

**ANALISIS PERFORMANSI PENGGUNAAN *RF CHAIN* TERHADAP EFISIENSI
ENERGI *MASSIVE MIMO* PADA FREKUENSI 28 GHZ DI KANAL RICIAN**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada
Program Sistem Telekomunikasi*



Oleh :

Gisella Agnesia Setiawan

NIM 1904409

PROGRAM STUDI SISTEM TELEKOMUNIKASI

KAMPUS UPI DI PURWAKARTA

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2023

LEMBAR HAK CIPTA

**ANALISIS PERFORMANSI PENGGUNAAN RF CHAIN
TERHADAP EFISIENSI ENERGI MASSIVE MIMO
PADA FREKUENSI 28 GHZ DI KANAL RICIAN**

Oleh

Gisella Agnesia Setiawan

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana
Teknik pada Program Studi Sistem Telekomunikasi

© Gisella Agnesia Setiawan 2023

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2023

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

ii

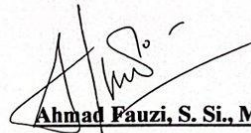
LEMBAR PENGESAHAN

GISELLA AGNESIA SETIAWAN

**ANALISIS PERFORMANSI PENGGUNAAN RF CHAIN TERHADAP
EFISIENSI ENERGI MASSIVE MIMO PADA FREKUENSI 28 GHZ DI
KANAL RICIAN**

Disetujui dan disahkan oleh dosen pembimbing

Dosen Pembimbing 1



Ahmad Fauzi, S. Si., M. T

NIP 920171219820915101

Dosen Pembimbing 2



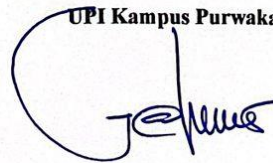
Endah Setyowati, S. T., M. T

NIP 920190219920908201

Mengetahui,

Ketua Program Sistem Telekomunikasi

UPI Kampus Purwakarta



Galura Muhammad Suranegara, S. Pd., M. T

NIP 92019021990111101

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**ANALISIS PERFORMANSI PENGGUNAAN RF CHAIN TERHADAP EFISIENSI ENERGI MASSIVE MIMO PADA FREKUENSI 28 GHZ DI KANAL RICIAN**” beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya.

Purwakarta,
Yang membuat pernyataan,



Gisella Agnesia Setiawan
NIM 1904409

ABSTRAK

Dengan memanfaatkan lebih banyak antena dan frekuensi radio yang lebih tinggi, teknologi komunikasi 5G mampu meningkatkan system komunikasi namun di sisi yang lain turut meningkatkan dari segi penggunaan energi. Para peneliti berkonsentrasi untuk menemukan metode yang mampu mengonsumsi lebih sedikit energi, seperti mengurangi jumlah total RF *chain*. Ekosistem 5G memanfaatkan konsep *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) untuk menggunakan energi seefisien mungkin. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan daya sebesar 10 watt untuk menghubungkan dua pengguna di bawah kondisi pengimplementasian teknologi NOMA dan kanal Rician pada frekuensi 28 GHz yang disimulasikan dalam percobaan menggunakan MATLAB r2020a. Hasilnya menunjukkan bahwa *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) serta penggunaan jumlah antena sangat penting dalam menghasilkan nilai efisiensi energi dan juga nilai ini dapat ditingkatkan dengan menggunakan RF chain yang lebih sedikit. Pengimplementasian RF chain seminimal mungkin dan NOMA dapat digabungkan untuk meningkatkan kinerja jaringan tanpa mengurangi efisiensi energi, membangun peluang untuk teknologi 5G berkinerja tinggi dan ramah lingkungan.

Kata kunci: efisiensi energi, RF chain, NOMA, MMIMO

ABSTRACT

The 5G communication technology revolutionizes communication by using higher radio frequencies and more antennas, but also increases energy consumption. Researchers have focused on energy-efficient solutions using techniques like reducing the number of RF chains. The Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) idea is used to maximize energy use in the 5G ecosystem. An experiment using MATLAB r2020a simulated the consumption of 10 watts of power to link two users using NOMA technology at 28 GHz. Results showed that energy efficiency can be improved by using fewer RF chains, and the Signal-to-Noise Ratio (SNR) is crucial for energy efficiency. Combining NOMA and intelligent RF chain management can enhance network performance without sacrificing energy efficiency, paving the way for high-performance and sustainable 5G technology.

Keyword: energy efficiency, RF chain, NOMA, MMIMO

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR ISTILAH	x
DAFTAR VARIABEL	xii
DAFTAR PUSTAKA	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II	6
KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 MmWave M-MIMO	6
2.1.1 Energy Efficiency	10
2.1.2 Small Cell	12
2.2 Non-Orthogonal Multiple Access Technique	12
2.2.1 Power Domain	15
2.2.2 Alokasi daya	16
2.2.3 SIC	16
2.3 Transmisi Sinyal	17
2.3.1 RF Chain	17
2.4 Kanal	18
BAB III	20
METODE PENELITIAN	20

3.2	Flowchart Sistem	20
3.3	Konfigurasi sistem.....	21
3.3.1	Spesifikasi Parameter	24
3.4	Validasi Penelitian	24
3.5	Skema Penelitian	25
BAB IV		27
TEMUAN DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Hasil Validasi Sistem BER vs SNR Dalam Kondisi Tanpa Kanal Rician 27	
4.2	Hasil Penelitian.....	28
4.2.1	Data Simulasi Efisiensi Energi vs SNR Pada Kondisi Kanal Rician	28
4.2.2	Data Simulasi Efisiensi Energi vs Jumlah Antena Pada Kondisi Kanal Rician	30
4.2.3	Data Simulasi Perbandingan Kanal Rician dan Tanpa Kanal.....	31
4.2.3.1	Efisiensi Energi vs SNR	31
4.2.3.2	Efisiensi Energi vs Jumlah Antena	33
4.3	Pembahasan Hasil Penelitian.....	34
4.3.1.	Analisis Efisiensi Energi vs SNR Pada Kondisi Kanal Rician....	34
4.3.2.	Analisis Efisiensi Energi vs Jumlah Antena Pada Kondisi Kanal Rician	35
4.3.3.	Analisis Perbandingan Kanal Rician dan Tanpa Kanal	36
4.3.3.1.	Efisiensi Energi vs SNR	36
4.3.3.2.	Efisiensi Energi vs Jumlah Antena	37
BAB V.....		39
PENUTUP.....		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Implikasi.....	40
5.3	Rekomendasi	40
RIWAYAT HIDUP		41
LAMPIRAN.....		42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jaringan M-MIMO mmWave	9
Gambar 2. 2 Perbedaan domain frekuensi dan daya di OMA dan NOMA.....	14
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	21
Gambar 3. 2 Digram blok komunikasi menggunakan kanal Rician	22
Gambar 3. 3 Digram blok komunikasi tanpa kanal Rician	22
Gambar 3. 4 Ilustrasi Skenario BER vs SNR Tanpa Kanal	25
Gambar 3. 5 Ilustrasi Skenario Efisiensi Energi vs SNR Dengan Kanal Rician ..	25
Gambar 3. 6 Ilustrasi Skenario Efisiensi Energi vs Jumlah Antena Dengan Kanal Rician	26
Gambar 3. 7 Ilustrasi Skenario Efisiensi Energi vs Jumlah Antena Tanpa Kanal Rician	26
Gambar 4. 1 BER vs SNR Dalam Kondisi Ideal Tanpa Kanal Rician.....	27
Gambar 4. 2 BER vs SNR Dalam Kondisi Ideal Untuk User 1 dan 2 Tanpa Kanal Rician	28
Gambar 4. 3 Perbandingan Antara Nilai Efisiensi Energi dengan SNR Pada Kondisi Dengan Kanal Rician.....	29
Gambar 4. 4 Perbandingan Antara Nilai Efisiensi Energi dengan Antena Pada Kondisi Dengan Rician	30
Gambar 4. 5 Perbandingan Antara Nilai Efisiensi Energi dengan SNR Pada Kondisi Dengan Kanal Rician dan Tanpa Kanal.....	32
Gambar 4. 6 Perbandingan Antara Nilai Efisiensi Energi dengan Jumlah Antenna Pada Kondisi Dengan Kanal Rician dan Tanpa Kanal	33

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Parameter yang Digunakan.....	24
Tabel 4. 1 Nilai efisiensi energi Pada Saat SNR 15 dB Dengan Kanal Rician	29
Tabel 4. 2 Nilai efisiensi energi Pada Saat SNR 40 dB Dengan Kanal Rician	29
Tabel 4. 3 Nilai efisiensi energi Pada Saat Antena berjumlah 16 Dengan Kanal Rician	31
Tabel 4. 4 Nilai efisiensi energi Pada Saat Antena berjumlah 32 Dengan Kanal Rician	31
Tabel 4. 5 Nilai efisiensi energi Pada Saat SNR 15 dB Tanpa Kanal Rician.....	32
Tabel 4. 6 Nilai efisiensi energi Pada Saat SNR 40 dB Tanpa Kanal Rician.....	32
Tabel 4. 7 Nilai efisiensi energi Pada Saat Antena berjumlah 16 Tanpa Kanal Rician	34
Tabel 4. 8 Nilai efisiensi energi Pada Saat Antena berjumlah 32 Tanpa Kanal Rician	34

DAFTAR ISTILAH

AAU	<i>Active Antenna Unit</i>
APJII	Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia
BBU	<i>Baseband Unit</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BPF	<i>Bandpass Filter</i>
BS	<i>Base Station</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CA	<i>Coverage Area</i>
DV	<i>Data Volume</i>
EC	<i>Energy Consumption</i>
EE	<i>Energy Efficiency</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency</i>
FCC	<i>Federal Communications Commisison</i>
ICT	<i>Information Communication Technology</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IF	<i>Intermediate Frequency</i>
IKN	Ibu Kota Negara
LNA	<i>Low-Noise Amplifier</i>
LPF	<i>Low-Pass Filter</i>
IOT	<i>Internet of Thing</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
KW	<i>Kilowatt</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LNI	<i>Low-Noise Amplifier</i>
LO	<i>Local Oscillator</i>
MA	<i>Multiple Access</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
M-MIMO	<i>Massive Multiple Input Multiple Output</i>
MMWAVE	<i>Millimeter Wave</i>
NOMA	<i>Non-orthogonal Multiple Access</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>

OMA	<i>Orthogonal Multiple Access</i>
PA	<i>Power Amplifier</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
SC	<i>Superpositioning Coding</i>
SDM	<i>Spatial Division Multiplexing</i>
SIC	<i>Successive Interference Cancellation</i>
SISO	<i>Single Input Single Output</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
TG3c	<i>Task Group 3c</i>
TIK	<i>Teknologi Informasi Komunikasi</i>
TWh	<i>Terawatt-Hours</i>
UDN	<i>Ultra Dense Networks</i>
UE	<i>User Equipment</i>
URLLC	<i>Ultra Reliable Low Latency Communication</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
WiGig	<i>Wireless Gigabit Alliance</i>
WRC	<i>World Radio Communication Conference</i>

DAFTAR VARIABEL

$a_{n,1}$	Koefisien Pembagi Daya
$d_{j,1}$	Jarak Antara Pengguna dan BS Tingkat Ke-i
B_i	Faktor Bias Identik
G	Gain
h	Ketinggian antenna pada BTS
Hn	Matriks Pengukuran Pada Langkah Waktu n
K	Jumlah UE
Ntx	Jumlah antena
P1	Daya Pancar Dari Makro BS
$P_i L(d_{j,1})$	Path Loss Skala Besar
$P_{r,i}$	Daya Pancar
η	Faktor Ketergantungan Frekuensi
$\varphi(t)$	Fase
λ	Panjang Gelombang

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanta, D., & Londong Allo, R. P. (2019). Dynamic Spatial Diversity Combiner pada Kanal Fading. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 7(3), 466. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v7i3.466>
- Behnad, A., & Wang, X. (2017). Virtual Small Cells Formation in 5G Networks. *IEEE Communications Letters*, 21(3), 616–619. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2635146>
- Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74–80. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736746>
- Daehan Ha, Keonkook Lee, & Joonhyuk Kang. (2013). Energy efficiency analysis with circuit power consumption in massive MIMO systems. *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 938–942. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2013.6666272>
- Dai, L., Wang, B., Yuan, Y., Han, S., Chih-lin, I., & Wang, Z. (2015). Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends. *IEEE Communications Magazine*, 53(9), 74–81. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7263349>
- Dewi, I. R. (2022). Data Terbaru! Berapa Pengguna Internet Indonesia 2022? *CNBC Indonesia*. <https://www.cnbcindonesia.com/tech/20220609153306-37-345740/data-terbaru-berapa-pengguna-internet-indonesia-2022#:~:text=Pertumbuhan%20ini%20sangat%20fantastis%2C%20sebelum,juta%20pengguna%20internet%20di%20Indonesia.>
- Dhariwal, A. (2020). Performance Evaluation of Energy Efficiency and Spectral Efficiency: NOMA vs OFDMA. *Telecommunications System & Management*, 9(3), 1–6.
- Dongxu, C. (t.t.). *5G Power: Creating a green grid that slashes costs, emissions & energy use*. Diambil 11 November 2022, dari [https://www.huawei.com/en/technology-insights/publications/huawei-tech/89/5g-power-green-grid-slashes-costs-emissions-energy-use#:~:text=Energy%20consumption%20per%20unit%20of,a%20baseband%20unit%20\(BBU\).](https://www.huawei.com/en/technology-insights/publications/huawei-tech/89/5g-power-green-grid-slashes-costs-emissions-energy-use#:~:text=Energy%20consumption%20per%20unit%20of,a%20baseband%20unit%20(BBU).)
- Feng, M., Mao, S., & Jiang, T. (2018). Dynamic Base Station Sleep Control and RF Chain Activation for Energy-Efficient Millimeter-Wave Cellular Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(10), 9911–9921. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2861899>
- Ghosh, J., Sharma, V., Hacı, H., Singh, S., & Ra, I.-H. (2021). Performance Investigation of NOMA Versus OMA Techniques for mmWave Massive MIMO Communications. *IEEE Access*, 9, 125300–125308. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102301>
- Gong, T., Shlezinger, N., Ioushua, S. S., Namer, M., Yang, Z., & Eldar, Y. C. (2020). RF Chain Reduction for MIMO Systems: A Hardware Prototype. *IEEE Systems Journal*, 14(4), 5296–5307. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2975653>

Gisella Agnesia Setiawan , 2023

ANALISIS PERFORMANSI PENGGUNAAN RF CHAIN TERHADAP EFISIENSI ENERGI MASSIVE MIMO PADA FREKUENSI 28 GHZ DI KANAL RICIAN

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | Perpustakaan.upi.edu

- Hossain, T., Mowla, M. M., & Yeakub Ali, M. (2019). Energy Efficiency Investigation in Massive MIMO 5G System using Nakagami-m Fading Channel. *2019 22nd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCIT48885.2019.9038180>
- Huang, Y., Zhang, C., Wang, J., Jing, Y., Yang, L., & You, X. (2018). Signal Processing for MIMO-NOMA: Present and Future Challenges. *IEEE Wireless Communications*, 25(2), 32–38. <https://doi.org/10.1109/MWC.2018.1700108>
- Islam, S. M. R., Avazov, N., Dobre, O. A., & Kwak, K. (2017). Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 721–742. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2621116>
- ITU-R M.2083-0. (2015). *IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*.
- Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. L. (2014). Massive MIMO for next generation wireless systems. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 186–195. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736761>
- Liao, G., & Zhao, F. (2021). Dynamically Subarray-Connected Hybrid Precoding Scheme for Multiuser Millimeter-Wave Massive MIMO Systems. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 5528522. <https://doi.org/10.1155/2021/5528522>
- Mahmou, R., & Fatah, K. (2012). Designing of RF Single Balanced Mixer with a 65 nm CMOS Technology Dedicated to Low Power Consumption Wireless Applications. *JCSI International Journal of Computer Science*, 9(1), 358–363.
- Milovanovic, D., Bojkovic, Z., Terzija, V., Pantovic, V., & Fowdur, T. P. (2020). State-of-the-art Energy-Efficiency in 5G networks: Requirement indicators and evaluation metrics. *2020 3rd International Conference on Emerging Trends in Electrical, Electronic and Communications Engineering (ELECOM)*, 153–157. <https://doi.org/10.1109/ELECOM49001.2020.9297020>
- Motorola. (2009). *802.11n Demystified Key consideration for n-abling the Wireless Enterprise*.
- Noga, K., & Pałczyńska, B. (2010). Overview of Fading Channel Modeling. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 56(4), 339–344. <https://doi.org/10.2478/v10177-010-0044-x>
- Osman, S., Mowla, M. M., Paul, P., & Paul, L. C. (2019). Energy-Efficient Hybrid Precoding Analysis in 5G mmWave massive MIMO Systems in Different Channels. *2019 3rd International Conference on Electrical, Computer & Telecommunication Engineering (ICECTE)*, 101–104. <https://doi.org/10.1109/ICECTE48615.2019.9303517>
- Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., Queseth, O., Schellmann, M., Schotten, H., Taoka, H., Tullberg, H., Uusitalo, M. A., Timus, B., & Fallgren, M. (2014). Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the metis project. *IEEE Communications Magazine*, 52(5), 26–35.

- Prasad, K. N. R. S. V., Hossain, E., & Bhargava, V. K. (2017). Energy Efficiency in Massive MIMO-Based 5G Networks: Opportunities and Challenges. *IEEE Wireless Communications*, 24(3), 86–94. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.1500374WC>
- Rappaport, T. S., Xing, Y., MacCartney, G. R., Molisch, A. F., Mellios, E., & Zhang, J. (2017). Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks—With a Focus on Propagation Models. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65(12), 6213–6230. <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2734243>
- Razavi, B. (2012). *RF microelectronics* (2nd ed). Prentice Hall.
- Saito, Y., Benjebbour, A., Kishiyama, Y., & Nakamura, T. (2013). System-level performance evaluation of downlink non-orthogonal multiple access (NOMA). *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 611–615. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2013.6666209>
- Sulistiyani, U., Usman, U. K., & Syihabuddin, B. (2019). Analisa Komunikasi mm-Wave Berbasis Hybrid Beamforming. *e-Proceeding of Engineering*, 6(2), 3167–3173.
- Swindlehurst, A. L., Ayanoglu, E., Heydari, P., & Capolino, F. (2014). Millimeter-wave massive MIMO: The next wireless revolution? *IEEE Communications Magazine*, 52(9), 56–62. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6894453>
- Usman, U. K., & Irwan, M. A. (2019). KEY TEKNOLOGY 5G mmWave, Small Cell and Massive MIMO. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, 5, 65–73.
- Wang, C.-X., Haider, F., Gao, X., You, X.-H., Yang, Y., Yuan, D., Aggoune, H., Haas, H., Fletcher, S., & Hepsaydir, E. (2014). Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 122–130. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736752>
- Zi, R., Ge, X., Thompson, J., Wang, C.-X., Wang, H., & Han, T. (2016). Energy Efficiency Optimization of 5G Radio Frequency Chain Systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(4), 758–771. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2544579>