

SKRIPSI

ANALISIS PREDIKSI *PATHLOSS* JARINGAN 5G MENGUNAKAN *NYUSIM* SIMULATOR PADA SEL *MICRO* URBAN DI WILAYAH KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh:

FAUZAN HARWINDO DWI AMRULLAH

D041 20 1020



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

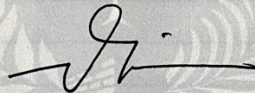
ANALISIS PREDIKSI *PATHLOSS* JARINGAN 5G MENGGUNAKAN *NYUSIM* SIMULATOR PADA SEL *MICRO URBAN* DI WILAYAH KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

Fauzan Harwinda Dwi Amrullah
D041 20 1020

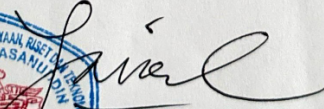
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Oktober 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT, IPM
NIP. 197504042000121001

Ketua Program Studi,




Prof. Dr. Ing. Ir. Faizal A Samman, IPU, ACPE, APEC Eng.
NIP. 197506052002121004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fauzan Harwindo Dwi Amrullah
NIM : D041201020
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS PREDIKSI *PATHLOSS* JARINGAN 5G MENGGUNAKAN *NYUSIM* SIMULATOR PADA SEL *MICRO URBAN* DI WILAYAH KOTA MAKASSAR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Fauzan Harwindo Dwi Amrullah

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran **Allah Subhanahu Wa Ta'ala**, atas berkat rahmat dan karunia-Nya serta Nabi Besar **Muhammad Sallallahu Alaihi Wa Sallam** yang atas perjuangan beliau telah membawa kita dari alam gelap gulita ke alam yang terang menderang, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Prediksi *Pathloss* Jaringan 5G Menggunakan *NYUSIM* Simulator Pada Sel *Micro Urban* Di Wilayah Kota Makassar”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta Ibu **Dr. Ratna Sari., S.E, M.Si, Ak CA** dan Bapak (**Alm**) **Mayor. Inf. Amrullah Daming** serta keluarga besar yang tak henti-hentinya mendoakan serta menyemangati penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ibu **Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.** selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, masukan, ide dan saran dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. Syafruddin Syarif, M.T.** selaku Dosen Penguji I dan Ibu **Andini Dani Achmad, S.T., M.T.** selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji penulis serta memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh Staff Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu maupun pengalaman yang membantu dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.

5. Saudari terkasih **Artamevia Khairunnisa Eka Amrullah, S.T.** yang selalu memberikan dukungan terbaik pada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman member Lab Antena dan Propagasi Gelombang Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2020, yang telah bersedia membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman Asisten Praktikum Sistem Telekomunikasi Periode 2023/2024 (Rena, Dilpi, Naurah, Khidir, Bryan) yang selalu mendukung penulis dalam penulisan skripsi ini.
8. **Mu'jizatullah** dan **Andi Rahmi Nurmala S**, yang selalu menjadi wadah berkeluh kesah terbaik bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman **SIXGUN** (Fadel, Rayhan, Wildan, Farel, Arya) yang selalu memberikan semangat kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman **MAGENTA Batch 3 PT. Semen Tonasa** yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.
11. Nurul Fathanah Muntasir, yang selama 7 semester menjadi teman dan partner selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman **PROCEZ20R** yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas kebersamaan, kerjasama, pengalaman serta motivasi yang penulis dapatkan selama menjadi bagian dari keluarga ini.
13. Dan kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, serta penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala memberikan perlindungan bagi kita semua.

Makassar, 16 Oktober 2024

Fauzan Harwindo Dwi Amrullah

ABSTRAK

Fauzan Harwindo Dwi Amrullah. *Analisis Prediksi Pathloss Jaringan 5G Menggunakan NYUSIM Simulator Pada Sel Micro Urban Di Wilayah Kota Makassar* (dibimbing oleh Dewiani)

Penerapan teknologi seluler 5G di Indonesia senantiasa berevolusi dari masa ke masa, dimana dikala ini telah merambah pada generasi ke-5 dengan penanda kenaikan yang signifikan pada kecepatan dan kehandalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai *pathloss* pada sistem seluler 5G di wilayah Kota Makassar dengan karakteristik sel *micro urban* yang menggunakan frekuensi sebesar 2,3 GHz serta *bandwidth* sebesar 50 MHz. Metode yang digunakan pada kajian ini meliputi Model Prediksi SUI, ABG, CI dan *software NYUSIM Simulator* pada kondisi lingkungan berupa LOS dan NLOS dengan rentang jarak 20 meter hingga 200 meter pada kelipatan 20. Hasil pengujian memperlihatkan keseluruhan model prediksi memiliki kecenderungan nilai *pathloss* yang bergantung pada jarak dan besar frekuensi yang digunakan. Pengukuran dengan menggunakan Model Prediksi SUI menghasilkan nilai rata-rata *pathloss* sebesar 6,16 dB untuk kondisi NLOS, kemudian Model Prediksi ABG menghasilkan nilai rata-rata *pathloss* sebesar 15,87 dB pada kondisi LOS dan 6,14 dB pada kondisi NLOS, terakhir Model Prediksi CI menghasilkan nilai rata-rata *pathloss* pada kondisi LOS sebesar 9,59 dB dan NLOS sebesar 4,87 dB. Penggunaan *software NYUSIM Simulator* menghasilkan nilai prediksi *pathloss* yang paling akurat dengan nilai rata-rata *pathloss* pada kondisi LOS sebesar 6,28 dB dan NLOS sebesar 2,39 dB. Melalui keempat pemodelan nilai prediksi *pathloss* dapat disimpulkan bahwa nilai *pathloss* terbaik didapatkan dengan menggunakan *NYUSIM Simulator* baik pada kondisi lingkungan berupa LOS maupun NLOS.

Kata Kunci: *Pathloss, Micro Urban, NYUSIM, LOS, NLOS*

ABSTRACT

Fauzan Harwindo Dwi Amrullah. *Analysis Of 5G Network Pathloss Prediction Using NYUSIM Simulator On Micro Urban Cells In The Makassar City Area* (supervised by Dewiani)

The application of 5G cellular technology in Indonesia continues to evolve from time to time, which has now reached the 5th generation with significant increases in speed and reliability. This research aims to analyze the pathloss value of the 5G cellular system in the Makassar City area with the characteristics of micro urban cells that use a frequency of 2.3 GHz and bandwidth of 50 MHz. The methods used in this study include the SUI, ABG, CI Prediction Model and NYUSIM Simulator software in environmental conditions in the form of LOS and NLOS with a distance range of 20 meters to 200 meters in multiples of 20. The test results show that the overall prediction model has a tendency for pathloss values that depend on distance and frequency used. Measurements using the SUI Prediction Model produce an average pathloss value of 6.16 dB for NLOS conditions, then the ABG Prediction Model produces an average pathloss value of 15.87 dB in LOS conditions and 6.14 dB in NLOS conditions, finally the Model CI prediction produces an average pathloss value in LOS conditions of 9.59 dB and NLOS of 4.87 dB. Using the NYUSIM Simulator software produces the most accurate pathloss prediction values with an average pathloss value in LOS conditions of 6.28 dB and NLOS of 2.39 dB. Through the four modeling pathloss prediction values, it can be concluded that the best pathloss values are obtained using the NYUSIM Simulator both in environmental conditions in the form of LOS and NLOS.

Keywords: Pathloss, Micro Urban, NYUSIM, LOS, NLOS

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Teknologi Seluler 5G	8
2.1.1 <i>Low Bands</i>	10
2.1.2 <i>Mid Bands</i>	10
2.1.3 <i>High Bands</i>	11
2.2 5G mmWave.....	11
2.2.1 <i>BeamForming</i>	12
2.2.2 <i>Beam Steering</i>	12
2.3 Penyebaran 5G di Kota Makassar	13
2.4 Sel <i>Micro Urban</i>	14
2.5 Sel <i>Macro Urban</i>	14
2.6 <i>Pathloss</i>	15
2.6.1 <i>Light of Sight</i> (LOS).....	16
2.6.2 <i>Non-Light of Sight</i> (NLOS)	17
2.7 NYUSIM Simulator	17
2.8 Model Prediksi <i>Pathloss Stanford University Interim</i> (SUI)	18
2.9 Model Prediksi <i>Pathloss Close-In</i> (CI).....	19
2.10 Model Prediksi <i>Pathloss Alpha-Beta-Gamma</i> (ABG)	20
2.11 Antena <i>Directional</i>	21
2.12 Antena <i>Omnidirectional</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	22
3.2 Variabel Penelitian.....	23
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	24
3.4.1 Data Primer	24
3.4.2 Data Sekunder	25
3.5 Teknik Analisis Data.....	25
3.6 Alur Penelitian	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Analisis Pengujian Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Menggunakan Model Prediksi <i>Stanford University Interim</i> (SUI)	28
4.2 Analisis Pengujian Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Menggunakan Model Prediksi <i>Close-In</i> (CI)	31
4.2.1 Hasil Pengujian Model Prediksi CI Kondisi LOS	31
4.2.2 Hasil Pengujian Model Prediksi CI Kondisi NLOS	32
4.3 Analisis Pengujian Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Menggunakan Model Prediksi <i>Alpha-Beta-Gamma</i> (ABG)	34
4.3.1 Hasil Pengujian Model Prediksi ABG Kondisi LOS	34
4.3.2 Hasil Pengujian Model Prediksi ABG Kondisi NLOS	34
4.4 Analisis Pengujian Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Menggunakan <i>Software NYUSIM Simulator</i>	37
4.4.1 Hasil Pengujian <i>NYUSIM</i> Simulator Kondisi LOS	38
4.4.1.1 Hasil Pengujian Kondisi LOS	38
4.4.2 Hasil Pengujian <i>NYUSIM</i> Simulator Kondisi NLOS	42
4.4.2.1 Hasil Pengujian Kondisi NLOS	43
4.5 Analisis Perbandingan Model Prediksi SUI, ABG, CI Dengan <i>Software NYUSIM Simulator</i>	46
4.5.1 Analisis Perbandingan Nilai <i>Pathloss</i> Model Prediksi SUI, ABG, CI	47
4.5.2 Analisis Perbandingan Nilai <i>Pathloss NYUSIM Simulator</i> Kondisi LOS & NLOS	48
4.5.3 Analisis Perbandingan Nilai <i>Pathloss</i> Model Prediksi SUI, ABG, CI Dengan <i>NYUSIM Simulator</i> Pada Kondisi LOS & NLOS	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Parameter Layanan dan Kinerja Teknologi Seluler 5G	8
Gambar 2 Arsitektur Jaringan Teknologi Seluler 5G	9
Gambar 3 <i>Beam Forming</i> 3D.....	12
Gambar 4 Konsep <i>Beamsteering</i> Pada Antena Array	13
Gambar 5 Peta Cakupan Jaringan Seluler di Kota Makassar.....	13
Gambar 6 Tampilan Website Cek <i>Coverage</i> Jaringan 5G di Kota Makassar.....	14
Gambar 7 Ilustrasi Pentransmisian Gelombang Radio di Suatu Jaringan.....	15
Gambar 8 Tampilan Menu Utama <i>NYUSIM</i> Simulator	18
Gambar 9 Antena tipe <i>Yagi Directional</i>	22
Gambar 10 Antena tipe <i>Dipole Omnidirectional</i>	22
Gambar 11 Lokasi Penelitian di Wilayah Kota Makassar	23
Gambar 12 Diagram Alur Penelitian.....	26
Gambar 13 Grafik Visualisasi Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Model SUI	30
Gambar 14 Grafik Visualisasi Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Model CI.....	33
Gambar 15 Grafik Visualisasi Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Model ABG	36
Gambar 16 Hasil Dari AOD UMi LOS.....	39
Gambar 17 Hasil Dari AOA UMi LOS.....	39
Gambar 18 Hasil Dari <i>Omnidirectional</i> PDP UMi LOS	39
Gambar 19 Hasil Dari <i>Directional</i> PDP UMi LOS	40
Gambar 20 <i>Small Scale</i> Pada UMi LOS	41
Gambar 21 Grafik Visualisasi Hasil Perhitungan <i>NYUSIM</i> Kondisi LOS	42
Gambar 22 Hasil Dari AOD UMi NLOS.....	43
Gambar 23 Hasil Dari AOA UMi NLOS.....	43
Gambar 24 Hasil Dari <i>Omnidirectional</i> PDP UMi NLOS.....	44
Gambar 25 Hasil Dari <i>Directional</i> PDP UMi NLOS	44
Gambar 26 <i>Small Scale</i> Pada UMi NLOS	45
Gambar 27 Grafik Visualisasi Hasil Perhitungan <i>NYUSIM</i> Kondisi NLOS.....	46
Gambar 28 Grafik Visualisasi Nilai <i>Pathloss</i> Model SUI, ABG dan CI Kondisi LOS & NLOS	47
Gambar 29 Grafik Visualisasi Nilai <i>Pathloss</i> <i>NYUSIM</i> Simulator Kondisi LOS & NLOS	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Karakteristik <i>Low Bands</i> 5G	10
Tabel 2 Karakteristik <i>Mid Bands</i> 5G	11
Tabel 3 Karakteristik <i>High Bands</i> 5G	11
Tabel 4 Parameter pada Model Prediksi ABG dan CI	20
Tabel 5 Alat dan Bahan Penelitian	23
Tabel 6 Parameter Nilai Model Prediksi SUI	28
Tabel 7 Hasil Perhitungan Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Model SUI	30
Tabel 8 Parameter Nilai Model Prediksi CI	31
Tabel 9 Hasil Perhitungan Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Model CI	32
Tabel 10 Parameter Nilai Model Prediksi ABG	34
Tabel 11 Hasil Perhitungan Nilai Prediksi <i>Pathloss</i> Model ABG	35
Tabel 12 Parameter Input <i>NYUSIM</i> Simulator	37
Tabel 13 Nilai <i>Pathloss</i> Hasil Simulasi <i>NYUSIM</i> Kondisi LOS	41
Tabel 14 Nilai <i>Pathloss</i> Hasil Simulasi <i>NYUSIM</i> Kondisi NLOS	45
Tabel 15 Hasil Nilai <i>Pathloss</i> Berdasarkan Model Prediksi SUI, ABG dan CI	47
Tabel 16 Hasil Nilai <i>Pathloss</i> <i>NYUSIM</i> Simulator Kondisi LOS & NLOS	49
Tabel 17 Rata-rata Nilai <i>Pathloss</i> Sel Mikro Urban LOS & NLOS	50
Tabel 18 Selisih Nilai <i>Pathloss</i> Model Prediksi Terhadap Nilai Rata-rata <i>Pathloss</i>	51

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Singkatan/Symbol	Arti dan Keterangan
MMTC	<i>Massive IoT dan Mobile Broadband</i>
eMBB	<i>Enhanced Mobile Broadband</i>
MCC	<i>Mission Critical Communication</i>
mmWave	Gelombang milimeter
NYUSIM	<i>New York University Simulator</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
LOS	<i>Light of Sight</i>
NLOS	<i>Non-Light of Sight</i>
ABG	<i>Alpha-Beta-Gamma</i>
SUI	<i>Stanford University Interim</i>
CI	<i>Close-In</i>
MIMO	<i>Multiple Input-Multiple Output</i>
FS	<i>Free Space</i>
dB	<i>Decibel</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
UMi	<i>Urban Micro</i>
UMa	<i>Urban Macro</i>
PL	<i>Pathloss</i>
h_{BS}	Tinggi Antena Pemancar
h_{UT}	Tinggi Antena Penerima
f	Frekuensi
d_{3D}	Jarak Antara Antena BTS dan Antena Penerima
f_c	Frekuensi Centre
h	Tinggi Gedung Sekitar
X_{σ}^{CI}	Variabel Acak Gaussian
α	Nilai <i>Slope Pathloss Exponent</i> (PLE)
γ	Parameter <i>pathloss</i> yang terikat dengan jarak dan frekuensi
β	Nilai <i>Offset</i>
d, d_0	Jarak <i>Transmitter</i> dengan <i>Receiver</i>
n	Koefisien Fungsi Jarak
c	Kecepatan Cahaya
h_{TX}	Tinggi Antena <i>Base Station</i>
h_{RX}	Tinggi Antena <i>User Equipment</i>
PL_{SUI}	<i>Pathloss</i> Model Prediksi SUI
PL_{CI}	<i>Pathloss</i> Model Prediksi CI
PL_{ABG}	<i>Pathloss</i> Model Prediksi ABG
λ	Panjang Gelombang
A	Faktor <i>Free Space Loss</i>
X_{fc}	Faktor Koreksi Frekuensi
X_{RX}	Faktor Koreksi Tinggi <i>User Equipment</i>
X_{σ}	Variabel <i>Log Normal Random Shadowing</i>
f_0	Frekuensi Awal
π	<i>Phi</i>

X_{σ}^{ABG}
 X_{σ}^{CI} Variabel Acak Gaussian Model Prediksi ABG
Variabel Acak Gaussian Model Prediksi CI

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Output Hasil Simulasi NYUSIM Simulator Jarak 40 Meter – 200 Meter Kondisi LOS.....	55
Lampiran 2 Output Hasil Simulasi NYUSIM Simulator Jarak 40 Meter – 200 Meter Kondisi NLOS.....	61
Lampiran 3 NYUSIM Simulator.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi seluler senantiasa berevolusi dari tahun ke tahun, dimana dikala ini telah merambah generasi 5G dengan penanda kenaikan yang signifikan pada kecepatan, cakupan serta kehandalan. Konsekuensi dari teknologi 5G ini menuntut pemecahan pergantian jaringan baik dalam wujud pengembangan jaringan eksisting ataupun kemampuan implementasi jaringan yang cocok dan bisa meliputi interkoneksi antara jaringan wireless serta serat optik, dan akses ke spektrum frekuensi yang berbeda (Ofcom, 2017)

Teknologi 5G *New Radio* (NR) memiliki tiga lingkup spektrum frekuensi yaitu: *Low bands*, *Mid bands* dan *High bands*. Spektrum *Low bands* yang memiliki frekuensi di bawah 1 GHz diperlukan untuk penanganan dalam hal *coverage* terutama untuk aplikasi MMTC (*Massive IoT dan Mobile Broadband*). Spektrum *Mid bands* berada pada frekuensi 1 GHz hingga 6 GHz dengan *bandwidth* yang lebih lebar diperlukan pada layanan *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) dan *Mission Critical Communication* (MCC), sedangkan spektrum *High bands* memiliki frekuensi di atas 24 GHz (mmWave) yang diperuntukkan untuk memberikan layanan *throughput* yang sangat besar (Febian et al., 2018)

Gelombang milimeter (mmWave) merupakan frekuensi yang memiliki panjang gelombang dengan rentang antara 1 milimeter hingga 10 milimeter. Gelombang milimeter berada pada pita frekuensi 30 GHz – 300 GHz yang dikenal sebagai *Extremely High Frequency* (EHF). Frekuensi gelombang milimeter yang tinggi serta karakteristik propagasi yang khusus memiliki keuntungan yang dapat dipakai pada berbagai aplikasi termasuk transmisi data berkecepatan tinggi pada jaringan *wireless*, dan seluler. Penggunaan kanal *bandwidth* yang lebih besar seperti 2GHz, 4GHz, 10GHz bahkan 100 GHz mampu menyediakan kecepatan yang setara dengan penggunaan fiber optik (Dehon, 2015)

Secara teoritis, jika frekuensi yang digunakan untuk layanan seluler semakin tinggi, maka cakupan layanan tersebut akan semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya redaman lintasan (*pathloss*) yang terjadi. Kemudian, penggunaan frekuensi yang tinggi juga memiliki dampak positif, yaitu meningkatnya kapasitas transmisi data yang lebih besar. Selain itu, terdapat sejumlah model prediksi perhitungan *pathloss* yang dapat digunakan untuk membantu perencanaan cakupan sel dalam proses desain jaringan sistem seluler.

Pemodelan kanal menjelaskan bagaimana sebuah parameter saluran nirkabel mempunyai perilaku dalam skenario tertentu, serta membantu dalam mengevaluasi kinerja *link* dan sistem. Model saluran harus dapat memberikan parameter saluran yang diperoleh dalam pengukuran lapangan dan secara akurat bisa memprediksi respon impuls saluran pada *large scale fading*. Kajian mengenai perbandingan dua model saluran populer untuk komunikasi generasi 5G yaitu model prediksi yang dikeluarkan oleh 3rd Generation Partnership Project (3GPP) kemudian satu model prediksi yang dikeluarkan oleh *Stanford University* dan model saluran spasial statistik NYUSIM yang dikembangkan oleh New York University (NYU). Ketiga model saluran menggunakan pendekatan pemodelan yang berbeda dalam banyak aspek, seperti probabilitas *non-line-of-sight*, *pathloss*, dan metodologi *clustering*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model dua saluran dalam menganalisis distribusi nilai *eigen* saluran serta efisiensi spektral yang memanfaatkan metode pembentukan berkas hibrid analog dan digital yang ditemukan dalam literatur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model 3GPP menghasilkan nilai *eigen* yang berbeda dan distribusi efisiensi spektral untuk pita mmWave, dibandingkan dengan hasil dari NYUSIM yang didasarkan pada sejumlah besar data pengukuran dunia nyata di New York City. Karya ini menunjukkan NYUSIM lebih akurat untuk simulasi realistis daripada 3GPP di lingkungan perkotaan (Rappaport et al., 2017)

Suatu penelitian dilakukan untuk membandingkan tiga kandidat model prediksi *pathloss* propagasi *large scale fading*, model *Alpha-Beta-Gamma* (ABG), model *Stanford University Interim* (SUI), dan model jarak referensi ruang bebas *Close-In* (CI), dalam desain komunikasi nirkabel generasi kelima (5G). Sistem menerapkan skenario *micro* dan *macro* seluler di wilayah perkotaan.

Perbandingan dibuat menggunakan data yang diperoleh dari 20 hasil pengukuran propagasi atau studi *ray-tracing* pada frekuensi 2 GHz hingga 73,5 GHz dengan jarak mulai dari 5 m hingga 1429 m. Hasilnya menunjukkan bahwa model *Close-In* (CI) memiliki satu nilai parameter yang sesuai pada lingkungan *Line-of-Sight* (LOS) maupun *Non-Line-of-Sight* (NLOS). Model CI lebih baik dibandingkan model ABG dan SUI dalam hal jumlah parameter yang lebih sederhana dan lebih stabil pada variasi frekuensi dan jarak (Sun et al., 2016)

Kajian penggunaan simulator NYUSIM digunakan untuk menghasilkan respons saluran spasial dan temporal yang realistis untuk mendukung simulasi dan desain lapisan fisik serta tautan yang realistis untuk komunikasi seluler generasi kelima (5G). NYUSIM dibangun di atas model saluran spasial statistik untuk sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter-gelombang (*mmWave*) yang dikembangkan oleh para peneliti di Universitas New York (NYU). Simulator berlaku untuk berbagai frekuensi pembawa (500 MHz hingga 100 GHz), *bandwidth* frekuensi radio (RF) (0 hingga 800 MHz), lebar berkas antenna (7° hingga 360° untuk azimuth dan 7° hingga 45° untuk ketinggian), dan pengoperasian skenario (mikrosel perkotaan, makrosel perkotaan, dan makrosel pedesaan), dan juga menggabungkan susunan antenna *Multi-Input Multi-Output* (MIMO) pada pemancar dan penerima (Sun et al., 2017)

Untuk memodelkan *pathloss* berlebih akibat penetrasi ke dalam gedung, model parabola digunakan saat kehilangan penetrasi *Outdoor* ke *Indoor* (O2I) yang telah diterapkan dari kelompok minat khusus pemodelan saluran 5G dan diimplementasikan di NYUSIM 2.0. Kemampuan pemodelan baru ini mampu mereproduksi data yang realistis ketika diterapkan dalam mode Monte Carlo menggunakan NYUSIM 2.0, menjadikannya simulator saluran berbasis pengukuran yang berharga untuk desain dan evaluasi sistem komunikasi *mmWave* generasi 5G dan generasi selanjutnya (Ju et al., 2019)

Merujuk pada Keputusan Dirjen Penyelenggaraan Pos dan Informatika (Dirjen PPI) Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) Nomor 235 Tahun 2018 Tentang Penetapan Pita Frekuensi Radio untuk Uji Coba Penggunaan Teknologi IMT-2020, dimana pada Keputusan itu menetapkan beberapa band frekuensi yang boleh digunakan untuk melakukan pengujian teknologi 5G di

Indonesia yaitu pada band 3,5 Ghz, band 15 Ghz, band 26 Ghz dan pada band 28 Ghz. Dalam pertimbangan penetapan band frekuensi untuk pengujian Teknologi 5G mengacu pada ekosistem uji coba band frekuensi global dan vendor penyedia perangkat jaringan seluler hanya menyediakan perangkat uji coba pada rentang band frekuensi tertentu.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dwi Aryanta (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Prediksi *PathLoss* Teknologi Seluler 5G Pada Sel *Micro Urban* Wilayah Kota Bandung” menjadi relevan dalam konteks penelitian ini. Jenis penelitian yang dilakukan oleh Aryanta merupakan jenis penelitian analisis. Penelitian ini melakukan analisis prediksi nilai *pathloss* pada sistem seluler dengan pendekatan *large scale fading* untuk menghitung cakupan layanan, khususnya pada kondisi sel *micro urban* di wilayah Kota Bandung. Jenis penelitian yang digunakan oleh Aryanta menggunakan model prediksi seperti *Stanford University Interim* (SUI), *Alpha-Beta-Gamma* (ABG), *Close-In* (CI), dan *NYUSIM* Simulator dengan frekuensi kerja 3,5 GHz dan 28 GHz serta lebar pita 100 MHz dan 800 MHz. Hasil penelitian Aryanta menunjukkan bahwa frekuensi kerja 28 GHz memiliki nilai *pathloss* yang lebih tinggi dibandingkan frekuensi 3,5 GHz. Selain itu, nilai *pathloss* pada kondisi *Line-of-Sight* (LOS) dan *Non-Line-of-Sight* (NLOS) juga berdampak pada penurunan nilai *pathloss*.

Oleh karena itu, maka penggunaan frekuensi yang akan digunakan pada penelitian ini berada pada frekuensi 2,3 GHz sesuai dengan penggunaan pita frekuensi yang digunakan oleh salah satu provider yang ada di Indonesia, kemudian menggunakan lebar pita (*bandwidth*) sebesar 50 MHz, dalam memprediksi nilai *pathloss* terdapat beberapa jenis model prediksi yang tersedia meliputi model prediksi *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) Model, *Free Space* (FS) Model, Okumura Model, Hata/COST231-Hata Model, *Stanford University Interim* (SUI) Model, *Alpha-Beta-Gamma* (ABG) Model, dan *Close-In* (CI) Model. Pemilihan model prediksi *Stanford University Interim* (SUI), *Alpha-Beta-Gamma* (ABG), dan *Close-In* (CI) merujuk kepada model persamaan yang paling relevan terhadap penelitian ini. Ketiga model prediksi diatas memiliki kompleksivitas yang lebih sederhana serta cocok digunakan pada wilayah perkotaan yang memiliki kepadatan yang tinggi sehingga diharapkan dapat

memberikan solusi terkait analisis prediksi *pathloss* di wilayah Kota Makassar. Penelitian ini juga diharapkan bisa memberikan informasi tambahan berupa prediksi *pathloss* jaringan 5G pada sel *micro urban* di wilayah Kota Makassar. Adapun judul dari penelitian ini adalah **ANALISIS PREDIKSI *PATHLOSS* JARINGAN 5G MENGGUNAKAN *NYUSIM* SIMULATOR PADA SEL *MICRO URBAN* DI WILAYAH KOTA MAKASSAR**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik sel *micro urban* mempengaruhi nilai *pathloss* pada teknologi seluler 5G?
2. Bagaimana perbedaan model prediksi SUI, CI, dan ABG serta *NYUSIM* Simulator dapat digunakan untuk memprediksi nilai *pathloss* pada frekuensi kerja 2,3 GHz dengan *bandwidth* 50 MHz?
3. Bagaimana pengukuran hasil nilai prediksi *pathloss* antara model prediksi SUI, CI dan ABG serta *NYUSIM* Simulator pada frekuensi kerja 2,3 GHz dengan *bandwidth* 50 MHz?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Untuk menganalisis nilai *pathloss* pada sistem seluler 5G di wilayah Kota Makassar dengan menggunakan karakteristik sel *micro urban*.
2. Untuk menganalisis perbedaan model prediksi SUI, CI, dan ABG serta *NYUSIM* Simulator dalam memprediksi nilai *pathloss* pada frekuensi kerja 2,3 GHz dengan *bandwidth* 50 MHz.
3. Untuk mendapatkan hasil pengukuran nilai *pathloss* dengan menggunakan model prediksi SUI, CI dan ABG serta *NYUSIM* Simulator pada frekuensi kerja 2,3 GHz dengan menggunakan *bandwidth* 50 MHz.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian tugas akhir ini, yaitu:

1. Secara akademis, diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penambah referensi yang berkaitan dengan teknologi Analisis Prediksi *Pathloss* Jaringan 5G Menggunakan *NYUSIM* Simulator Pada Sel *Micro Urban* di Wilayah Kota Makassar
2. Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat diterapkan nanti kedepannya oleh pihak-pihak yang memiliki kepentingan terkait teknologi 5G di Kota Makassar terkhusus yang berkaitan dengan perhitungan *pathloss*.
3. Secara ekonomis, penelitian ini diharapkan bisa menjadi salah satu terobosan untuk analisis prediksi dan perencanaan jaringan 5G di wilayah Kota Makassar.

1.5 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penelitian yang dibuat dibatasi pada beberapa hal:

1. Penelitian ini terbatas pada penggunaan jenis sel radio yaitu sel *micro urban* di wilayah Kota Makassar.
2. Model prediksi *pathloss* yang digunakan pada penelitian ini hanya menggunakan model prediksi SUI, CI dan ABG.
3. Penggunaan frekuensi kerja dan *bandwidth* di penelitian ini sesuai dengan frekuensi kerja yang digunakan oleh salah satu provider yang ada di Indonesia, yaitu frekuensi 2,3 GHz dan *bandwidth* dengan nilai 50 MHz.
4. *Software* dan parameter yang digunakan sebagai pembanding antar ketiga model prediksi adalah *NYUSIM Simulator* dengan parameter tambahannya berupa kondisi iklim dan cuaca yang ada di wilayah Kota Makassar.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas terkait teori yang berhubungan dengan penelitian dan mendasari analisis permasalahan yang berhubungan dengan pembahasan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi pembahasan atau pemaparan jenis penelitian waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan. Serta tahapan yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan terkait hasil penelitian yang telah didapatkan.

BAB V PENUTUP

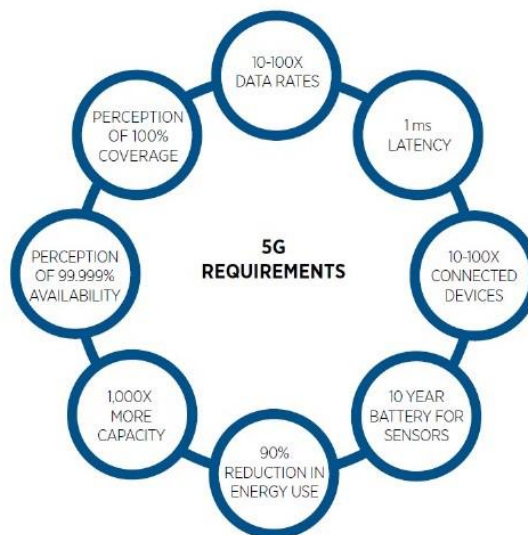
Bab ini membahas mengenai kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk perbaikan atau penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Seluler 5G

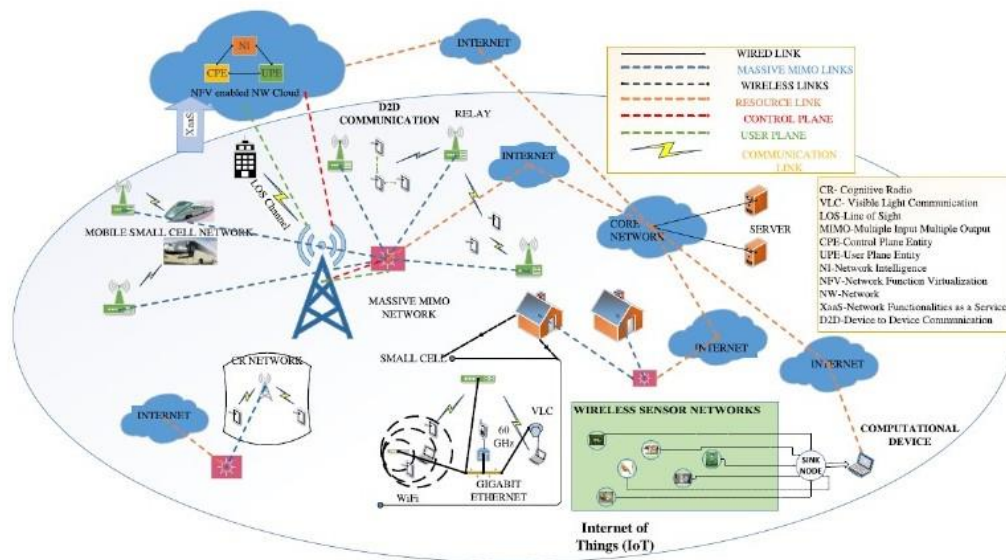
Perkembangan teknologi seluler saat ini sudah memasuki generasi ke-5, dimana sudah cukup banyak negara lain yang telah menerapkan teknologi seluler 5G ini. Teknologi seluler 5G memiliki sejumlah sasaran parameter layanan dan kinerja sistem seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut (Lin et al., 2019)



Gambar 1 Parameter Layanan dan Kinerja Teknologi Seluler 5G (Lin et al., 2019)

Teknologi 5G mendukung penggunaan gelombang *mmWave* yang memungkinkan sinyal dapat dikirimkan pada frekuensi antara 700 MHz hingga 28 GHz (Nugraha & Hikmaturokhman, 2017). Teknologi 5G menerapkan penggunaan sejumlah antena pada pengirim dan penerima yang dikenal sebagai *Multiple Input-Multiple Output* (MIMO) sehingga meningkatkan efisiensi dan kecepatan transmisi. Teknologi seluler 5G memiliki cakupan yang luas dengan menggunakan jaringan heterogen yang mengkombinasikan sejumlah sel-sel mikro dalam suatu sel makro (Admaja, 2015). Arsitektur jaringan teknologi seluler 5G secara umum dapat dilihat pada Gambar 2. Teknologi seluler 5G menyediakan

layanan komunikasi *Device-to-Device* (D2D) yaitu komunikasi langsung antar perangkat; *Massive Machine Communications* (MMC) untuk mendukung *Internet of Things*; *Moving Networks* (MN) untuk melayani pengguna yang bergerak; *Ultra-Dense Networks* (UDN) akan menjadi pendorong utama yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas, meningkatkan efisiensi energi sambungan radio, dan memungkinkan eksploitasi yang lebih baik dari spektrum yang kurang dimanfaatkan; dan melalui *Ultra Reliable Network* (URN) akan memberikan kehandalan jaringan yang tinggi (Masoudi, 1999).



Gambar 2 Arsitektur Jaringan Teknologi Seluler 5G (Masoudi, 1999)

Terdapat 3 kategori spektrum frekuensi yang diperlukan pada teknologi 5G agar memberikan jangkauan luas dan dapat mendukung semua *use case* yang dapat dihadirkan dengan teknologi 5G (Febian et al., 2018). Ketiga spektrum frekuensi yang digunakan pada teknologi seluler 5G, yaitu:

- *Low bands*, di bawah 1 GHz untuk kebutuhan *coverage* terutama untuk aplikasi MMTC (*Massive IoT and Mobile Broadband*)
- *Mid bands*, berada pada frekuensi 1-6 GHz, *bandwidth* yang lebih lebar untuk kebutuhan EMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) dan *Mission-critical*.
- *High bands*, di atas 24 GHz (mmWave): untuk kebutuhan *bandwidth* yang sangat besar.

Spektrum frekuensi Teknologi 5G yang umum digunakan di Indonesia berada pada 700 MHz, 2,1 GHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz dan 28 GHz. Saat ini di Indonesia salah satu provider menggunakan spektrum frekuensi 2,3 GHz yang digunakan untuk layanan teknologi 5G. Pita 28 GHz di Indonesia sedang tidak alokasikan untuk pengguna, sehingga dapat menjadi alternatif terbaik untuk implementasi Teknologi 5G. Pita ini menyediakan jumlah *bandwidth* yang lebar hanya saja untuk biaya yang akan digunakan akan besar dan cakupan layanan menjadi sempit.

2.1.1 *Low Bands*

Frekuensi *low bands* adalah rentang sebuah frekuensi radio yang memiliki panjang gelombang yang berada dibawah 1 GHz. Frekuensi *low bands* dapat menembus penghalang dengan lebih baik dibandingkan dengan frekuensi yang lebih tinggi. Hal ini membuat frekuensi low band cocok digunakan untuk memberikan cakupan jaringan yang luas. Namun frekuensi *low bands* memiliki *bandwidth* yang terbatas dibandingkan dengan frekuensi yang lebih tinggi.

Tabel 1 Karakteristik *Low Bands* 5G

<i>Low Bands</i>				
<i>Frequency</i>	<i>Coverage</i>	<i>Data Speed</i>	<i>Latency</i>	<i>Channel Bandwidth</i>
0,6 GHz – 1 GHz	Memberikan cakupan yang baik dan dapat menjangkau area yang luas	50 Mbps – 100 Mbps	Sedikit mengurangi latensi dibandingkan jaringan 4G (LTE)	5, 10, 20, dan 40 MHz

2.1.2 *Mid Bands*

Frekuensi *mid bands* adalah rentang frekuensi radio yang berada di antara frekuensi *low bands* dan frekuensi *high bands*. Rentang frekuensi *mid bands* untuk jaringan 5G umumnya berada di antara 1 GHz hingga 6 GHz. Frekuensi *mid bands* memiliki *bandwidth* yang lebih luas daripada frekuensi *low bands*, sehingga cocok untuk layanan yang membutuhkan *bandwidth* yang tinggi. Namun

frekuensi *mid band* memiliki cakupan jaringan yang lebih rentan daripada *low bands*.

Tabel 2 Karakteristik *Mid Bands* 5G

<i>Mid Bands</i>				
<i>Frequency</i>	<i>Coverage</i>	<i>Data Speed</i>	<i>Latency</i>	<i>Channel Bandwidth</i>
2 GHz – 6 GHz	Memberikan cakupan yang jauh daripada <i>high bands</i> 5G tapi tidak sejauh <i>low bands</i> 5G.	100 Mbps – 400 Mbps	Memiliki latensi sekitar 10 milidetik atau kurang.	Biasanya menggunakan <i>bandwidth</i> 100 MHz.

2.1.3 *High Bands*

Frekuensi *high bands* adalah rentang frekuensi radio yang berada di atas 6 GHz. Frekuensi *high bands* dapat menembus penghalang dengan lebih buruk dibandingkan dengan frekuensi yang lebih rendah. Namun frekuensi *high bands* memiliki *bandwidth* yang sangat luas, sehingga cocok digunakan untuk layanan yang membutuhkan *bandwidth* yang sangat tinggi, seperti *Virtual Reality* (VR) atau *Augmented Reality* (AR).

Tabel 3 Karakteristik *High Bands* 5G

<i>High Bands</i>				
<i>Frequency</i>	<i>Coverage</i>	<i>Data Speed</i>	<i>Latency</i>	<i>Channel Bandwidth</i>
24 GHz – 47 GHz	Memberikan cakupan beberapa ratus meter dari situs seluler.	1,6 Gbps – 20 Gbps	Memiliki latensi sekitar 1 milidetik atau kurang.	Biasanya menggunakan <i>bandwidth</i> sebesar 2 GHz.

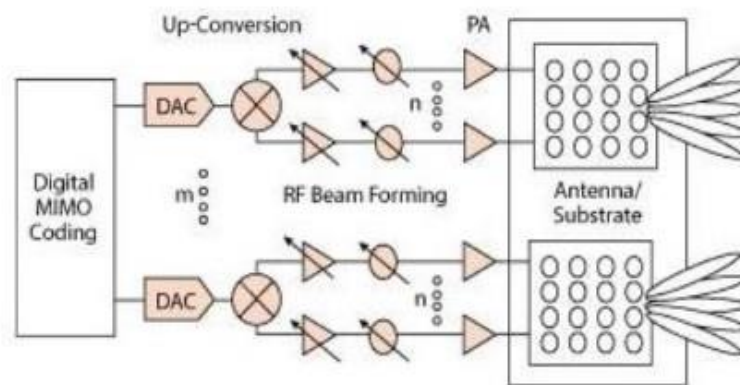
2.2 5G mmWave

Gelombang milimeter/*Millimetre Wave* (mmWave) atau disebut juga *millimetre band* merupakan frekuensi dengan panjang gelombang antara 1 milimeter sampai dengan 10 milimeter. Gelombang milimeter menempati spektrum 30 GHz – 300 GHz, sehingga dikategorikan sebagai *Extremely High*

Frequency (EHF). Tingginya frekuensi gelombang milimeter serta karakteristik propagasi yang khusus membuat mereka berguna untuk berbagai aplikasi termasuk transmisi data dalam jumlah besar pada jaringan komputer, komunikasi seluler, dan radar. Dimungkinkannya penggunaan kanal *bandwidth* yang lebih besar: 2GHz, 4GHz, 10GHz bahkan 100GHz menyebabkan kecepatan yang setara dengan penggunaan kabel fiber (Rappaport et al., 2013)

2.2.1 *Beam Forming*

Beam forming adalah teknik dalam komunikasi nirkabel yang menggunakan larik antena untuk mengarahkan sinyal radio ke arah tertentu, sehingga meningkatkan kekuatan sinyal dalam arah tersebut dan mengurangi interferensi dari arahlain. Teknik ini memungkinkan peningkatan kualitas sinyal dan kapasitas jaringan dalam komunikasi nirkabel. *Beam forming* dapat dilakukan dengan menggunakan teknik analog atau digital, dan dapat diterapkan pada berbagai frekuensi, termasuk pada aplikasi gelombang milimeter (Kutty & Sen, 2016)

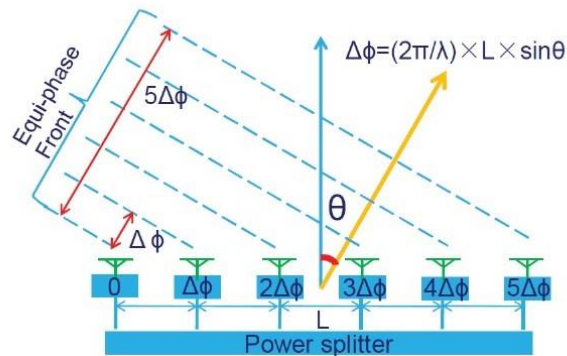


Gambar 3 *Beam Forming* 3D (Hidayat, 2017)

2.2.2 *Beamsteering*

Beamsteering adalah teknik dalam *beam forming* yang digunakan untuk mengarahkan pola radiasi antena ke arah tertentu dengan mengubah fase dan amplitudo sinyal yang diterapkan pada setiap elemen antena dalam larik antena. Dengan mengubah fase dan amplitudo ini, pola radiasi antena dapat diubah sehingga sinyal radio dapat diarahkan ke arah yang diinginkan dan mengurangi interferensi dari arahlain. Teknik *beamsteering* sangat penting dalam komunikasi

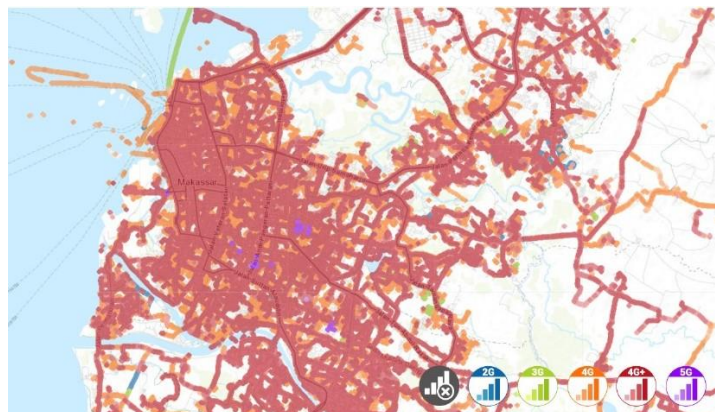
nirkabel, terutama pada aplikasi gelombang milimeter yang membutuhkan presisi yang tinggi dalam mengarahkan sinyal radio (Kutty & Sen, 2016)



Gambar 4 Konsep *Beamsteering* Pada Antena Array (Cao et al., 2013)

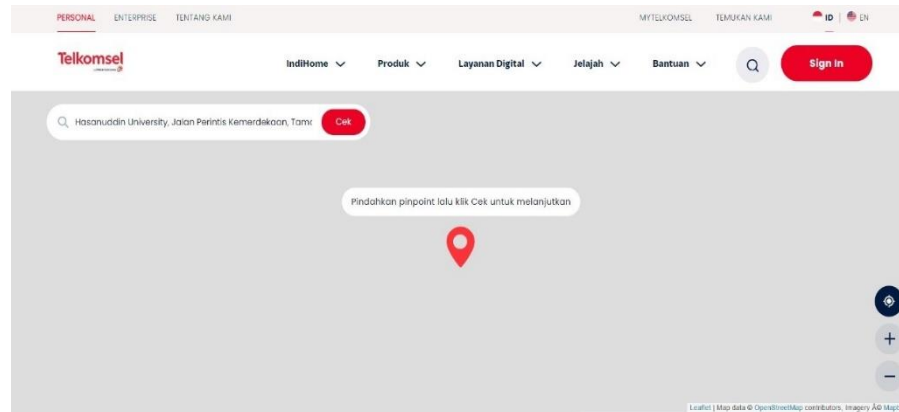
2.3 Penyebaran 5G di Kota Makassar

Saat ini untuk titik tertentu di Jalan Pettarani Makassar teknologi 5G telah disediakan oleh operator telekomunikasi Indosat dan Telkomsel. Tentu saja, dianggap perlu untuk cakupan pengimplementasiannya diperluas meliputi wilayah Sulawesi Selatan mengingat infrastruktur BTS 4G cukup banyak tersedia di desa/kelurahan yang ada di provinsi Sulawesi Selatan (Masa et al., 2023)



Gambar 5 Peta Cakupan Jaringan Seluler di Kota Makassar (nperf.com)

Provider Telkomsel menyediakan website yang bisa kita akses untuk mengecek *coverage* jaringan 5G yang tersedia di Kota Makassar, kita bisa mengaksesnya melalui website berikut: <https://www.telkomsel.com/check-5G-coverage>



Gambar 6 Tampilan Website Cek *Coverage* Jaringan 5G di Kota Makassar
(telkomsel.com/check-5G-coverage)

2.4 Sel *Micro Urban*

Sel *micro urban* merujuk pada sel ponsel atau *base station* yang beroperasi dalam lingkungan perkotaan dengan cakupan yang relatif kecil. Lingkungan sel *micro urban* umumnya mencakup area yang padat dan memiliki kepadatan bangunan yang tinggi. Sel *micro urban* biasanya digunakan untuk memberikan layanan komunikasi seluler yang kuat dan andal di area perkotaan yang padat. Dalam konteks jaringan nirkabel, sel *micro urban* memainkan peran penting dalam menyediakan konektivitas yang baik di area perkotaan yang padat penduduknya (Sudhamani et al., 2023)

Karakteristik sel *micro urban* memiliki cakupan yang relatif kecil, kapasitas yang tinggi, kepadatan pengguna yang tinggi, frekuensi yang tinggi, dan keterbatasan daya. Sel *micro urban* juga merupakan salah satu lingkungan yang diuji dalam analisis kinerja sistem komunikasi gelombang milimeter dengan menggunakan model *pathloss* dan *received power* untuk memperkirakan *pathloss* dan daya terima pada frekuensi (Sudhamani et al., 2023)

2.5 Sel *Macro Urban*

Sel *macro urban* merujuk kepada sel-sel seluler dengan daya transmisi yang rendah yang ditempatkan di daerah pedesaan untuk memberikan cakupan yang dapat menjangkau daerah yang luas. Sel-sel ini biasanya digunakan untuk menjangkau area pedesaan yang jauh dengan kepadatan pengguna yang rendah. Sel macro urban memiliki jangkauan yang lebih jauh daripada sel mikro atau sel

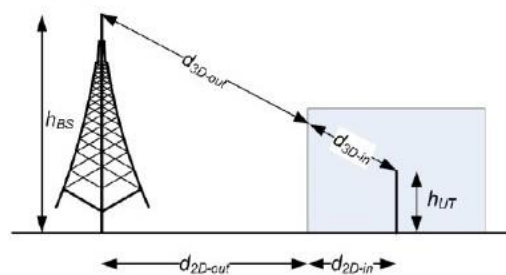
pico, dan seringkali digunakan sebagai bagian dari jaringan seluler untuk memberikan layanan komunikasi seluler yang stabil dan andal di lingkungan pedesaan yang rendah (Sudhamani et al., 2023)

Berikut beberapa karakteristik umum dari sel *macro urban*:

1. Memiliki transmisi yang rendah, sel *macro urban* memiliki daya transmisi yang lebih rendah daripada sel mikro atau sel piko, yang memungkinkannya untuk menjangkau area luas.
2. Sel *macro urban* seringkali digunakan sebagai bagian dari jaringan seluler untuk memberikan layanan komunikasi seluler yang luas dan andal di lingkungan perkotaan yang rendah.

2.6 Pathloss

Pathloss adalah redaman atau besarnya daya yang hilang dalam pentransmisi informasi pada gelombang radio yang dikirim dari pemancar ke penerima. Besarnya redaman yang dihasilkan dalam pentransmisi gelombang radio merupakan kombinasi dari redaman yang dihasilkan oleh radio ruang bebas dan redaman yang dihasilkan dari *fading* dari benda-benda sekitarnya. Frekuensi dan jarak merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya *pathloss*. Pada pentransmisi gelombang radio di suatu jaringan, tinggi antenna pemancar (h_{BS}) dan tinggi antenna penerima (h_{UT}) (Alfaresi et al., 2020)



Gambar 7 Ilustrasi Pentransmisi Gelombang Radio di Suatu Jaringan (Alfaresi et al., 2020)

Pada propagasi gelombang radio, terdapat 2 kondisi yaitu pada kondisi LOS (*Line of Sight*) dan kondisi NLOS (*Non-Line of Sight*). Kondisi LOS merupakan kondisi dimana antara antenna pengirim dan penerima tidak ada gangguan (*blocking*) sehingga sinyal langsung dominan terhadap sinyal tidak langsung.

Sedangkan pada kondisi NLOS yaitu kondisi dimana antara antenna pengirim dan penerima terdapat suatu benda yang menghalangi (*blocking*) seperti gedung, bukit dan lainnya sehingga sinyal yang diterima merupakan penjumlahan sinyal langsung dan sinyal tidak langsung dimana sinyal langsung tidak dominan. (Alfaresi et al., 2020)

2.6.1 *Light of Sight (LOS)*

Propagasi ruang bebas terjadi bila ada jalur *Line of Sight (LOS)* yaitu tidak ada penghalang yang menghalangi propagasi gelombang radio antara pemancar dan penerima. Pada propagasi ruang bebas hanya ada rugi-rugi sinyal sebagai fungsi jarak antara pemancar dan penerima. (Nugraha & Hikmaturokhman, 2017)

Line of Sight (LOS)

$$PL_{UMi-LOS} = \begin{cases} PL_1, \rightarrow 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2, \rightarrow d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km \end{cases} \quad (1)$$

$$PL_1 = 32.4 + 21\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) \quad (2)$$

$$PL_2 = 32.4 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 9.5\log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (3)$$

Dimana:

h_{bs} = Tinggi Antena (m)

h_{ut} = Tinggi Penerima (m)

d_{3D} = Jarak Antara BTS dan Penerima

f_c = Frekuensi *Centre* (GHz)

h = Tinggi Gedung Sekitar

2.6.2 *Non-Line of Sight (NLOS)*

NLOS (*Non-Line of Sight*) adalah kondisi dimana sinyal radio tidak dapat menyebar langsung dari pengirim ke penerima karena terhalang oleh objek atau dinding. Kondisi NLOS dapat menyebabkan penurunan kualitas sinyal dan

kapasitas jaringan dalam komunikasi nirkabel, terutama pada aplikasi gelombang milimeter yang sangat sensitif terhadap penghalang. Oleh karena itu, teknik *beam forming* dan *beamsteering* sangat penting dalam mengatasi kondisi NLOS dan meningkatkan kualitas sinyal dalam komunikasi nirkabel (Kutty & Sen, 2016)

Non-Light of Sight (NLOS)

$$PL_{UMi-NLOS} = \max(PL_{UMi-LOS}, PL'_{UMi-NLOS}) \quad (4)$$

for $10m \leq d_{2D} \leq 5km$

$$PL_{UMi-NLOS} = 35.3 \log_{10}(d_{3D}) + 22.4 + 21.3 \log_{10}(f_c) - 0.3(h_{UT} - 1.5) \quad (5)$$

Dimana:

hbs = Tinggi Antena (m)

hut = Tinggi Penerima (m)

d_{3D} = Jarak Antara BTS dan Penerima

f_c = Frekuensi Centre (GHz)

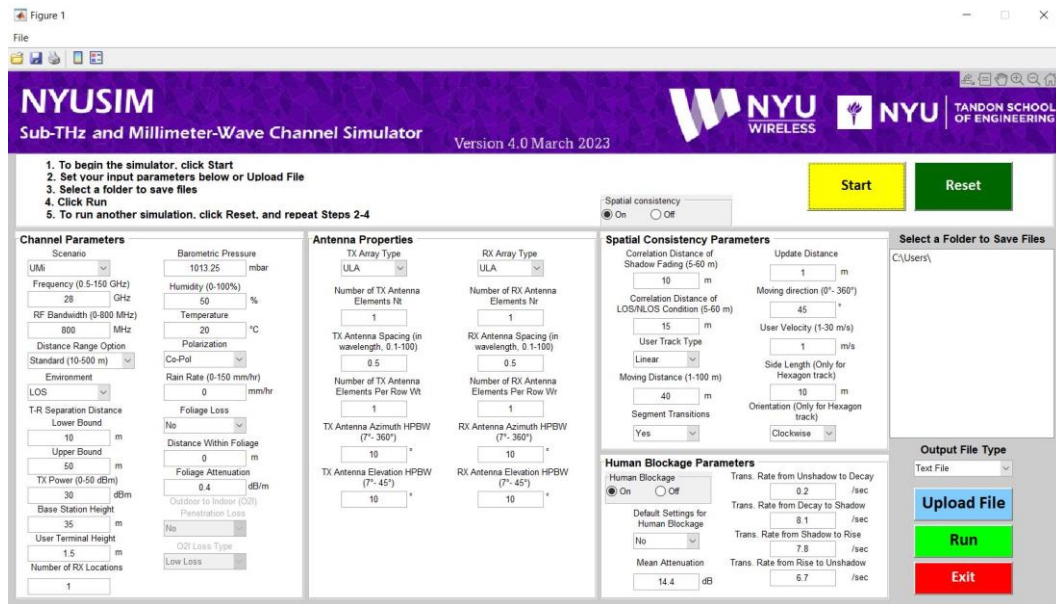
h = Tinggi Gedung Sekitar

2.7 NYUSIM Simulator

Simulator *NYUSIM* merupakan karya dari New York University yang merupakan suatu aplikasi *open-source* yang digunakan untuk pengukuran saluran propagasi pita lebar dunia nyata yang ekstensif pada beberapa frekuensi gelombang milimeter (mmWave) dari 28 hingga 73 GHz di berbagai lingkungan luar ruangan di lingkungan mikro sel perkotaan (UMi), makro sel perkotaan (UMa), dan makro sel pedesaan (RMa). *NYUSIM* memberikan perhitungan yang akurat dari respons impuls saluran aktual dalam ruang dan waktu, dan berlaku untuk berbagai frekuensi pembawa mulai 500 MHz hingga 100 GHz, dan bandwidth RF dari 0 hingga 800 MHz (Sun et al., 2017)

Parameter yang digunakan pada model prediksi *NYUSIM* jauh lebih kompleks dibandingkan ketiga model prediksi *pathloss* yang akan dibahas selanjutnya. Selain frekuensi, jarak, ketinggian antena *base station* dan ketinggian *user equipment*, parameter teknis jumlah antena MIMO, serta sudut kemiringan antena

juga memperhitungkan skenario wilayah (*urban micro/UMi*, *urban macro/UMA* dan *rural macro/RMa*) juga mempertimbangkan kondisi LOS dan NLOS. Parameter kondisi cuaca juga diperhitungkan seperti temperatur udara, kelembaban dan curah hujan. (Ju et al., 2019)



Gambar 8 Tampilan Menu Utama NYUSIM Simulator

2.8 Model Prediksi *Stanford University Interim* (SUI)

Stanford University Interim (SUI) model adalah model propagasi yang direkomendasikan untuk standar IEEE 802.16a, model ini juga cocok diterapkan di Kota Makassar yang mempunyai tipe demografi urban dan sub-urban (Zakaria & Ivanek, 2018)

Model ini dikenalkan oleh AT&T *wireless service*. Model *pathloss* ini diperoleh dari data hasil percobaan di Amerika Serikat dengan mengambil sampling pada 95 makrosel. Model ini menyertakan perhitungan *pathloss* yang dipengaruhi oleh faktor jarak antara *transmitter* dan *receiver*, ketinggian antenna, frekuensi, dan *terrain type* (Darlis et al., 2010)

Dalam aplikasinya model ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu (Darlis et al., 2010; Xu et al., 2016):

1. Kategori A-Hilly / moderate-to-heavy tree density (urban)

Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terbesar yaitu perbukitan dengan densitas pepohonan tinggi.

2. Kategori B-Hilly / *light tree density or flat / moderate-to-heavy tree density / intermediate (suburban)*

Tipe ini merupakan asosiasi *pathloss* pertengahan yaitu dengan *terrain* dan densitas pepohonan antara A dan C.

3. Kategori C-Flat / *light tree density (rural)*

Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terkecil yaitu *terrain* rata dengan pepohonan jarang.

Kategori *terrain* A merupakan tipe yang paling cocok digunakan di Kota Makassar karena memiliki karakteristik daerah perkotaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi sehingga tipe ini dapat digunakan untuk memperhitungkan nilai prediksi *pathloss* di sepanjang lintasan antena pada kondisi NLOS. Model ini diperuntukkan untuk mengestimasi nilai *pathloss* sebelum perencanaan sebenarnya dimulai (Darlis et al., 2010)

Model prediksi *Stanford University Interim* (SUI) awalnya digunakan pada perhitungan *pathloss* generasi awal teknologi seluler hingga generasi ketiga, yaitu pada frekuensi kerja hingga 2 GHz. Formula SUI kemudian dikembangkan sehingga dapat dipergunakan untuk perhitungan prediksi *pathloss* dengan frekuensi kerja f (Hz) pada jarak d (m) tertentu pada teknologi 5G yang dinyatakan dengan persamaan (8) (Sulyman et al., 2014)

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (6)$$

$$PL_{SUI} = A + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{fc} + X_{RX} + X_{\sigma} \quad (7)$$

$$= 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{fc} + X_{RX} + X_{\sigma} \quad (8)$$

Dimana:

λ adalah panjang gelombang dalam satuan meter

d adalah jarak antara *transmitter* dan *receiver* (m)

γ adalah koefisien fungsi jarak = $4,6 - 0,0065 h_{TX} + \frac{17,1}{h_{TX}}$

h_{TX} adalah tinggi antena *base station* (m)

h_{RX} adalah tinggi *user equipment* (m)

X_{fc} adalah faktor koreksi frekuensi = $6 \log \left(\frac{f_{MHz}}{2000} \right), f_c > 2GHz$

X_{RX} adalah faktor koreksi tinggi *user equipment* = $-10,8 \text{ Log} \left(\frac{h_{RX}}{2000} \right)$,

X_σ adalah variabel *log normal random shadowing*

2.9 Model Prediksi Close-In (CI)

Model prediksi CI mengembangkan model *pathloss* pada ruang hampa dengan memperhitungkan jarak awal 1 meter. Model prediksi CI juga merupakan fungsi frekuensi dan jarak yang dinyatakan dengan persamaan (9) (Sun et al., 2016)

$$PL^{CI}(f, d) = 20 \text{Log} \left(\frac{4\pi f}{c} \right) + 10\alpha \text{Log}(d) + X_\sigma^{CI} [\text{dB}] \quad (9)$$

Dimana f menyatakan frekuensi yang digunakan pada sistem, d adalah jarak antara pemancar dengan penerima, α menyatakan nilai *slope pathloss* mulai jarak 1meter dan X_σ^{CI} adalah variabel acak gaussian dengan *mean* bernilai nol dengan standar deviasi dalam dB (Haneda et al., 2016). Nilai *Pathloss Exponent* (PLE) atau α , dan nilai standar deviasi pada model prediksi CI ini dapat dilihat pada pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter pada Model Prediksi ABG dan CI (Sun et al., 2016)

Skenario		Rentang Frekuensi (GHz)	Jarak (m)	Model	PLE / α	β (dB)	γ	σ (dB)
Urban	LOS	2 – 73,5	5-121	ABG	2	31,4	2,1	2,9
	CI			CI	2	-	-	2,9
Micro	NLOS	2 – 73,5	19-272	ABG	3,5	24,4	1,9	8
	CI			CI	3,1	-	-	8,1
Urban	LOS	2 – 60	5-88	ABG	2,6	24	1,6	4
	CI			CI	1,9	-	-	4,7
Micro	NLOS	2 – 60	8-235	ABG	4,4	24	1,9	7,8
	CI			CI	2,8	-	-	8,3
Urban	LOS	2 – 73,5	58-930	ABG	2,8	11,4	2,3	4,1
	CI			CI	2	-	-	4,6
Macro	NLOS	2 – 73,5	45-1429	ABG	3,3	17,6	2	9,9
	CI			CI	2,7	-	-	10

2.10 Model Prediksi Alpha-Beta-Gamma (ABG)

Model prediksi *pathloss* ABG dikeluarkan oleh *The Third Generation Partnership Project* (3GPP) yang merupakan suatu kelompok proyek yang mengembangkan teknologi seluler generasi ketiga. Pada model ini terdapat tiga parameter yang didefinisikan sesuai dengan karakteristik sel dan *geotype* suatu wilayah. Redaman pada kondisi *free space loss* merupakan fungsi frekuensi dan jarak yang dinyatakan melalui Persamaan (10) (Sun et al., 2016)

$$PL^{ABG}(f, d) = 10\alpha \text{Log} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \beta + 10\gamma \text{Log} \left(\frac{f}{f_0} \right) + X_{\sigma}^{ABG} [dB] \quad (10)$$

Nilai α dan γ menyatakan parameter *pathloss* yang terkait dengan jarak dan frekuensi, sedangkan β menyatakan nilai *offset* yang dioptimalkan untuk *pathloss* dalam dB. Nilai frekuensi pada persamaan di atas dinyatakan dalam GHz dan jarak dalam meter, X_{σ}^{ABG} merupakan standar deviasi nilai *shadowing fading* yang menggambarkan nilai rata-rata *pathloss* sepanjang lintasan akibat fluktuasi *large scale fading*.

2.11 Antena Directional

Antena *directional* adalah antena yang memancarkan daya dalam arah tertentu. *Gain* antena ini relatif lebih besar daripada antena *omnidirectional* dan antena sektoral. Antena *directional* memiliki *gain* tertinggi. Beberapa jenis antena *directional* adalah *antenna yagi*, *antenna biquad*, *antenna helical*, *antenna patch*, *horn*, dan antena parabola. Antena *directional* ini biasanya digunakan untuk jarak jauh dan untuk mengarahkan sinyal ke titik tertentu. (Yoliadi, 2022)



Gambar 9 Antena tipe Yagi Directional (Yoliadi, 2022)

2.12 Antena *Omnidirectional*

Antena *omnidirectional* adalah antena yang memancarkan daya ke segala arah sekitar antena dengan pola radiasi 360 derajat. Antena ini populer karena dapat menjangkau area yang luas dan cocok untuk aplikasi di mana sinyal perlu didistribusikan secara merata ke segala arah, seperti dalam jaringan nirkabel di sekitar gedung atau area terbuka. Contoh antena *omnidirectional* yang populer adalah antena *dipole* dan antena *ground plane*. (Yoliadi, 2022)



Gambar 10 Antena tipe *Dipole Omnidirectional* (Yoliadi, 2022)