

PERANCANGAN JARINGAN BACKHAUL GNODEB DAN DISTRIBUSI JARINGAN 5G NR DI KOTA MAKASSAR

GNODEB BACKHAUL NETWORK DESIGN AND 5G NR NETWORK DISTRIBUTION IN MAKASSAR CITY

Mukhlisah Nur Fadhilah. S¹, Hamzah U. Mustakim², Fannush Shofi Akbar³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Surabaya

¹mukhlisah@student.telkomuniversity.ac.id, ²hamzahmustakim@telkomuniversity.ac.id,

³fannushakbar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan jaringan 5G di Indonesia akan menjadi jaringan yang banyak digunakan salah satunya di Kota Makassar, sehingga untuk mendukung kinerja teknologi 5G NR, maka dibutuhkan suatu media transmisi yang handal dengan menggunakan serat optik. Dengan menggunakan media transmisi serat optik dapat mendukung teknologi jaringan 5G NR diterapkan penggunaannya antar gNodeB sebagai *backhaul*. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan jaringan *backhaul* gNodeB pada jaringan 5G NR di Kota Makassar. Perancangan jaringan 5G NR dilakukan dengan melakukan kalkulasi data berdasarkan coverage planning untuk mengetahui jumlah gNodeB yang dibutuhkan untuk *link backhaul*, dengan menggunakan media transmisi serat optik. Hasil simulasi *link backhaul* dengan menggunakan teknologi STM-64 untuk nilai terbaik dengan *transmitted power* ≥ 5 dBm, nilai rata-rata *Q-factor* 9,84, BER $6,44 \times 10^{-21}$ dan *received power* -13,85 dBm dengan *transmitted power* 10 dBm, untuk nilai terburuk *transmitted power* < 5 dBm, nilai rata-rata *Q-factor* 3,26, BER $9,8 \times 10^{-4}$ dan *received power* -23,83 dBm dengan *transmitted power* 0 dBm.

Kata kunci : 5G NR, gNodeB, *backhaul*, STM-64

Abstract

The development of the 5G network in Indonesia will become a widely used network, one of which is in Makassar City, so to support the performance of 5G NR technology, a reliable transmission medium using optical fiber is needed. By using fiber optic transmission media, it can support 5G NR network technology implemented between gNodeBs as backhaul. In this research, a gNodeB backhaul network design was carried out on the 5G NR network in Makassar City. 5G NR network design is carried out by carrying out data calculations based on coverage planning to determine the number of gNodeB needed for backhaul links, using fiber optic transmission media. Backhaul link simulation results using STM-64 technology for the best value with transmitted power ≥ 5 dBm, average value of Q-factor 9,84, BER $6,44 \times 10^{-21}$ and received power -13,85 dBm with transmitted power 10 dBm, for the worst transmitted power value < 5 dBm, the average Q-factor value is 3,26, BER $9,8 \times 10^{-4}$ and received power -23,83 dBm with a transmitted power of 0 dBm.

Keywords: 5G NR, gNodeB, *backhaul*, STM-64

1. Pendahuluan

Kota Makassar berperan sebagai pusat industri, pemerintahan serta pelayanan pendidikan dan kesehatan yang terdiri dari 15 kecamatan dan 153 kelurahan dengan luas pada tahun 2022 tercatat 175,77 km² dan jumlah penduduk saat ini adalah 1,432.189 jiwa [1]. Dengan pertumbuhan populasi antara tahun 2017 – 2022, membutuhkan media transmisi yang handal dengan menggunakan serat optik untuk mendukung kinerja teknologi 5G NR [2]. Oleh karena itu, dengan menggunakan transmisi serat optik dapat mendukung teknologi jaringan 5G NR dan diterapkan antar gNodeB sebagai *backhaul*.

Perkembangan jaringan teknologi di Kota Makassar menggunakan *backhaul* gNodeB sebagai solusi untuk mendukung komunikasi di area cakupan yang sangat luas, dengan kecepatan data mencapai kecepatan 1 milidetik. *Backhaul* berfungsi sebagai media transmisi yang menghubungkan *base transceiver station* dengan *base station controller*, memungkinkan data dan informasi dikirim dari sumber ke tujuan [3].

Perancangan jaringan *backhaul* serat optik dengan distribusi jaringan 5G NR dilakukan agar dapat memperluas jumlah pengguna layanan yang memiliki kualitas jaringan yang lebih baik. Terdapat 3 karakteristik utama teknologi jaringan generasi kelima atau 5G adalah eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) yang memiliki kecepatan transfer data 10 Gbps, URLLC (*Ultra Reliable and Low Latency Communications*) memiliki waktu respon (*latency*) ≤ 1 milidetik, dan mMTC (*Massive Machine Type Communications*) memiliki 1.000.000 koneksi/km² [4].

Penelitian ini menggunakan analisa *coverage planning* dalam mendukung perancangan dan implementasi jaringan 5G dalam perancangan jaringan *backhaul* di Kota Makassar. Untuk mendapatkan jumlah minimum gNodeB, penelitian ini menggunakan metode perencanaan 5G NR model propagasi UMa (*Urban Micro*). Kemudian melakukan pemetaan gNodeB dengan bantuan *software Atoll* dan penentuan topologi lalu dilakukan perancangan jaringan *backhaul* dengan menggunakan *software Optisystem*.

2. Dasar Teori

2.1 Teknologi 5G NR

3GPP menggagaskan suatu teknologi baru generasi kelima yang berbasis radio dengan menggunakan spektrum radio frekuensi tinggi yang disebut 5G “*New Radio*” (NR). Teknologi jaringan seluler generasi kelima ini memiliki tujuan utama yaitu untuk memenuhi layanan komunikasi bergerak serta memberikan dukungan teknologi pada sektor ekonomi dan industri, dengan spesifikasi yang dimilikinya adalah kapasitas *bandwidth* yang lebih besar dari generasi sebelumnya (4G). Teknologi jaringan 5G dapat mengubah peran teknologi telekomunikasi di masyarakat dan memajukan pertumbuhan ekonomi serta memenuhi kebutuhan digitalisasi masyarakat. Terdapat tiga kategori utama pada jaringan 5G, yaitu mMTC (*massive Machine Type Communications*), URLLC (*Ultra Reliable and Low Latency*) dan eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) [5]. Teknologi 5G NR memiliki persyaratan dalam pengembangannya yaitu sebagai berikut [6]:

1. Kecepatan data berkisar 1-10 Gbps.
2. *Latency* yang rendah < 1 ms.
3. Hemat energi dan efisien.
4. Memiliki kapasitas yang lebih unggul daripada teknologi sebelumnya.
5. Memiliki cakupan yang luas.
6. Konektivitas yang stabil.

2.2 Backhaul

Backhaul merupakan proses transportasi data dan informasi yang menghubungkan jaringan akses dan jaringan inti (*core network*), yang terdiri dari gNodeB *link*. *Core network* tahu bagaimana cara untuk merutekan suatu informasi, kemudian *backhaul* yang menyalurkan informasi dengan cara yang handal dan hemat biaya, *backhaul* juga menetapkan *circuit switch* atau *packet switch* untuk panggilan ataupun koneksi, sehingga artinya *backhaul* memiliki tanggung jawab untuk membawa atau menyalurkan informasi data seperti untuk manajemen jaringan, perutean, dan serah terima jaringan [7].

2.3 Perencanaan Berdasarkan Coverage Planning

Proses perencanaan berdasarkan cakupan 5G NR yang terdiri dari beberapa langkah yaitu menghitung *link budget* untuk mengetahui MAPL (*Maximum Allowed Path Loss*), perhitungan radius *cell* menggunakan propagasi model UMa (*Urban Macro*), dan perhitungan jumlah gNodeB [8].

2.4 SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)

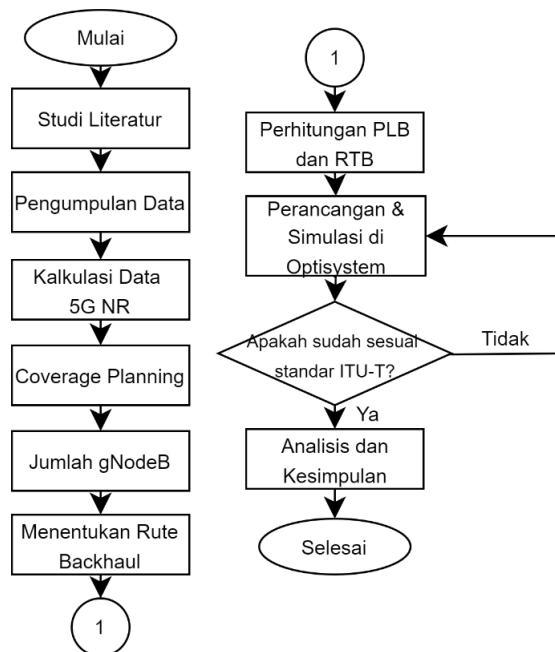
SDH merupakan standar internasional untuk pemultipleksan sistem *transport* pada jaringan telekomunikasi yang memiliki kecepatan yang tinggi dan dapat mengirimkan sinyal dengan kapasitas yang beragam. Struktur frame didefinisikan dalam SDH seperti *Synchronous Transport Module Level 1* (STM-1) memiliki kecepatan *bit rate* terendah dengan 155,5 Mbps, dan *Synchronous Transport Module Level 64* (STM-64) yang memiliki kecepatan *bit rate* tertinggi mencapai 10 Gbps [9].

2.5 DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*)

Teknologi transmisi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) merupakan suatu teknologi menggunakan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal informasi, sehingga seluruh panjang gelombang dapat ditransmisikan ke *demultiplexer* setelah proses *multiplexer*. Pada dasarnya, konfigurasi sistem DWDM terdiri dari rangkaian *transmitted* sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinyal kemudian melalui proses *multiplexing* dan dikirim melalui serat optik yang sama. Di sisi penerima, sinyal diterima *demultiplexing* dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombangnya [10].

3. Perancangan Sistem

Tahapan dalam perancangan *backhaul* gNodeB melalui beberapa tahapan, sebelum melakukan perancangan *backhaul* dengan menggunakan serat optik, langkah awal yang dilakukan yaitu pengumpulan data dan kalkulasi data jaringan 5G NR berdasarkan *coverage planning* untuk mengetahui jumlah *site* atau gNodeB yang akan dibutuhkan ke sistem *backhaul*. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Flowchart

3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini, dikumpulkan dengan menggunakan metode sekunder. Data sekunder digunakan untuk memperoleh data yang sudah ada sebelumnya dan dikumpulkan oleh pihak lain. Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan yaitu jumlah penduduk di wilayah kota Makassar pada tahun 2022. Wilayah tersebut memiliki luas 175,77 km² dan dihuni oleh 1,432,189 jiwa dengan luas wilayah 175,77 km². Data tersebut dapat dilihat pada Tabel I.

Tabel I Jumlah Penduduk Kota Makassar 2022

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk
1	Mariso	57,795
2	Mamajang	56,056
3	Tamalate	182,348
4	Rappocini	144,733
5	Makassar	82,265
6	Ujung Pandang	24,541
7	Wajo	30,110
8	Bontoala	55,239
9	Ujung Tanah	36,127
10	Kepulauan Sangkarang	14,258
11	Tallo	145,908
12	Panakukang	139,759
13	Manggala	148,462
14	Biringkanaya	211,228
15	Tamalanrea	103,322
Makassar		1,432,189

3.2 Perancangan Jaringan 5G NR

**Gambar 2** Blok Diagram *Coverage Planning*

Pada bagian ini, dilakukan perencanaan berdasarkan cakupan untuk mengetahui jumlah gNodeB 5G NR yang dibutuhkan di wilayah kota Makassar. Dengan didapatkannya jumlah gNodeB maka dapat menentukan rute yang diinginkan untuk perancangan [11]. Untuk perhitungan jumlah gNodeB menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Number of gNodeB} &= \frac{175770000}{6237493,8} \\
 &= 28 \text{ site}
 \end{aligned}$$

3.3 Perancangan Link Backhaul

Jaringan *link backhaul* yang digunakan pada perancangan ini adalah teknologi STM-64 karena memiliki *bit rate* 10 Gbps yang dapat mencakup area luas. STM-64 dapat mendistribusikan sinyal menuju jaringan optik untuk distribusi jaringan 5G NR, Perangkat STM-64 dapat diintegrasikan dengan teknologi DWDM, dan hanya memerlukan satu pasang *core* optik untuk menghubungkan blok *transmitted* dengan blok *receiver*. Adapun parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II Parameter Perancangan *Link Backhaul*

Item	Value	Unit
<i>Bit rate</i>	10	Gbps
Format modulasi	-	NRZ
<i>Wavelength</i>	1550	nm
<i>Attenuasi</i>	0,3	dB/km
<i>Transmitted Power</i>	0 – 10	dBm
Sensitivitas min.	-28	dBm
Dispersi Kromatik	0,075	ps/nm.km
<i>Rise time (t_{tx})</i>	60	Ps
<i>Rise time (t_{rx})</i>	35	ps

Lebar spektral (σ_λ)	0,1	nm
Margin sistem	3	dB

3.4 Perhitungan Power Link Budget

Perhitungan redaman diperlukan untuk mendapatkan minimum daya sensitivitas penerima. Maka diperoleh *power link budget* dari variasi *transmitted power* yang digunakan sebagai berikut:

Tabel III Total Redaman dari Variasi Power

Ptx	Rata-Rata Hasil Simulasi Prx	Total Redaman (α_{total})
0 dBm	-23,831 dBm	23,831 dBm
1 dBm	-22,621 dBm	23,621 dBm
2 dBm	-21,841 dBm	23,841 dBm
3 dBm	-20,719 dBm	23,719 dBm
4 dBm	-19,848 dBm	23,848 dBm
5 dBm	-18,85 dBm	23,85 dBm
6 dBm	-17,852 dBm	23,852 dBm
7 dBm	-16,853 dBm	23,853 dBm
8 dBm	-15,854 dBm	23,854 dBm
9 dBm	-14,855 dBm	23,855 dBm
10 dBm	-13,855 dBm	23,855 dBm
Rata – Rata Total Redaman (α_{total})		23,816 dBm

Untuk perhitungan *power link budget backhaul* diperlukan parameter-parameter seperti pada Tabel II. Maka didapatkan nilai *power link budget backhaul* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{PLB} &= [(L \times \alpha_{fo}) + (N_c \times \alpha_c) + (N_s \times \alpha_s)] + Ms \\
 &= [(79,5 \times 0,3) + (2 \times 0,25) + (29 \times 0,01)] + 3 \\
 &= 27,6 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

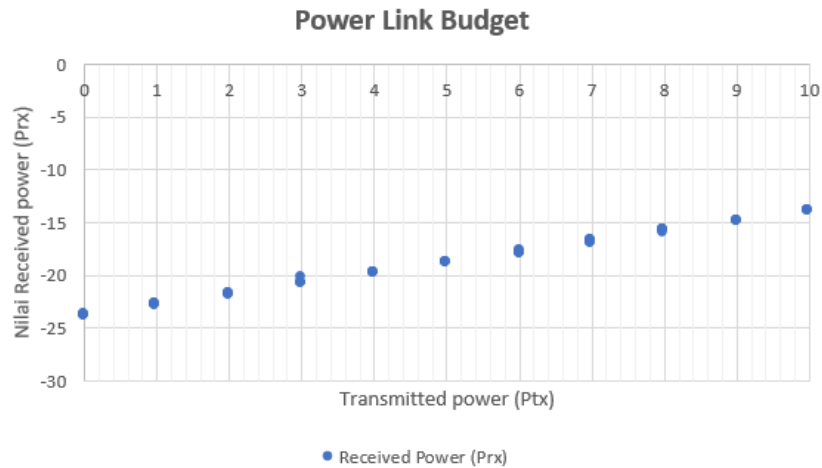
4. Simulasi dan Hasil Analisis perancangan backhaul gNodeB

4.1 Simulasi Pemodelan Sistem

Dalam perancangan sistem *link backhaul*, konfigurasi disesuaikan dengan model sistem. Model sistem mencakup *transmitted* (pengirim), *multiplexer* (MUX), media transmisi serat optik, dan *receiver* (penerima). Perancangan ini menggunakan total jarak gNodeB sebagai *backhaul* yaitu 79,5 km dan *bit rate* yang digunakan 10 Gbps [12].

4.2 Analisis Backhaul Link Menggunakan Teknologi STM-64

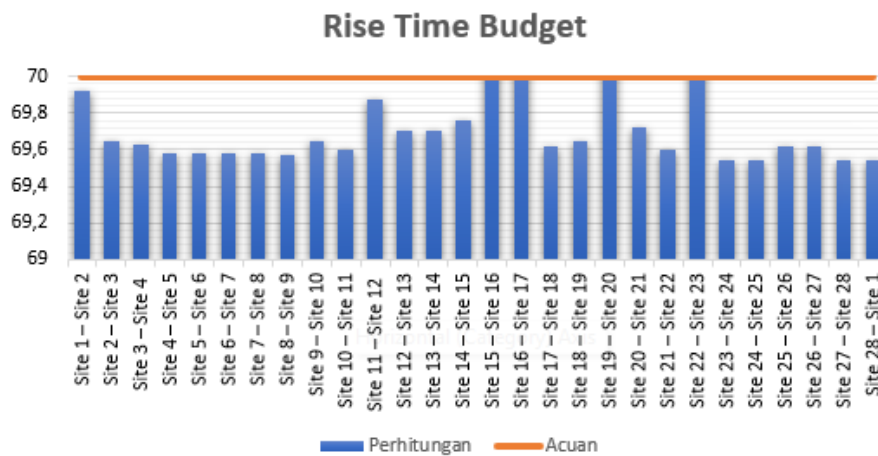
Analisis pada *backhaul link* dengan menggunakan STM-64 dengan variasi *transmitted power* 0 dBm hingga 10 dBm, jarak yang digunakan pada penelitian ini adalah 79,5 km. Adapun analisis perfomansi dari sistem jaringan dilakukan berdasarkan ukur berupa *power link budget*, *rise time budget*, *Q-factor*, dan BER (*Bit Error Rate*). Hasil simulasi *power link budget* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Hasim Simulasi *Power Link Budget*

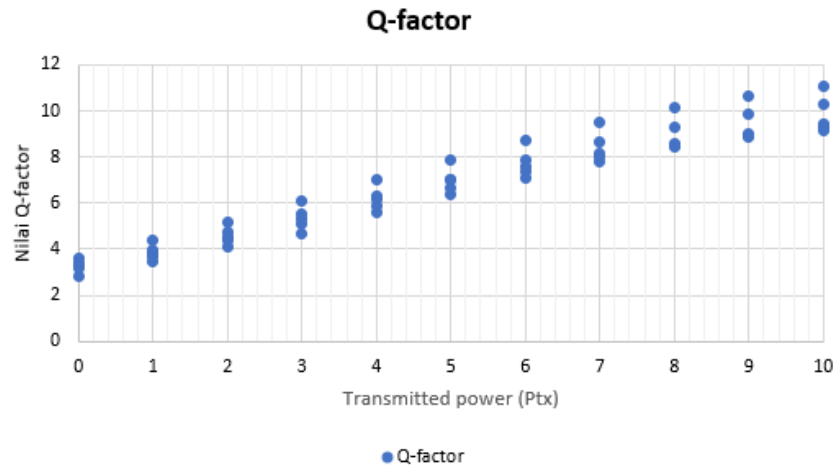
Berdasarkan Gambar 3, hasil simulasi tersebut mengalami peningkatan dari nilai *received power* yang diterima di sisi *receiver*. Sehingga dapat dianalisa bahwa dengan menggunakan *power transmisi* yang besar dapat menghasilkan nilai *received power* yang besar juga dan sebaliknya jika menggunakan *power transmisi* yang kecil akan menghasilkan *power* disisi *receiver* semakin kecil.

Adapun format modulasi yang digunakan pada perancangan *link backhaul* serat optik digunakan format modulasi NRZ (*Non-return-to-zero*) sehingga *rise time* total dari acuan tidak boleh melebihi $0,7/\text{bit rate}$, sehingga untuk nilai *rise time budget* untuk tiap *sublink* dapat dilihat pada Gambar 4.



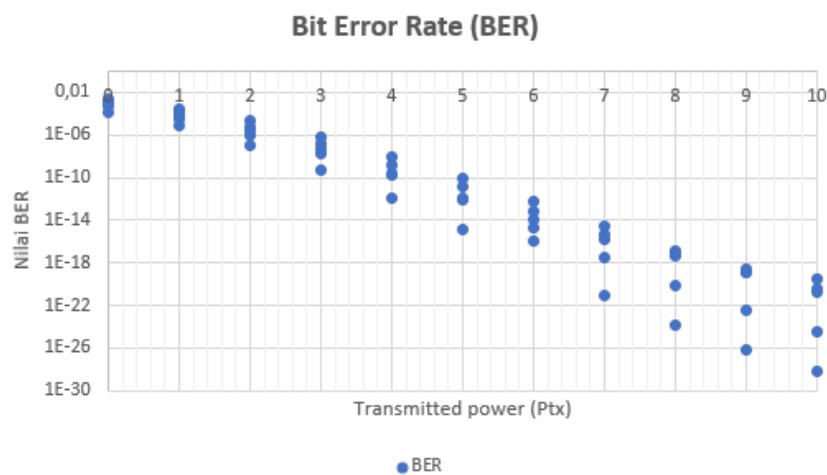
Gambar 4 Grafik Perbandingan Nilai *Rise Time Budget*

Pada Gambar 4, nilai *rise time budget* keseluruhan *sublink* tidak ada yang melebihi nilai acuan yaitu 70 ps. Kemudian untuk hasil simulasi untuk nilai *Q-factor* dan BER (*Bit Error Rate*) dengan menggunakan *output port demux* 5 dari 64channel yaitu *port* 1, 16, 32, 48 dan 64 dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Grafik Hasil Simulasi Nilai Q -factor

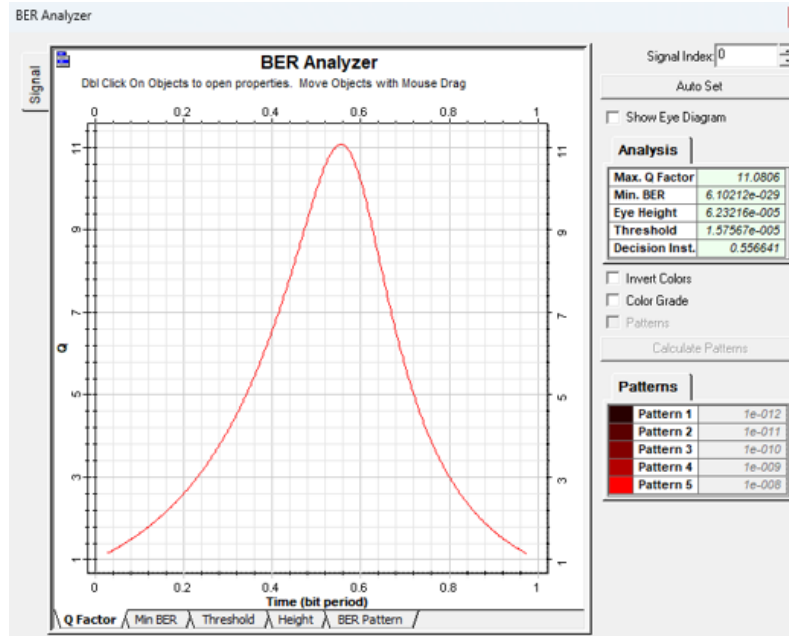
Pada Gambar 5 menunjukkan grafik hasil simulasi nilai Q -factor yang relatif meningkat atau nilai Q -factor semakin besar dari penggunaan *transmitted power* terkecil sampai terbesar. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *transmitted power* ≥ 5 dBm memperoleh rata-rata hasil simulasi Q -factor sudah memenuhi standar nilai Q -factor yaitu ≥ 6 .



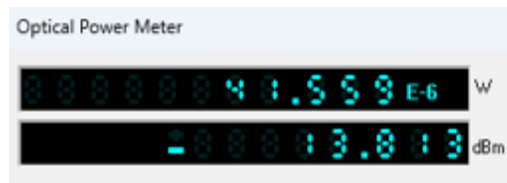
Gambar 6 Grafik Hasil Simulasi Nilai BER

Dari Gambar 6 menunjukkan grafik hasil simulasi nilai BER relatif menurun atau nilai BER semakin kecil dari penggunaan *transmitted power* terkecil hingga terbesar. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *transmitted power* ≥ 5 dBm memperoleh rata-rata hasil simulasi BER sudah memenuhi standar nilai BER yaitu 10^{-9} .

Dari rata-rata hasil simulasi BER dan Q -factor dapat dianalisa bahwa dengan menggunakan *transmitted power* < 5 dBm dikatakan belum memenuhi standar parameter nilai BER dan Q -factor. Hal ini dapat disebabkan *received power* di sisi *receiver* terlalu kecil sehingga nilai BER masih berada dibawah 6 dan Q -factor masih lebih besar 10^9 . Sehingga berdasarkan hasil simulasi, nilai yang diambil dari percobaan simulasi yaitu nilai terbaik dan terburuk yang mencakup nilai BER, Q -factor, dan *received power*.

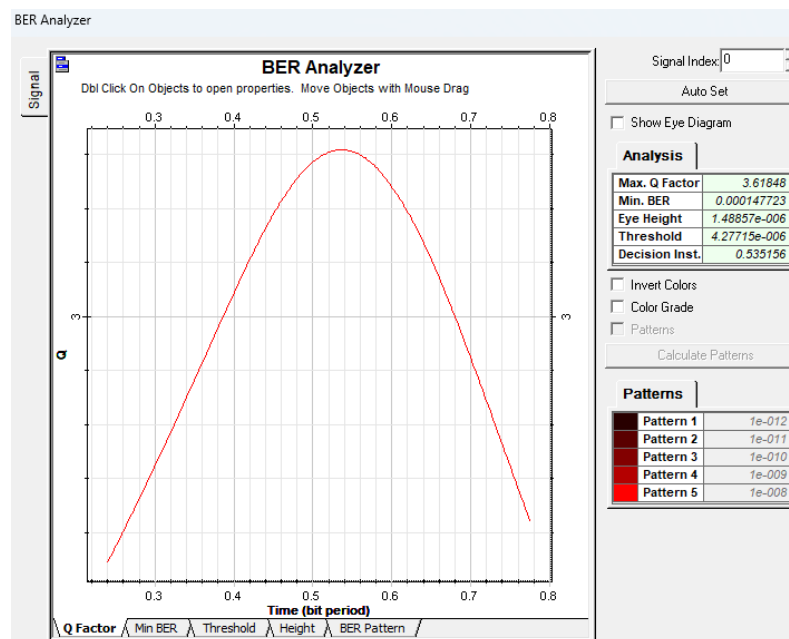


Gambar 7 Hasil BER dan *Q-factor* Terbaik Pada *Link Backhaul*

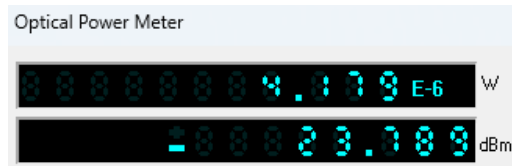


Gambar 8 Hasil *Received Power* Terbaik Pada *Link Backhaul*

Pada Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan *transmitted power* 10 dBm mendapatkan hasil *Q-factor* 11,08, BER $6,1 \times 10^{-29}$ dan pada Gambar 8 menunjukkan hasil *received power* sebesar -13,81 dBm.



Gambar 9 Hasil BER dan *Q-factor* Terburuk Pada *Link Backhaul*



Gambar 10 Hasil *Received Power* Terburuk Pada *Link Backhaul*

Pada Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan *transmitted power* 0 dBm mendapatkan hasil *Q-factor* 3,61, BER $1,47 \times 10^{-4}$ dan pada Gambar 10 menunjukkan hasil *received power* sebesar -23,78 dBm.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka dapat dianalisis bahwa kinerja perancangan berdasarkan standar ITU- T dapat dilihat pada Tabel III.

Tabel III Resume Parameter Kinerja

Parameter Kinerja	Rata-rata Simulasi	Standar ITU-T
PLB (5 dBm)	-18,85 dBm	> -28 dBm
RTB (5 dBm)	≤ 70 ps	≤ 70 ps
<i>Q-factor</i> (5 dBm)	$2,02 \times 10^{-11}$	$< 10^{-9}$
BER (5 dBm)	6,99	≥ 6

Dari Tabel III dapat dilihat bahwa untuk perbandingan resume parameter kinerja diambil dari *transmitted power* 5 dBm, karena yang memenuhi untuk mendapatkan hasil simulasi performansi jaringan *power link budget*, BER (*Bit Error Rate*) dan *Q-factor* dimulai dari penggunaan *power* ≥ 5 dBm dengan standar ITU-T sudah dikatakan sesuai. Selain itu, pemilihan 5 dBm dikarenakan dengan menggunakan *power* tersebut saja sudah sesuai parameter kelayakan, apalagi menggunakan *transmitted power* yang paling besar yaitu 10 dBm.

5. Kesimpulan

- Dalam perancangan jaringan seluler 5G NR menggunakan kalkulasi data berdasarkan *coverage planning* untuk menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan dalam menentukan rute *link backhaul* dengan menggunakan serat optik. Berdasarkan hasil perhitungan kalkulasi data maka diperoleh jumlah *site* atau gNodeB yang akan digunakan yaitu sebanyak 28 *site* atau gNodeB.
- Berdasarkan hasil simulasi pada *link backhaul* dengan menggunakan STM-64 mendapatkan nilai yang bagus berdasarkan parameter kelayakan dengan menggunakan *transmitted power* ≥ 5 dBm, mendapatkan nilai terbaik dengan nilai rata-rata *Q-factor* 9,84, BER $6,44 \times 10^{-21}$ dan *received power* -13,85 dBm dengan *transmitted power* 10 dBm. Sedangkan dengan menggunakan *transmitted power* < 5 dBm memperoleh nilai terburuk dengan nilai rata-rata *Q-factor* 3,26, BER $9,8 \times 10^{-4}$ dan *received power* -23,83 dBm dengan *transmitted power* 0 dBm.
- Dari hasil simulasi dapat dikatakan bahwa apabila menggunakan *transmitted power* ≥ 5 dBm sudah memenuhi standar minimum BER, *Q-factor* dan *received power*. Standar *Q-factor* dapat dikatakan baik jika ≥ 6 dan BER dikatakan bagus jika $< 10^{-9}$ serta standar sensitivitas *receiver* maksimal -28 dBm.

Daftar Pustaka:

- [1] Sul-SelProv, "Kota Makassar", accessed: 12 Juni 2023, from: https://sulselprov.go.id/kota/des_kab/22
- [2] Badan Pusat Statistik Kota Makassar dalam Angka 2023, accessed: 13 Juni 2023, from: <https://makassarkota.bps.go.id>
- [3] J. B. Prakosa, A. Hambali and M. I. Maulana, "Perancangan Jaringan *Backhaul* 4G LTE Sebagai *Lastmile* Pada Kecamatan Aluh-Aluh," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 6, pp. 3637-3641, Desember 2022.

- [4] A. Wulandari, T. Supriyanto and L. Damayanti, "Perancangan Skenario *Non Stand Alone* (NSA) Jaringan 5G Untuk Menunjang Revolusi Industri 4.0," *ISAS Publishing*, vol. 7, no. 1, pp. 123-130, 2021.
- [5] F. Febriyandi and I. Krisnadi, "Rekomendasi ITU Pada Alokasi Spektrum 5G di Indonesia," *Bul. Pos dan Telekomun.*, pp. 1–6, 2019.
- [6] A. F. S. Admaja, "Kajian Awal 5G Indonesia (*5G Indonesia Early Preview*)," *Bul. Pos dan Telekomunikasi.*, vol. 13, no. 2, p. 97, 2015, doi: 10.17933/bpostel.2015.130201.
- [7] R. A. I. Asyari, F. E. Indarto and I. Cahyani, "Perancangan Jaringan *Backbone* dan Distribusi 4G LTE Di Sleman Berbasis Jaringan Optik," *Prosiding SNATIF*, pp. 137-144, 2017.
- [8] F. K. Karo, T. Engineering, A. Hikmaturokhman, T. Engineering, M. A. Amanaf, and T. Engineering, "5G New Radio (NR) Network Planning at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta," pp. 278– 283, 2021.
- [9] I. P. R. Dharmasadhana, A. Hambali and M. I. Maulana, "Perancangan Jaringan *Backhaul* eNodeB Menggunakan Serat Optik Pada Kecamatan Gangga, Bayan, Dan Kayangan Kabupaten Lombok Utara Provinsi Nusa Tenggara Barat," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 3725-3729, Desember 2022.
- [10] S. Kartalopoulos, *Next Generation Intelligent Optical Network From Access to Backbone*, New York USA: Springer, 2008.
- [11] P. Rahmawati, M. I. Nashiruddin, and M. A. Nugraha, "Capacity and Coverage Analysis of 5G NR *Mobile Network Deployment for Indonesia's Urban Market*," *Proc. - 2021 IEEE Int. Conf. Ind. 4.0, Artif. Intell. Commun. Technol. IAICT 2021*, pp. 90–96, 2021, doi: 10.1109/IAICT52856.2021.9532574
- [12] V. Putri p, "Perancangan Jaringan *Backhaul* 4G/LTE Menggunakan Serat Optik di Kecamatan Laksodo, Kandangan, Dan Kalumpang," Universitas Telkom, Teknik Telekomunikasi, Bandung, 2018.