

**ANALISIS KINERJA *HYBRID BEAMFORMING* DALAM TEKNOLOGI
MASSIVE MIMO DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PHASED ZERO
FORCING* DAN *REGULARIZED ZERO FORCING***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Sistem Telekomunikasi



Oleh
Gita Alisrobia
2003396

**PROGRAM STUDI S1 SISTEM TELEKOMUNIKASI
KAMPUS UPI DI PURWAKARTA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

LEMBAR HAK CIPTA
ANALISIS KINERJA *HYBRID BEAMFORMING* DALAM TEKNOLOGI
MASSIVE MIMO DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PHASED ZERO*
FORCING DAN *REGULARIZED ZERO FORCING*

Oleh
Gita Alisrobia Nazarudin

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

© **Gita Alisrobia Nazarudin 2024**
Universitas Pendidikan Indonesia
Juni 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, di foto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

GITA ALISROBIA NAZARUDIN

**ANALISIS KINERJA *HYBRID BEAMFORMING* DALAM TEKNOLOGI
MASSIVE MIMO DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PHASED ZERO
FORCING* DAN *REGULARIZED ZERO FORCING***

Disetujui dan Disahkan Oleh Pembimbing :

Pembimbing I



Endah Setvowati, S.T., M.T.

NIP. 199209082024062002

Pembimbing II



Ichwan Nul Ichsan, S.T., M.T.

NIP. 920200019900330101

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sistem Telekomunikasi



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

NIP. 920190219920111101

PERNYATAAN ANTIPLAGIARISME

Dengan ini, penulis menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**Analisis Kinerja Hybrid Beamforming Dalam Teknologi Massive Mimo Dengan Menggunakan Metode Phased Zero Forcing Dan Regularized Zero Forcing**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya penulis sendiri. Penulis tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, penulis siap menanggung sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya penulis.

Purwakarta, Juli 2024

Yang Membuat Pernyataan,



Gita Alisrobia

NIM. 2003396

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sistem Telekomunikasi.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari motivasi, dorongan, dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, di antaranya:

1. Bapak Ade Nazarudin dan Ibu Sari Pujianti, selaku kedua orang tua penulis, yang selalu memberikan doa, dukungan baik moral maupun finansial sehingga penulis dapat menuntaskan tanggung jawab sebagai pelajar pada tingkat perguruan tinggi dengan lancar dan baik.
2. Ibu Endah Setyowati selaku dosen pembimbing I penulis, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk senantiasa membimbing penulis dari awal mengajukan topik sampai penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ichwan Nul Ichsan selaku dosen pembimbing II penulis, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis.
4. Revani Kartika Pujianti selaku kakak dari penulis yang selalu memberikan dukungan finansial dikala penulis tidak punya uang dan selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsinya.
5. Keluarga Besar Hj. Saanah yang selalu memberikan dukungan semangat dan hiburan kepada penulis agar penulis bisa cepat untuk menyelesaikan skripsinya.
6. Muntaha Hasanah dan Aliffia Nur Hasana selaku sahabat penulis yang senantiasa membantu, memberikan dukungan, dan kebersamai penulis dalam susah maupun senang selama masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini.
7. Sahabat *Vilrud* yang selalu kebersamai penulis, senantiasa membantu, dan memberikan dukungan satu sama lain.

8. Semua pihak yang telah banyak membantu, mendukung penulis dalam penyusunan skripsi yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga kebaikan dari semua pihak yang telah senantiasa membantu selama kegiatan perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini diberikan balasan oleh Allah Subhanahu Wata'ala. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat ,terkhusus untuk penulis dan para pembaca umum.

ABSTRAK

Seiring bertambahnya jumlah pengguna dan perangkat mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan kapasitas jaringan semakin besar, perlu dioptimalkannya kualitas jaringan untuk mengurangi interferensi yang terjadi pada komunikasi nirkabel. *Massive Multiple Input Multiple Output* (MIMO) adalah salah satu teknologi kunci dalam komunikasi nirkabel generasi berikutnya yang mampu meningkatkan kapasitas dan efisiensi spektrum secara signifikan. Dalam sistem *Massive MIMO*, penggunaan teknik *hybrid beamforming* menjadi penting untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya antena dan mengurangi kompleksitas komputasi. Penelitian ini menganalisis kinerja *hybrid beamforming* dalam sistem *Massive MIMO* 256 x 256 dengan menerapkan dua metode, yaitu *Regularized Zero Forcing* (RZF) dan *Phased Zero Forcing* (PZF). Penelitian ini mengukur kinerja sistem dalam hal *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode RZF dan PZF mampu mencapai BER target sebesar 10^{-4} pada SNR masing-masing sebesar 9.8 dB dan 10 dB, dibandingkan dengan sistem tanpa *hybrid beamforming* yang memerlukan SNR sebesar 11.5 dB untuk mencapai performa yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa *hybrid beamforming* dengan metode RZF efektif dalam meningkatkan kinerja sistem *Massive MIMO*, khususnya dalam kondisi kanal yang penuh dengan interferensi.

Kata kunci: *Massive MIMO, Hybrid beamforming, Precoding*

ABSTRACT

As the number of users and devices increases, the need for network capacity increases, it is necessary to optimise network quality to reduce interference that occurs in wireless communications. Massive Multiple Input Multiple Output (MIMO) is one of the key technologies in next generation wireless communications that can significantly increase capacity and spectrum efficiency. In Massive MIMO systems, the use of hybrid beamforming techniques becomes important to optimise the use of antenna resources and reduce computational complexity. This research analyses the performance of hybrid beamforming in a 256 x 256 Massive MIMO system by applying two methods, namely Regularized Zero Forcing (RZF) and Phased Zero Forcing (PZF). This research measures system performance in terms of Bit Error Rate (BER) against Signal-to-Noise Ratio (SNR). Simulation results show that the RZF and PZF methods are able to achieve a target BER of 10^{-4} at SNRs of 9.8 dB and 10 dB, respectively, compared to the system without hybrid beamforming which requires an SNR of 11.5 dB to achieve the same performance. These results show that hybrid beamforming with the RZF method is effective in improving the performance of Massive MIMO systems, especially in interference-filled channel conditions.

Keyword: Massive MIMO, Hybrid Beamforming, Precoding

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ANTIPLAGIARISME	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Struktur Organisasi Skripsi	4
BAB II	6
KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 <i>Massive</i> MIMO.....	9
2.2 <i>Hybrid Beamforming</i>	10
2.2.1 <i>Digital Beamforming</i>	11

2.2.1.1	<i>Baseband Digital Precoding</i>	11
2.2.1.1.1	<i>Digital Precoding</i>	11
2.2.1.1.1.1	Regularized Zero Forcing (RZF).....	12
2.2.1.1.1.2	Phased Zero Forcing (PZF)	12
2.2.1.1.2	<i>Digital-to-Analog Converters (DAC)</i>	13
2.2.2	<i>Analog Beamforming</i>	13
2.2.2.1	Input Sinyal <i>Radio Frequency (RF)</i>	13
2.2.2.2	<i>Phase Shifters</i>	13
2.2.2.3	Penguatan sinyal.....	14
2.3	Kanal Transmisi	14
2.4	Modulasi.....	14
2.5	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	15
2.6	<i>Signal-to-Noise Ratio (SNR)</i>	16
2.7	<i>Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)</i>	17
2.8	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i>	17
BAB III.....		18
METODE PENELITIAN		18
3.1	Alur Penelitian.....	18
3.1.1	Analisis Kebutuhan Sistem	19
3.1.2	Perancangan Sistem	19
3.1.2.1	Blok Sistem <i>hybrid beamforming</i> dalam <i>Massive MIMO</i>	19
3.1.2.1.1	Data bit.....	20
3.1.2.1.2	Modulasi	20
3.1.2.1.3	<i>Digital Precoding</i>	20
3.1.2.1.4	<i>OFDM Transmitter</i>	21
3.1.2.1.5	<i>Analog Precoding</i>	21

3.1.2.1.6	Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN)	21
3.1.2.1.7	OFDM <i>Receiver</i>	21
3.1.2.1.8	Demodulasi	21
3.1.2.1.9	Data Diterima	22
3.1.3	Validasi Sistem Tanpa Kanal	22
3.1.4	Pengujian.....	22
3.1.4.1	Skenario Pengujian.....	22
3.1.5	Analisis Hasil	23
BAB IV	.....	24
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	24
4.1	Konfigurasi Simulasi	24
4.2	Validasi Sistem.....	24
4.3	Analisis Skenario Pengujian.....	25
4.3.1	Skenario I	25
4.3.2	Skenario II.....	26
4.3.3	Skenario III.....	28
BAB V	.....	31
SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI	.....	31
5.1	SIMPULAN.....	31
5.2	IMPLIKASI.....	31
5.3	REKOMENDASI.....	32
DAFTAR PUSTAKA	.....	33
LAMPIRAN	.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arsitektur <i>Massive MIMO</i>	10
Gambar 2. 2 Arsitektur <i>Hybrid Beamforming</i>	11
Gambar 2. 3 Bagan modulasi	15
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> alur penelitian.....	18
Gambar 3. 2 Blok sistem <i>hybrid beamforming</i>	19
Gambar 4. 1 Nilai BER pada <i>command window</i>	25
Gambar 4. 2 Hasil pengujian skenario I	25
Gambar 4. 3 Hasil pengujian skenario II.....	27
Gambar 4. 4 Hasil pengujian skenario III	28

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian relevan	8
Tabel 2. 2 Nilai kualitas sistem komunikasi berdasarkan BER	16
Tabel 3. 1 Skenario Pengujian.....	22
Tabel 4. 1 Sistem parameter	24
Tabel 4. 2 Nilai SNR untuk mencapai target BER 10^{-4} pada Skenario I.....	26
Tabel 4. 3 Nilai SNR untuk mencapai target BER 10^{-4} pada Skenario II.....	27
Tabel 4. 4 Nilai SNR untuk mencapai target BER 10^{-4} pada Skenario III.....	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 SK Pembimbing Skripsi	36
Lampiran 2 Kartu Bimbingan.....	37
Lampiran 3 <i>Source Code</i>	39
Lampiran 4 Hasil Data Penelitian	41
Lampiran 5 Bit yang ditransmisikan	43

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Q., Salh, A., Shah, N. S. M., Abdullah, N., Audah, L., Hamzah, A., Farah, N., Aboali, M., & Nordin, S. (2020). A Brief Survey And Investigation Of Hybrid Beamforming For Millimeter Waves In 5G Massive MIMO Systems. *Solid State Technology*, 63(1), 12. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.00180>
- Adiati, R. F., Kusumawardhani, A., & Setijono, H. (2017). Analisis Parameter Signal to Noise Ratio dan Bit Error Rate dalam Backbone Komunikasi Fiber Optik Segmen Lamongan-Kebalen. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), A758-761. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.26079>
- Albreem, M. A., Juntti, M., & Shahabuddin, S. (2019). Massive MIMO Detection Techniques: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3109–3132. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2935810>
- AlQaisei, M. A., Sheta, A.-F. A., & Elshafiey, I. (2022). Hybrid Beamforming for Multi-User Massive MIMO Systems at Millimeter-Wave Networks. *2022 39th National Radio Science Conference (NRSC)*, 181–187. <https://doi.org/10.1109/NRSC57219.2022.9971273>
- Asia, A. (2018, Maret 1). Hybrid beamforming for 5G MIMO arrays. *EDN Asia*. <https://www.ednasia.com/hybrid-beamforming-for-5g-mimo-arrays/>
- Bhuyan, M., Sarma, K. K., Misra, D. D., Guha, K., & Iannacci, J. (2024). Adaptive Hybrid Beamforming Codebook Design Using Multi-Agent Reinforcement Learning for Multiuser Multiple-Input–Multiple-Output Systems. *Applied Sciences*, 14(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/app14167109>
- CloudRF. (2019). *Modelling the Bit Error Rate (BER)—CloudRF*. <https://cloudrf.com/modelling-the-bit-error-rate-ber/>
- Dilli, R. (2021). Performance analysis of multi user massive MIMO hybrid beamforming systems at millimeter wave frequency bands. *Wireless Networks*, 27(3), 1925–1939. <https://doi.org/10.1007/s11276-021-02546-w>
- ETSI, E. T. S. I. (2020). *Technical Specification (Physical Channel and Modulation 38.211; Versi 16.2.0)*. ETSI. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138200_138299/138211/16.07.00_60/ts_138211v160700p.pdf
- Gani, A. (2023). Implementation of Massive MIMO in 5G Networks: Strategy and Technical Studies in Indonesia. *Indonesian Journal of Advanced Research*, 2(3), 189–200. <https://doi.org/10.55927/ijar.v2i3.3563>
- Garnier, J.-R., Fabre, A., Farès, H., & Bonnefoi, R. (2020). On the Performance of QPSK Modulation Over Downlink NOMA: From Error Probability Derivation to SDR-Based Validation. *IEEE Access*, 8, 66495–66507. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983299>
- Hamid, S., Chopra, S. R., Gupta, A., Tanwar, S., Florea, B. C., Taralunga, D. D., Alfarraj, O., & Shehata, A. M. (2023). Hybrid Beamforming in Massive

- MIMO for Next-Generation Communication Technology. *Sensors*, 23(16), 7294. <https://doi.org/10.3390/s23167294>
- Hojatian, H., Nadal, J., Frigon, J.-F., & Leduc-Primeau, F. (2021). Unsupervised Deep Learning for Massive MIMO Hybrid Beamforming. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(11), 7086–7099. <https://doi.org/10.1109/TWC.2021.3080672>
- Hussein, A. A., & Kıvanç Türeli, D. (2023). Hybrid Beamforming for Multi User Massive MIMO Systems. *Orclever Proceedings of Research and Development*, 2(1), 50–58. <https://doi.org/10.56038/oprd.v2i1.246>
- Ilmiawan, S., & Moegiharto, Y. (2011). Perbandingan Kinerja LDPC pada Kanal AWGN dengan Modulasi QPSK dan BPSK. *EEPIS-ITS*. <https://www.semanticscholar.org/paper/PERBANDINGAN-KINERJA-LDPC-PADA-KANAL-AWGN-DENGAN-Ilmiawan-Moegiharto/4dc73b29226bce983f446dadfae541aa8a647d2b#citing-papers>
- Isnawati, A. F. (2012). Estimasi Kanal MIMO OFDM Berdasarkan Perubahan Nilai SNR. *Conference: SEMINAR NASIONAL ke 7 Tahun 2012 : Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (RETI)*, 7, 93.
- Kebede, T., Wondie, Y., Steinbrunn, J., Kassa, H. B., & Kornegay, K. T. (2022). Precoding and Beamforming Techniques in mmWave-Massive MIMO: Performance Assessment. *IEEE Access*, 10, 16365–16387. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3149301>
- Marzetta, T. L. (2015). Massive MIMO: An Introduction. *Bell Labs Technical Journal*, 20, 11–22. <https://doi.org/10.15325/BLTJ.2015.2407793>
- Mostafa, M., Newagy, F., & Hafez, I. (2021). Complex Regularized Zero Forcing Precoding for Massive MIMO Systems. *Wireless Personal Communications*, 120(1), 633–647. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08482-4>
- Ngo, H. Q. (2015). *Massive MIMO: Fundamentals and System Designs*. Linköping University Electronic Press. <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf>
- Ni'amah, K., Wahyuningrum, R. D., & Larasati, S. (2022). Broadband Channel Based on Polar Codes At 2.3 GHz Frequency for 5G Networks in Digitalization Era. *JOURNAL OF INFORMATICS AND TELECOMMUNICATION ENGINEERING*, 6(1), 247–257. <https://doi.org/10.31289/jite.v6i1.7310>
- Oktiana, M., Syahrial, Maulisa. (2022). *Dasar Sistem Teknik Telekomunikasi*. Syiah Kuala University Press. https://books.google.co.id/books?id=_2yuEAAAQBAJ
- Payami, S., Sellathurai, M., & Nikitopoulos, K. (2019). Low-Complexity Hybrid Beamforming for Massive MIMO Systems in Frequency-Selective Channels. *IEEE Access*, 7, 36195–36206. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2905430>

- Putra, F. P. E., Riski, M., Yahya, M. S., & Ramadhan, M. H. (2023). Mengenal Teknologi Jaringan Nirkabel Terbaru Teknologi 5G. *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, 5(2), 167. <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v5i1.233>
- Rakhmania, A. E., Harvinanda, A. M., & Taufik, M. (2023). Analisis Kinerja Sistem Modulasi Downlink LTE dan 5G pada Kanal AWGN. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 22(2), 217. <https://doi.org/10.31358/techne.v22i2.341>
- Sankar, R. S. P., Chepuri, S. P., & Eldar, Y. C. (2023). Beamforming in Integrated Sensing and Communication Systems with Reconfigurable Intelligent Surfaces. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 1–1. IEEE Transactions on Wireless Communications. <https://doi.org/10.1109/TWC.2023.3313938>
- Sulistiyani, U., Usman, U. K., & Syihabuddin, B. (2019). Analisa Komunikasi MM-Wave Berbasis Hybrid Beamforming. *e-Proceeding of Engineering*, 6, 3167.
- Usman, U. K., & Irwan, M. A. (2019). KEY TEKNOLOGY 5G mmWave, Small Cell and Massive MIMO. *Seminar Inovasi dan Aplikasi Teknnologi Di Industri*, 5(4), 65. <https://doi.org/10.36040/seniati.v5i4.1145>
- Yeom, J. S., Ko, K., Jin, H., & Jung, B. C. (2022). Performance analysis of physical-layer network coding with QPSK modulation in wireless IoT networks. *ICT Express*, 8(3), 419–423. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.10.007>