagai referensi, antara lain buku, hasil penelitian terdahulu, dan jurnal ilmiah yang relevan dengan perancangan jaringan 5G. Pendekatan yang digunakan mencakup *coverage planning* (perencanaan cakupan) dan *capacity planning* (perencanaan

kapasitas). *Coverage planning* dilakukan dengan menghitung *path loss* dan *link budget* guna mengetahui tingkat redaman sinyal antara perangkat pengguna (*user equipment*, UE) dan gNodeB. Sementara itu, *capacity planning* memanfaatkan data jumlah penduduk terkini serta proyeksi populasi lima tahun mendatang untuk memperkirakan jumlah minimum *site* yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil perencanaan jaringan 5G ini, dapat ditentukan jarak maksimum antar-*site* (*inter-site distance*), luas cakupan *site*, dan total jumlah *site* yang diperlukan.

Simulasi jaringan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak Fork Atoll untuk memperoleh nilai parameter jaringan 5G, khususnya *synchronization signal reference signal received power* (SS-RSRP) dan *synchronization signal - signal to interference plus noise ratio* (SS-SINR). Analisis regulasi juga dilakukan untuk memastikan kesesuaian dengan peraturan yang berlaku serta memberikan rekomendasi apabila diperlukan harmonisasi kebijakan. Hasil dari proses perencanaan dirangkum secara sistematis dan rekomendasi strategis disusun untuk mendukung implementasi jaringan 5G di Kota Pontianak. Berbagai opsi teknologi, seperti *macrocell* dan *picocell*, diusulkan guna memastikan penyebaran jaringan yang optimal.

Pengumpulan data penelitian mencakup identifikasi pasar sasaran, penyusunan skenario penelitian, dan pemetaan kerangka regulasi. Seluruh data tersebut diperoleh dari beragam sumber, termasuk publikasi ilmiah dan buku yang memuat hasil riset terdahulu mengenai desain jaringan 5G. Teknik *coverage planning* dan *capacity planning* diterapkan dalam tahap desain jaringan. *Coverage planning* melibatkan perhitungan *path loss* dan *link budget* untuk mengestimasi kehilangan daya sinyal antara UE dan gNodeB.

Sementara itu, *capacity planning* bergantung pada data populasi aktual serta proyeksi lima tahun ke depan untuk menentukan jumlah minimum *site* yang diperlukan. Hasil dari pendekatan *coverage* dan *capacity* ini digunakan untuk menghitung luas cakupan per *site*, jumlah *site* yang dibutuhkan, serta jarak maksimum antar-gNodeB. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk memperoleh nilai parameter jaringan 5G berupa SS-RSRP dan SS-SINR [10].

Desain jaringan 5G NR dalam penelitian ini mengacu pada pedoman 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release-15, yang menetapkan batas maksimum lebar pita (*mask bandwidth*) dalam spektrum frekuensi. Jaringan beroperasi pada *Frequency Range 1* (FR1) dengan frekuensi 3,5 GHz dan lebar pita 100 MHz, serta menggunakan antenna tiga sektor.

Data publikasi mengenai jumlah penduduk Kota Pontianak tahun 2024 serta informasi terkait perkembangan teknologi dikumpulkan sebagai bagian dari tahap awal pengumpulan data dalam proyek ini guna memperoleh data yang diperlukan untuk objek penelitian terkait implementasi jaringan seluler 5G. Setelah terkumpul, data tersebut diproses menggunakan beberapa strategi, termasuk *capacity planning* dan *coverage planning*, untuk mendukung kelancaran proses peluncuran jaringan 5G.

A. CAPACITY PLANNING

Salah satu faktor krusial yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan jaringan 5G adalah prioritas terhadap pemenuhan kebutuhan lalu lintas data pengguna. Hal ini mencakup evaluasi terhadap kualitas dan kapasitas jaringan untuk menentukan jumlah *site* gNodeB yang diperlukan dalam implementasi jaringan 5G NR berdasarkan kebutuhan kapasitas pengguna [11].

Kota Pontianak di Provinsi Kalimantan Barat dipilih sebagai lokasi pelaksanaan perencanaan jaringan 5G. Kota ini memiliki pangsa pasar sebesar 48% dan diproyeksikan memiliki persentase pelanggan 5G NR sebesar 52%. Sebagai salah satu kawasan metropolitan utama di Pulau Kalimantan, jumlah penduduk Pontianak pada tahun 2024 tercatat sebanyak 673.400 jiwa, dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,05%, komposisi penduduk usia produktif mencapai 70%, dan luas wilayah sebesar 107,8 km² [7]. Perencanaan teknologi *macrocell* mencakup seluruh wilayah Kota Pontianak, sedangkan perencanaan *picocell* difokuskan pada tiga kecamatan dengan jumlah penduduk terbanyak serta tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, yaitu Kecamatan Pontianak Kota, Pontianak Utara, dan Pontianak Barat. Ketiga wilayah ini memiliki luas gabungan sebesar 90,72 km² dan jumlah populasi sebanyak 423.881 jiwa.

Dalam perencanaan ini digunakan teknologi *macrocell* dan *picocell*. Teknologi *macrocell* dipilih karena mampu menyediakan cakupan yang luas, yakni lebih dari 5 km, sehingga sesuai untuk melayani area perkotaan besar maupun wilayah pedesaan. Sebaliknya, teknologi *picocell* memerlukan daya yang lebih rendah karena dirancang untuk mencakup area yang sangat terbatas [2]. Penggunaan *picocell* ditujukan untuk meningkatkan kapasitas jaringan di wilayah dengan kepadatan lalu lintas tinggi dengan konsumsi daya yang lebih efisien guna menekan biaya operasional [12]. Perkiraan jumlah pengguna pada teknologi *microcell* dan *picocell* dihitung dengan (1).

$$U_n = U_0(1 + G_F)^n \quad (1)$$

dengan U_n merupakan estimasi jumlah pengguna pada tahun ke- n , U_0 adalah populasi saat ini, G_F adalah faktor pertumbuhan, dan n adalah jumlah perkiraan tahun.

$$U_p = U_n \times p \quad (2)$$

dengan p merepresentasikan persentase kelompok usia produktif di wilayah tersebut.

$$O_{MS} = U_p \times m \quad (3)$$

dengan O_{MS} adalah *operator market share* (pangsa pasar operator) dan m merupakan persentase kelompok usia produktif [4].

$$P_u = O_{MS} \times P_n \quad (4)$$

P_u menyatakan jumlah pengguna layanan 5G NR dari operator, O_{MS} adalah pangsa pasar operator, dan P_n merupakan nilai penetrasi layanan 5G NR yang diasumsikan.

Setelah perhitungan selesai dilakukan, diketahui bahwa jumlah pelanggan 5G NR untuk perencanaan menggunakan teknologi *macrocell* adalah sebesar 117.952 pengguna, sedangkan untuk teknologi *picocell* sebesar 74.247 pengguna. Pemenuhan kebutuhan lalu lintas pengguna melalui evaluasi kualitas dan kapasitas jaringan guna memperkirakan jumlah *site* gNodeB yang diperlukan untuk instalasi jaringan 5G merupakan salah satu aspek penting dalam proses perencanaan jaringan [5]. Hasil perhitungan total jumlah *site* untuk perencanaan yang menggunakan teknologi *macrocell* adalah sebagai berikut.

1) MODEL LAYANAN

Setelah memperoleh jumlah pelanggan 5G NR, dihitung lalu lintas dan model layanan menggunakan (5).

$$T_S = \frac{(B_R \times S_T \times S_{DR})}{(1 - B_E)} \quad (5)$$

dengan T_S adalah *throughput* per sesi, B_R adalah laju pembawa (*bearer rate*), S_T adalah waktu sesi, S_{DR} adalah *session duty radio*, dan B_E adalah *block error rate* [4].

2) THROUGHPUT PENGGUNA TUNGGAL

Setelah nilai lalu lintas dan model layanan per sesi diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung *throughput* pengguna tunggal. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini meliputi nilai *throughput* per sesi, model lalu lintas, serta rasio *peak-to-average*, seperti dituliskan dalam (6).

$$U_T = \frac{T_S \times B_{HSA} \times P_R \times (1 + P_{AR})}{3.600} \quad (6)$$

dengan U_T menyatakan *throughput* pengguna tunggal, B_{HSA} adalah upaya layanan jam sibuk (*busy hour service attempt*), P_R adalah tingkat penetrasi, dan P_{AR} adalah rasio puncak terhadap rata-rata (*peak-to-average ratio*) atau persentase lonjakan lalu lintas.

3) THROUGHPUT JARINGAN

Setelah nilai *throughput* pengguna tunggal diperoleh, selanjutnya *throughput* jaringan dihitung menggunakan (7).

$$N_{IP} = P_u \times U_T \quad (7)$$

dengan N_{IP} menyatakan *throughput* jaringan pada lapisan *internet protocol* (IP), P_u adalah jumlah pengguna layanan 5G NR, dan U_T adalah *throughput* pengguna tunggal.

$$N_{MAC} = \frac{N_{IP}}{0,98} \quad (8)$$

N_{MAC} ialah *throughput* jaringan di lapisan *media access control* (MAC) dan N_{IP} merupakan *throughput* jaringan di lapisan IP.

Hasil perhitungan *throughput* jaringan untuk perencanaan jaringan 5G menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *macrocell* menghasilkan nilai *uplink* sebesar 41.546.840,11 kbps atau 41.546,8401 Mbps dan *downlink* sebesar 191.188.734,6 kbps atau 191.188,7346 Mbps. Sementara itu, perencanaan menggunakan teknologi *picocell* menghasilkan nilai *uplink* yang jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 1.834.029.647 kbps atau 1.834.029,647 Mbps serta *downlink* sebesar 3.445.577.370 kbps atau 3.445.577,37 Mbps.

4) PERHITUNGAN JUMLAH SITE

Jumlah *site* gNodeB yang diperoleh dari perhitungan *capacity planning* dihitung menggunakan (9).

$$S_c = C_c \times 3. \quad (9)$$

S_c adalah kapasitas *site* dan C adalah *cell average throughput*.

$$S_i = \frac{N_{MAC}}{S_c} \quad (10)$$

S_i menyatakan jumlah total *site*, S_c adalah kapasitas *site*, dan N_{MAC} adalah *throughput* jaringan pada lapisan MAC.

Dengan demikian, implementasi teknologi *macrocell* menghasilkan keseluruhan 22 *site*, dengan cakupan masing-masing *site* sebesar 4,9 km². Sementara itu, penerapan teknologi *picocell* menghasilkan 261 *site*, dengan cakupan per *site* sebesar 0,347586207 km².

B. COVERAGE PLANNING

Dalam perencanaan jaringan 5G, khususnya pada pendekatan *coverage planning*, sejumlah faktor teknis seperti *antenna gain* dan nilai sensitivitas perangkat turut dipertimbangkan dalam analisis. Salah satu parameter penting yang harus diperhitungkan dalam perancangan jaringan 5G NR adalah nilai *maximum allowable path loss* (MAPL).

TABEL I
PERHITUNGAN UPLINK MAPL UNTUK TEKNOLOGI MACROCELL UNTUK LINK BUDGET (UPLINK) > 3.500 MHZ

Pemancar	Nilai	Perhitungan
Daya UE TX (dBm)	49	A
Penguatan UE (dBi)	0	B
Body loss (dB)	2,10	C
EIRP (dBm)	11,7465610	$D = A+B-C$ -Total SC
Total SC (50 MHz BW)	3.276	Total RB \times SC per RB
Penerima	Nilai	Perhitungan
Angka derau gNB (dB)	5,4	E
Derau termal (dBm)	-93,576	$F = k \times T \times BW$
SINR demod TH (dB)	1,3	G
Sensitifitas penerima (dBm)	-86,876	$H = E+F+G$
Margin interferensi (dB)	0,5	I
Margin slow fading (dB)	4,32	J
Rugi-rugi penetrasi (dB)	10,00	K
Rugi-rugi feeder (dB)	0	L (diabaikan)
Penguatan gNB (dBi)	2	M
MAPL (dB)	85,8034	$O = D-H-I-J-K+M$

Perhitungan nilai MAPL harus melibatkan penggunaan model propagasi untuk menentukan jari-jari sel serta jumlah site yang dibutuhkan [5].

Estimasi maksimum dari atenuasi sinyal yang masih dapat ditoleransi oleh antenna pemancar dan penerima dihitung menggunakan konsep *link budget* [13]. Perhitungan *link budget* untuk 5G NR pada dasarnya mirip dengan perhitungan pada jaringan 4G LTE, tetapi terdapat penambahan faktor-faktor seperti rugi-rugi akibat hambatan tubuh (*body block loss*), vegetasi (*vegetation loss*), serta redaman akibat hujan dan salju. Nilai MAPL, yang menunjukkan batas atas dari atenuasi sinyal, diperoleh melalui perhitungan *link budget* tersebut [14].

Perhitungan nilai derau termal dan jumlah *subcarrier* untuk jaringan 5G NR dilakukan dengan parameter sebagai berikut: jumlah *resource block* 273, *subcarrier spacing* sebesar 35,15 kHz, jumlah *subcarrier* 3.278, konstanta Boltzmann sebesar $1,38 \times 10^{-20}$ mWs/K, temperatur sebesar 318 K, nilai termal sebesar 153, serta jumlah *subcarrier* per *resource block* sebesar 12. Analisis *capacity planning* jaringan 5G juga mempertimbangkan variabel teknis seperti *antenna gain* dan pengaturan sensitivitas. Dalam pendekatan *coverage planning*, nilai MAPL kembali menjadi aspek penting yang harus diperhatikan. Perhitungan MAPL dilakukan menggunakan model propagasi guna menentukan jari-jari sel dan jumlah *site* yang diperlukan [15]. Hasil perhitungan MAPL untuk teknologi *macrocell* disajikan pada Tabel I dan Tabel II, sedangkan hasil untuk teknologi *picocell* ditampilkan pada Tabel III dan Tabel IV.

Karena perencanaan ini melibatkan teknologi *microcell* dan *picocell*, model propagasi yang digunakan dalam penelitian terdiri atas dua tipe, yaitu UMA dan UMi. Dalam perhitungan model propagasi, beberapa parameter penting seperti frekuensi dan ketinggian antenna perlu diperhatikan [4]. Persamaan (11) digunakan untuk menentukan *path loss* pada metode UMA LOS.

$$P_{L1} = 22 \log \log (d_{3D}) + 28 + 20 \log \log (fc) \quad (11)$$

$$P_{L2} = 40 \log \log (d_{3D}) + 28 + 20 \log \log (fc) - 9 \log \log [(d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2] \quad (12)$$

TABEL II
PERHITUNGAN DOWNLINK MAPL UNTUK TEKNOLOGI MACROCELL UNTUK LINK BUDGET (DOWNLINK) > 3.500 MHZ

Pemancar	Nilai	Perhitungan
Daya gNB TX (dBm)	49	A
Penguatan gNB (dBi)	0	B
Feeder loss (dB)	2,10	C
EIRP (dBm)	11,7465610	$D = A+B+C$ -Total SC
Total SC (50 MHz BW)	3.276	Total RB \times SC per RB
Penerima	Nilai	Perhitungan
Angka derau UE (dB)	5,4	E
Derau termal (dBm)	-93,576	$F = k \times T \times BW$
SINR demod TH (dB)	1,3	G
Sensitifitas penerima (dBm)	-86,876	$H = E+F+G$
Margin interferensi (dB)	9,5	I
Margin slow fading (dB)	9	J
Rugi-rugi penetrasi (dB)	11	K
Body loss (dB)	3	L
UE gain (dBi)	7,5	M
Penguatan <i>beamforming</i> (dB)	10	P
Rugi-rugi vegetasi (dB)	0	Q (N/A di pita menengah)
Rugi-rugi hujan (dB)	0	R (N/A di pita menengah)
MAPL (dB)	83,6234	$O = D-H-I-J-K-L+M+P-Q-R$

dengan kondisi penggunaan $P_{L1} = 10 \text{ m} < d_{2D} < d'_{BP}$ dan ketentuan penggunaan $P_{L2} = d'_{BP} < d_{2D} < 5.000 \text{ m}$. Sementara itu, *path loss* untuk model 3D-Uma NLOS dihitung menggunakan (13).

$$P_L = 10 \log \log (d_{3D}) + 13,54 + 20 \log \log (fc) - 0,6(h_{UT} - 1,5) \quad (13)$$

dengan N sebagai eksponen *path loss*, P_L adalah *path loss* dalam (dBm), h_{BS} adalah ketinggian *base station*, h_{UT} adalah ketinggian perangkat penerima (m), d_{2D} adalah jari-jari sel (m), d_{3D} adalah jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m), dan d'_{BP} adalah *break point distance* (m) [16]. Untuk skema UMi LOS, nilai *path loss* diperoleh menggunakan (14) dan (15).

$$P_{L1} = 22 + 28 + 20(Fc) \quad (14)$$

$$P_{L2} = 40 + 28 + 20(Fc) - 9(d'_{BP})^2 + (h_{BS} + h_{UT})^2 \quad (15)$$

dengan ketentuan penggunaan sama seperti sebelumnya, $P_{L1} = 10 \text{ m} < d_{2D} < d'_{BP}$ dan $P_{L2} = d'_{BP} < d_{2D} < 5.000 \text{ m}$. Untuk skema *hexagonal cell layout* UMi NLOS, nilai *path loss* diperoleh melalui (16) dan (17).

$$P_{L1} = \text{Max} (P_{L3D,UMi,NLOS}, P_{L3D,UMi,LOS}) \quad (16)$$

$$(P_{L1,3D,UMi,NLOS} = 36,7 + 22,7 + 26(Fc) - (h_{UT} - 1,5)) \quad (17)$$

dengan ketentuan penggunaan untuk $P_{L1} = 10 \text{ m} < d_{2D} < 2.000 \text{ m}$ dan $P_{L2} = 1,5 < h_{UT} < 22,5 \text{ m}$. N merupakan *path loss exponent*, P_L adalah nilai *path loss* (dBm), h_{BS} adalah ketinggian *base station*, h_{UT} adalah ketinggian penerima (m), d_{2D} adalah jari-jari sel (m), d_{3D} adalah hasil dari pemisahan antara h_{BS} dan h_{UT} (m), dan d'_{BP} adalah titik jeda jarak (m) [17].

TABEL III
PERHITUNGAN MAPL UPLINK UNTUK TEKNOLOGI PICOCELL UNTUK LINK BUDGET (UPLINK) > 3.500 MHZ

Pemancar	Nilai	Perhitungan
Daya UE TX (dBm)	2	A
Penguatan UE (dBi)	5	B
Body loss (dB)	3	C
EIRP (dBm)	-31,15343	$D = A+B-C$ -Total SC
Total SC (50 MHz BW)	3.276	Total RB × SC per RB
Penerima	Nilai	Perhitungan
Angka derau gNB (dB)	3,5	E
Derau termal (dBm)	-93,576	$F = k \times T \times BW$
SINR demod TH (dB)	-1,1	G
Sensitifitas penerima (dBm)	-91,176	$H = E+F+G$
Margin interferensi (dB)	2	I
Margin slow fading (dB)	6	J
Rugi-rugi penetrasi (dB)	9	K
Rugi-rugi feeder (dB)	0	L (diabaikan)
Penguatan gNB (dBi)	16	M
MAPL (dB)	59,0234	$O = D-H-I-J-K+M$

TABEL IV
PERHITUNGAN MAPL DOWNLINK UNTUK TEKNOLOGI PICOCELL UNTUK LINK BUDGET (DOWNLINK) > 3 500 MHZ

Pemancar	Nilai	Perhitungan
Daya gNB TX (dBm)	2	A
Penguatan gNB (dBi)	5	B
Rugi-rugi feeder (dB)	3	C
EIRP (dBm)	-31,15343	$D = A+B+C$ -Total SC
Total SC (50 MHz BW)	3.276	Total RB × SC per RB
Penerima	Nilai	Perhitungan
Angka derau UE (dB)	7	E
Derau termal (dBm)	-93,576	$F = k \times T \times BW$
SINR demod TH (dB)	-1,2	G
Sensitifitas penerima (dBm)	-87,776	$H = E + F + G$
Margin interferensi (dB)	5	I
Margin slow fading (dB)	8	J
Rugi-rugi penetrasi (dB)	9	K
Body loss (dB)	5	L
Penguatan UE (dBi)	5	M
Penguatan beamforming (dB)	10,1	P
Rugi-rugi vegetasi (dB)	0	Q (N/A di pita menengah)
Rugi-rugi hujan (dB)	0	R (N/A di pita menengah)
MAPL (dB)	58,723	$O = D-H-I-J-K-L+M+P-Q-R$

Pada teknologi *macrocell*, hasil perhitungan jari-jari sel ditentukan menggunakan skema NLOS 1,0944 km untuk *uplink* dan 0,9625 km untuk *downlink*. Skema ini dipilih karena area perencanaan merupakan wilayah perkotaan. Propagasi LOS jarang terjadi akibat keberadaan gedung-gedung tinggi.

Sementara itu, pada teknologi *picocell*, hasil perhitungan jari-jari sel dengan skema NLOS menunjukkan jarak sebesar 0,22592 km untuk *uplink* dan 0,22196 km untuk *downlink*. Alasan pemilihan skema ini sama, yaitu karena banyaknya gedung-gedung tinggi di kawasan urban.

Perencanaan jaringan 5G di suatu wilayah dapat dilakukan dengan membandingkan luas permukaan penelitian dengan wilayah cakupan GNodeB. Dalam penelitian ini, pemanfaatan tiga jenis antena sektoral dalam satu *site* bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan cakupan wilayah tersebut [18].

$$d = \sqrt{((d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2)} \quad (18)$$

dengan h_{BS} sebagai ketinggian *base station* (m), h_{UT} sebagai ketinggian penerima (m), d_{2D} sebagai jari-jari sel (m), dan d_{3D} sebagai hasil dari jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m). Persamaan (19) dapat digunakan untuk menghitung luas sel.

$$C_A = 1,95 \times 2,6 \times d^2 \quad (19)$$

dengan C_A menyatakan luas cakupan (km²) dan d menyatakan jari-jari sel (km²). Persamaan (20) digunakan untuk menentukan jumlah *site*.

$$S_i = \frac{L}{C_A} \quad (20)$$

S_i adalah luas cakupan (km²) dan L adalah luas wilayah (km²).

Luas cakupan dalam perencanaan jaringan 5G dapat diperoleh dengan membandingkan luas permukaan wilayah penelitian terhadap cakupan dari masing-masing gNodeB [19]. Tabel V dan Tabel VI menyajikan hasil perhitungan luas sel dan jumlah *site* yang dibutuhkan untuk perencanaan menggunakan teknologi *macrocell*. Pada skenario *uplink* dibutuhkan 18 *site*, sedangkan untuk *downlink* diperlukan 23 *site*. Sementara itu, Tabel VII dan Tabel VIII menunjukkan hasil perhitungan luas sel dan jumlah *site* untuk perencanaan menggunakan teknologi *picocell*, dengan kebutuhan sebanyak 351 *site* pada *uplink* dan 364 *site* pada *downlink*.

Parameter SS-RSRP ditentukan dengan mempertimbangkan elemen sumber daya yang menyediakan data sinyal referensi dalam lebar pita yang digunakan [20]. Satu *resource block* terdiri atas beberapa *subcarrier* dan sinyal referensi ditempatkan pada elemen sumber daya tertentu. Perubahan nilai hanya diperbolehkan pada elemen sumber daya yang memuat sinyal referensi spesifik untuk sel. SS-RSRP mengukur tingkat daya sinyal referensi pada jaringan 5G, yang ekuivalennya dalam jaringan 4G disebut sebagai *reference signal received power* (RSRP), dalam jaringan 3G disebut *received signal code power* (RSCP), dan dalam jaringan 2G dikenal dengan istilah *Rx level*. Kategori nilai SS-RSRP diklasifikasikan sebagai berikut: jika $x < -115$ dBm, sinyal dianggap tidak dapat digunakan; jika $-100 > x \geq -115$ dBm, sinyal dikategorikan cukup hingga buruk; jika $-80 > x \geq -100$ dBm, sinyal dikategorikan baik; dan jika $x \geq -80$ dBm, sinyal dikategorikan sangat baik.

Parameter sinkronisasi sekunder, yaitu SS-SINR, digunakan untuk mengukur rasio antara daya sinyal utama terhadap gabungan daya interferensi dan derau. Nilai ini menggambarkan kualitas sinyal yang diterima. Parameter ini dalam jaringan 5G disebut SS-SINR, dalam jaringan 4G disebut SINR, dalam 3G disebut *Ec/No*, dan dalam jaringan 2G dikenal dengan istilah *RxQual*, masing-masing dengan kondisi yang disesuaikan [21]. Kategori nilai SS-SINR diklasifikasikan sebagai berikut: jika $x \leq 0$ dB, sinyal dianggap tidak dapat digunakan; jika $0 < x \leq 10$ dB, sinyal dikategorikan cukup hingga buruk; jika $10 < x \leq 20$ dB, sinyal dikategorikan baik; dan jika $x > 20$ dB, sinyal dikategorikan sangat baik.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. PERENCANAAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI MACROCELL

Jumlah keseluruhan gNodeB yang dibutuhkan dalam perencanaan jaringan 5G menggunakan teknologi *macrocell* adalah 23 *site*, dengan konfigurasi model antena tiga sektor (3-

TABEL V
PERHITUNGAN LUAS SEL DAN JUMLAH *SITE* UNTUK TEKNOLOGI *MACROCELL* (*UPLINK*)

Parameter	Nilai	Perhitungan
Area (km ²)	107,8	L
Cakupan per <i>site</i> (3 sektor) (km ²)	6,0731	$C = 1,95 \times 2,6 \times d^2$
Total <i>site</i> (3 sektor)	18	$S_i = L/C$

TABEL VI
PERHITUNGAN LUAS SEL DAN JUMLAH *SITE* UNTUK TEKNOLOGI *MACROCELL* (*DOWNLINK*)

Parameter	Nilai	Perhitungan
Area (km ²)	107,8	L
Cakupan per <i>site</i> (3 sektor) (km ²)	4,6973	$C = 1,95 \times 2,6 \times d^2$
Total <i>site</i> (3- sektor)	23	$S_i = L/C$

TABEL VII
PERHITUNGAN LUAS SEL DAN JUMLAH *SITE* UNTUK TEKNOLOGI *PICOCELL* (*UPLINK*)

Parameter	Nilai	Perhitungan
Area (km ²)	90,72	L
Cakupan per <i>site</i> (3 sektor) (km ²)	0,25877	$C = 1,95 \times 2,6 \times d^2$
Total <i>site</i> (3 sektor)	351	$S_i = L/C$

TABEL VIII
PERHITUNGAN LUAS SEL DAN JUMLAH *SITE* UNTUK TEKNOLOGI *PICOCELL* (*DOWNLINK*)

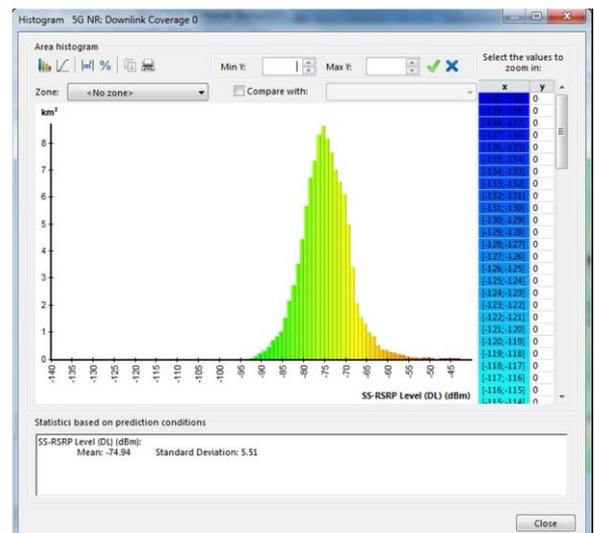
Parameter	Nilai	Perhitungan
Area (km ²)	90,72	L
Cakupan per <i>site</i> (3 sektor) (km ²)	0,24979	$C = 1,95 \times 2,6 \times d^2$
Total <i>site</i> (3 sektor)	364	$S_i = L/C$

sectoral antenna). Selain itu, ditetapkan bahwa ketinggian antenna adalah 25 meter dan daya pancar maksimum pada masing-masing antenna adalah 49 dBm. Hasil perencanaan jaringan 5G NR di wilayah Kota Pontianak dengan pendekatan *microcell* ini dipilih dengan mempertimbangkan kebutuhan jumlah gNodeB yang paling optimal guna melayani pengguna secara efisien. Skema *coverage planning* menunjukkan bahwa sebanyak 23 gNodeB diperlukan untuk mencakup seluruh area yang direncanakan.

1) PARAMETER SS-RSRP

Analisis terhadap parameter SS-RSRP bertujuan untuk mengetahui tingkat intensitas pancaran sinyal dari sel yang diterima oleh pengguna lokal. Makin dekat posisi terminal pengguna dengan pemancar, makin baik tingkat sinyal yang diperoleh. Berdasarkan hasil simulasi SS-RSRP menggunakan pendekatan *macrocell*, diketahui bahwa wilayah Kota Pontianak telah tercakup oleh jaringan 5G dalam skenario simulasi ini dan masuk dalam kategori baik, dengan nilai rata-rata sebesar -74,94 dBm (Gambar 1). Seluruh wilayah Kota Pontianak terlayani oleh jaringan 5G NR berdasarkan parameter SS-RSRP, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.

Hasil histogram parameter SS-RSRP dari simulasi menggunakan perangkat lunak Atoll menunjukkan bahwa jaringan 5G di Kota Pontianak menghasilkan nilai rata-rata SS-RSRP sebesar -74,94 dBm, dengan nilai minimum berada pada rentang -130 dBm hingga -93 dBm, serta nilai maksimum berada pada rentang -70 dBm hingga -40 dBm. Dengan demikian, nilai hasil simulasi tersebut berada dalam kategori



Gambar 1. Hasil SS-RSRP dalam histogram teknologi *macrocell*.



Gambar 2. Hasil SS-RSRP dari teknologi *macrocell* Kota Pontianak.

baik. Nilai SS-RSRP yang rendah terdeteksi pada wilayah-wilayah yang relatif jauh dari *site* antenna pemancar gNodeB.

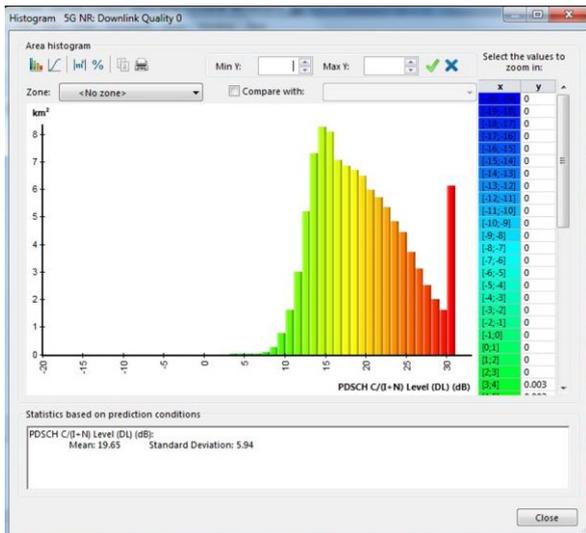
Persentase tertinggi nilai SS-RSRP berada pada rentang -80 hingga -70 dBm, yang mencakup 67,2% dari total wilayah dengan luasan sekitar 72 km² dan dikategorikan sebagai baik. Sementara itu, persentase terkecil, yaitu 0,01% dengan luasan sekitar 0,01 km², berada pada kategori buruk. Persentase ini merupakan hasil simulasi distribusi nilai SS-RSRP pada skenario implementasi jaringan 5G NR yang dianalisis menggunakan perangkat lunak Atoll. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai SS-RSRP yang diperoleh dalam simulasi termasuk dalam kategori baik

2) PARAMETER SS-SINR

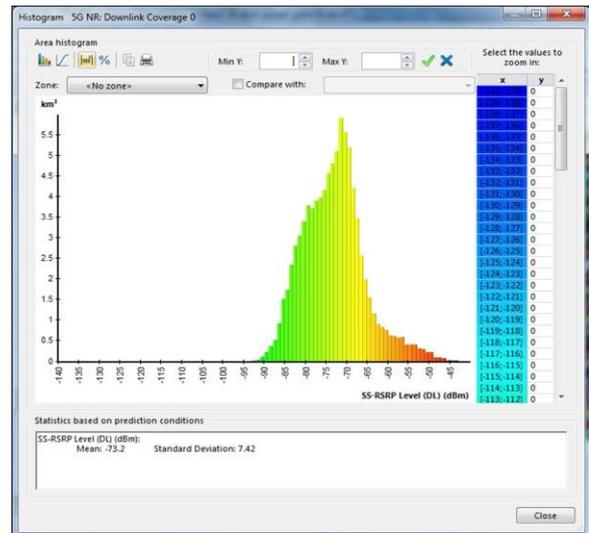
Analisis untuk menentukan tingkat kualitas sinyal sel dikenal dengan istilah SS-SINR. Nilai SS-SINR sangat dipengaruhi oleh faktor interferensi dan derau, yang merupakan gangguan umum dalam sistem transmisi. Bahkan jika jarak antara *site* dan pengguna relatif dekat, nilai SS-SINR belum tentu optimal karena sangat bergantung pada ada tidaknya interferensi dan derau di lingkungan transmisi.

Berdasarkan hasil simulasi, wilayah Kota Pontianak terlayani oleh jaringan 5G dalam skenario ini dan termasuk dalam kategori baik dengan nilai sebesar 19,65 dB (Gambar 3), sesuai dengan pengukuran SS-SINR menggunakan pendekatan *macrocell*. Seluruh area Kota Pontianak tercakup oleh jaringan 5G NR berdasarkan parameter SS-SINR, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.

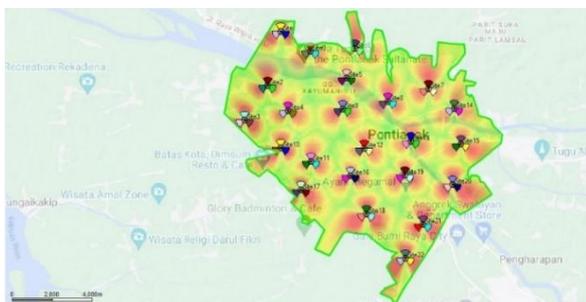
Persentase nilai SS-SINR dari hasil simulasi implementasi jaringan 5G NR menggunakan perangkat lunak Atoll menunjukkan bahwa proporsi tertinggi SS-SINR berada dalam rentang 20–25 dB, yaitu sebesar 42,36%, dengan cakupan wilayah seluas 45,39 km². Rentang ini dikategorikan sebagai



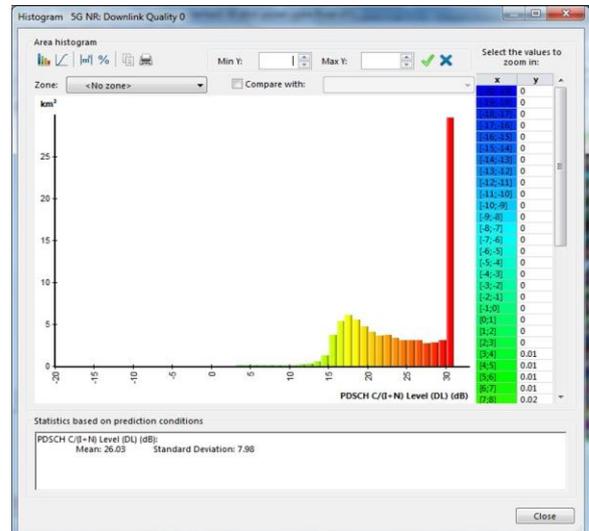
Gambar 3. Hasil SS-SINR dari histogram teknologi *macrocell*.



Gambar 5. Hasil SS-RSRP dalam histogram teknologi *picocell*.



Gambar 4. Hasil SS-SINR dari teknologi *macrocell* Kota Pontianak.



Gambar 6. Histogram yang dihasilkan SS-SINR menggunakan teknologi *picocell*.



Gambar 7. Hasil SS-SINR dari teknologi *picocell* Kota Pontianak.

baik, sehingga dapat dikonfirmasi bahwa nilai SS-SINR yang diperoleh memenuhi kriteria kategori baik.

B. PERENCANAAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PICOCCELL

Jumlah gNodeB yang dibutuhkan dalam perencanaan menggunakan teknologi *microcell* adalah 364 *site*. Simulasi perencanaan dilakukan di wilayah Kota Pontianak menggunakan perangkat lunak Forsk Atoll. Model antena yang digunakan adalah antena tiga sektor, yang mampu memancarkan sinyal lebih jauh dibandingkan antena jenis *omnidirectional*. Daya pancar maksimum untuk setiap antena adalah 2 dBm dan tinggi antena ditetapkan sebesar 10 m.

1) PARAMETER SS-RSRP

Hasil histogram parameter SS-RSRP dari simulasi menggunakan Atoll menunjukkan bahwa jaringan 5G di Kota Pontianak menghasilkan nilai rata-rata SS-RSRP sebesar -73,2 dBm, dengan nilai minimum berada dalam rentang -130 dBm hingga -92,5 dBm dan nilai maksimum antara -70 dBm hingga -40 dBm. Oleh karena itu, nilai yang dihasilkan dari simulasi Atoll dikategorikan sebagai baik (Gambar 5).

Proporsi terbesar nilai SS-RSRP berada dalam rentang -80 hingga -70 dBm, mencakup 60,6% dari keseluruhan area dengan luas sekitar 45,4 km², yang dikategorikan sebagai baik. Sebaliknya, proporsi terkecil sebesar 0,01% dengan cakupan area 0,01 km² berada dalam kategori buruk. Agar nilai yang diperoleh dapat diklasifikasikan ke dalam kategori baik, batasan nilai yang telah ditentukan harus dipenuhi.

2) PARAMETER SS-SINR

Berdasarkan hasil simulasi SS-SINR menggunakan pendekatan *macrocell*, wilayah Kota Pontianak terlayani oleh jaringan 5G dan termasuk dalam kategori baik, dengan nilai

sebesar 26,03 dB, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Temuan ini memperlihatkan distribusi parameter SS-SINR di area Kota Pontianak, memberikan gambaran menyeluruh mengenai kualitas dan kinerja sinyal di wilayah tersebut. Berdasarkan analisis SS-SINR yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Atoll, nilai rata-rata SINR yang diperoleh adalah 26,84 dB. Hasil simulasi untuk wilayah Kota Pontianak menunjukkan bahwa parameter SS-SINR berada dalam rentang kategori baik, yang berarti tingkat interferensi dan derau relatif rendah serta tidak mengganggu kualitas transmisi secara signifikan.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, hasil simulasi menunjukkan bahwa rata-rata nilai parameter SS-SINR adalah 26,84 dB, dengan rentang nilai minimum -1 dB hingga maksimum 31 dB. Distribusi ini memberikan gambaran komprehensif mengenai variasi kekuatan sinyal di area yang dianalisis.

Proporsi terbesar parameter SS-SINR berada dalam rentang 20 hingga 25 dB, dengan persentase sebesar 69,34% dan cakupan wilayah mencapai 62,14 km². Berdasarkan hasil simulasi implementasi 5G NR menggunakan Atoll, rentang ini diklasifikasikan sebagai kategori baik. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, nilai yang diperoleh berada dalam rentang SS-SINR kategori baik.

IV. KESIMPULAN

Perencanaan jaringan 5G di Kota Pontianak dapat diimplementasikan dengan memanfaatkan teknologi *macrocell* maupun *picocell*. Instalasi jaringan dengan pendekatan teknologi *macrocell* memerlukan 23 *site* dengan cakupan area sebesar 107,8 km², sedangkan pendekatan teknologi *picocell* membutuhkan 364 *site* dengan cakupan area sebesar 90,72 km². Berdasarkan hasil perhitungan cakupan *site*, diperoleh parameter nilai SS-RSRP sebesar -74,94 dBm untuk teknologi *macrocell* dan -73,2 dBm untuk teknologi *picocell*. Sementara itu, nilai SS-SINR tercatat sebesar 26,84 dB (*macrocell*) dan 26,02 dB (*picocell*). Kedua parameter tersebut telah memenuhi standar *key performance indicator* (KPI) dan dikategorikan dalam kondisi sangat baik.

Perencanaan jaringan 5G di Kota Pontianak masih dapat dikembangkan lebih lanjut melalui penelitian lanjutan, khususnya dengan mengakomodasi penggunaan frekuensi pita rendah (*low-band*) maupun pita tinggi (*high-band*) pada kawasan urban padat, daerah pinggiran kota (suburban), serta lingkungan dalam ruangan (*indoor*). Hal ini bertujuan agar penerapan jaringan 5G dapat dirancang untuk berbagai kondisi topografi dan struktur bangunan. Selain itu, kesiapan operator telekomunikasi juga menjadi faktor esensial, meliputi ketersediaan infrastruktur serat optik yang memadai, cakupan jaringan 4G yang luas, serta kepatuhan terhadap standar 4G yang berlaku, sehingga metodologi perencanaan jaringan 5G dapat diterapkan secara efektif dan efisien.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa artikel berjudul “Perencanaan Jaringan 5G Menggunakan Teknologi *Macrocell* dan *Picocell*” ditulis bebas dari konflik kepentingan.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Rivan Achmad Nugroho dan Redy Ratiandi Yacoub; metodologi, Eva Faja Ripanti dan Dedy Suryadi; perhitungan *link budget* dan MAPL, Rivan Achmad Nugroho dan Dedy Suryadi; simulasi menggunakan Atoll, Rivan Achmad Nugroho dan Herry Sujaini; penulisan—draft asli, Rivan Achmad Nugroho; penulisan—ulasan dan penyuntingan, Herry Sujaini, Redy Ratiandi Yacoub, Rivan Achmad Nugroho, Eva Faja Ripanti dan Dedy Suryadi; validasi, Dedy Suryadi dan Redy Ratiandi Yacoub; pengawasan, Redy Ratiandi Yacoub.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Pontianak, yang telah memfasilitasi penelitian ini.

REFERENSI

- [1] “Rencana Strategis Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Pontianak 2020-2024,” Dinas Komunikasi dan Informasi Kota Pontianak, 2019.
- [2] U. Usman dkk., “5G new radio (NR) network planning and analysis for Bandung city center,” dalam *2023 IEEE Asia Pac. Conf. Wirel. Mob. (APWiMob)*, 2023, hal. 7–12.
- [3] U.A. Ramadhani, W. Febrianti, dan H. Najemi, “Analisis performansi sistem jaringan femtocell 5G berbasis simulasi,” *Electrician*, vol. 14, no. 1, hal. 1–6, Jan. 2020, doi: 10.23960/elc.v14n1.2124.
- [4] M.A. Nugraha, M.I. Nashiruddin, dan P. Rahmawati, “An assessment of 5G NR network planning for dense urban scenario: Study case of Jakarta City,” dalam *2021 IEEE Int. Conf. Ind. 4.0 Artif. Intell. Commun. Technol. (IAICT)*, 2021, hal. 97–103.
- [5] A.L. Yusuf, M.A.I. Ab Rahim, N. Ya’acob, dan N.S. Zainali, “Impact of transmitter and receiver distance of 3.5GHz networks channel propagation in line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) environments,” *J. Posit. Sch. Psychol.*, vol. 6, no. 3, hal. 8341–8358, 2022.
- [6] W. Bakhtiar, “Coverage planning 5G new radio pada frekuensi 2.3 GHz dengan skema outdoor-to-outdoor line of sight di Kota Semarang,” Skripsi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Purwokerto, Indonesia, 2021.
- [7] F.K. Karo, A. Hikmaturokhan, dan M.A. Amanaf, “5G new radio (NR) network planning at frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta,” dalam *2020 3rd Int. Semin. Res. Inf. Technol. Intell. Syst. (ISRITI)*, 2020, hal. 278–283.
- [8] G. Fahira, A. Hikmaturokhan, dan A.R. Danisya, “5G NR planning at mmWave frequency: Study case in Indonesia industrial area,” dalam *2020 2nd Int. Conf. Ind. Elect. Electron.*, 2020, hal. 205–210.
- [9] D. Marya dan A. Wahyudin, “Analisis perbandingan performa pada perancangan jaringan 5G new radio menggunakan frekuensi 3,5 dan 24 GHz di Kota Yogyakarta,” *J. Elekt. Telekomun. Terap.*, vol. 9, no. 1, hal. 1199–1211, Jul. 2022, doi: 10.25124/jett.v9i1.5052.
- [10] H. Yuliana, F.M. Santoso, S. Basuki, dan M.R. Hidayat, “Analisis model propagasi 3GPP TR38.900 untuk perencanaan jaringan 5G new radio (NR) pada frekuensi 2300 MHz di area urban,” *Telekontran, J. Ilm. Telekomun. Kendali Elektron. Terap.*, vol. 10, no. 2, hal. 90–97, Okt. 2022, doi: 10.34010/telekontran.v10i2.8233.
- [11] 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 *2021 IEEE Int. Conf. Ind. 4.0 Artif. Intell. Commun. Technol. (IAICT)*, 2021, hal. 90–96.
- [12] *Base Station (BS) Radio Transmission and Reception*, ETSI TS 138 104 V15.2.0 (2018-07), European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, Perancis, 2018.
- [13] U.K. Usman, “Mengenal teknologi 5G,” dalam *Conf. Inf. Technol. Inf. Syst. Elect. Eng. (CITISEE)*, 2017, hal. 245–348.
- [14] R.E. Rios, “5G network planning and optimization using atoll,” Tesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spanyol, 2019.
- [15] I. Tomic, E. Bleakley, dan P. Ivanis, “Predictive capacity planning for mobile networks-ML supported prediction of network performance and user experience evolution,” *Electronics*, vol. 11, no. 4, Feb. 2022, Art. no 626, doi: 10.3390/electronics11040626.
- [16] V.Y.K. Luong, R. Ngah, dan C.T. Han, “Capacity estimation for 5G cellular networks,” *TURCOMAT*, vol. 12, no. 3, hal. 5876–5883, Mei 2022, doi: 10.17762/turcomat.v12i3.12684.
- [17] H.M. Ali, J. Liu, dan W. Ejaz, “Planning capacity for 5G and beyond wireless networks by discrete fireworks algorithm with ensemble of local search methods,” *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2020, Sep. 2020, Art. no 185, doi: 10.1186/s13638-020-01798-y.
- [18] E.J. Oughton dan Z. Frias, “The cost, coverage and rollout implications of 5G infrastructure in Britain,” *Telecommun. Policy*, vol. 42, no. 8, hal. 636–652, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.telpol.2017.07.009.
- [19] E. Al Hakim, “Analisis implementasi 5G berdasarkan coverage area dengan metode planning by capacity,” *J. Mediatek*, vol. 1, no. 1, hal. 1–4, Jun. 2022, doi: 10.32832/Pendahuluan.
- [20] *5G; Study on Channel Model for Frequencies from 0.5 to 100 GHz (3GPP TR 38.901 Version 14.0.0 Release 14)*, ETSI TR 138 901 V14.0.0 (2017-05), European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, Perancis, 2017.
- [21] *5G; NR; Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (3GPP TS 38.104 Version 15.5.0 Release 15)*, ETSI TS 138 104 V15.5.0 (2019-05), European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, Perancis, 2019.