

**ANALISIS KINERJA *DIRTY PAPER CODING* DAN *BLOCK*
DIAGONALIZATION PADA MMWAVE DENGAN TEKNIK HYBRID
BEAMFORMING**



SKRIPSI

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

Oleh:

Putri Shandra Vibriyanti

NIM. 2104718

**PROGRAM STUDI SISTEM TELEKOMUNIKASI
KAMPUS UPI DI PURWAKARTA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

LEMBAR HAK CIPTA

ANALISIS KINERJA *DIRTY PAPER CODING* DAN *BLOCK DIAGONALIZATION* PADA MMWAVE DENGAN TEKNIK HYBRID BEAMFORMING

Oleh

Putri Shandra Vibriyanti

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

© **Putri Shandra Vibriyanti** 2025

Universitas Pendidikan Indonesia

Hak cipta dilindungi Undang-Undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak Sebagian atau seluruhnya, dengan cetak ulang, difotokopi, atau dengan cara lainnya tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Putri Shandra Vibriyanti

**ANALISIS KINERJA *DIRTY PAPER CODING* DAN *BLOCK
DIAGONALIZATION* PADA MMWAVE DENGAN TEKNIK HYBRID
BEAMFORMING**

**Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:
Pembimbing I**



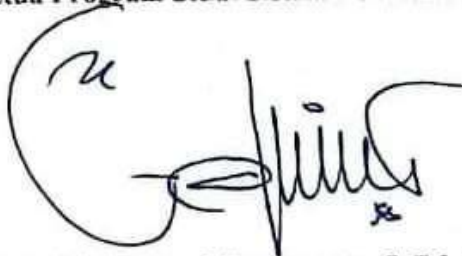
Endah Setvowati, S. T., M. T.
NIP. 199209082024062002

Pembimbing II



Alimad Fauzi, S. Si, M. T.
NIP. 920171219820915101

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Sistem Telekomunikasi**



Galura Muhammad Suranegara, S. Pd., M. T.
NIP. 920190219920111101

ABSTRAK

Perkembangan teknologi komunikasi 5G membawa perubahan besar dalam cara kita berkomunikasi dan mengakses informasi. Salah satu tantangan utamanya yaitu memastikan komputasi dan efisiensi energi berjalan optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kinerja *Dirty Paper Coding* dan *Block Diagonalization* terhadap nilai SINR, throughput, dan efisiensi energi pada sistem mmWave dengan teknik hybrid beamforming. Hybrid beamforming dipakai untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas suatu jaringan, dengan tujuan menekan penggunaan energi tanpa mengorbankan kinerja. Penelitian ini menggunakan konfigurasi antenna 128 hingga 256 elemen, dengan frekuensi 39 GHz, dengan simulasi menggunakan MATLAB. Parameter kinerja berfokus pada perhitungan SINR dan throughput, serta efisiensi energi dihitung berdasarkan rasio antara throughput dan total daya yang dikonsumsi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa DPC dan BD mampu mengurangi interferensi, dan secara signifikan dapat meningkatkan throughput, dan efisiensi energi. Namun, algoritma BD lebih unggul daripada DPC baik dari nilai SINR, throughput, maupun efisiensi energi untuk sistem mmWave.

Kata Kunci: Throughput, Efisiensi Energi, Hybrid Beamforming, *Dirty Paper Coding*, *Block Diagonalization*

ABSTRACT

The development of 5G communication technology brings major changes in the way we communicate and access information. One of the main challenges is ensuring optimal computing and energy efficiency. Therefore, this study was conducted with the aim of analyzing the performance of Dirty Paper Coding and Block Diagonalization on SINR values, throughput, and energy efficiency in mmWave systems with hybrid beamforming techniques. Hybrid beamforming is used to increase the efficiency and capacity of a network, with the aim of reducing energy consumption without sacrificing performance. This study uses an antenna configuration of 128 to 256 elements, with a frequency of 39 GHz, with simulations using MATLAB. Performance parameters focus on SINR and throughput calculations, and energy efficiency is calculated based on the ratio between throughput and total power consumed. Simulation results show that DPC and BD are able to reduce interference, and can significantly increase throughput, and energy efficiency. However, the BD algorithm is superior to DPC in both SINR values, throughput, and energy efficiency for mmWave systems.

Keywords: *Throughput, Energy Efficiency, Hybrid Beamforming, Dirty Paper Coding, Block Diagonalization*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Komunikasi 5G.....	6
2.2 Gelombang Milimeter (mmWave)	7
2.3 Hybrid Beamforming.....	7
2.3.1 Konfigurasi Hybrid Beamforming Terhubung Sebagian	10
2.3.2 Konfigurasi Hybrid Beamforming Sepenuhnya Terhubung	10
2.4 <i>Dirty Paper Coding</i> (DPC).....	10
2.4.1 Metode <i>Waterfilling</i>	11
2.5 <i>Block Diagonalization</i> (BD).....	12
2.6 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM)	13
2.7 <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> (QAM)	14
2.8 <i>Signal-to-Interference-to-Noise-Ratio</i> (SINR)	15

2.9	Throughput.....	16
2.10	Efisiensi Energi.....	17
2.10.1	Efisiensi Energi per <i>Base Station</i>	18
2.10.2	Efisiensi Energi per Bit	19
2.10.3	<i>Energy Spectral Efficiency</i> (ESE)	19
2.11	<i>Free Space Path Loss</i> (FSPL).....	20
2.12	Kapasitas Shannon.....	21
2.13	Parameter Pengujian	22
2.14	Perbandingan Literatur dengan Penelitian Terdahulu.....	23
2.14.1	Data Primer	23
2.14.2	Data Sekunder	23
BAB III METODE PENELITIAN		25
3.1	Kerangka Alur Penelitian.....	25
3.1.1	Analisis Kebutuhan	26
3.1.2	Analisis Hasil	26
3.2	Kerangka Konfigurasi Sistem.....	26
3.2.1	Identifikasi Parameter.....	28
3.2.2	Implementasi Hybrid Beamforming.....	30
3.2.3	Precoding <i>Dirty Paper Coding</i> (DPC)	31
3.2.4	Precoding <i>Block Diagonalization</i> (BD)	32
3.2.5	Kanal Transmisi	33
3.2.6	Modulasi OFDM	34
3.2.7	Transmisi Kanal dan Noise	34
3.2.8	Hybrid Combiner (<i>Receiver</i>)	34
3.2.9	Demodulasi QAM	35
3.3	Analisis Hasil Perbandingan dan Kesimpulan.....	35
3.3.1	Konsumsi Daya Pada BS.....	36
3.3.2	SINR, Throughput, dan Efisiensi Energi pada DPC	36
3.3.3	SINR, Throughput, dan Efisiensi Energi pada BD.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1	Hasil Penelitian	38

4.1.1	Kondisi Sebelum Penerapan DPC dan BD.....	38
4.1.2	Implementasi <i>Dirty Paper Coding</i> (DPC).....	39
4.1.3	Implementasi <i>Block Diagonalization</i> (BD).....	42
4.2	Pembahasan	45
4.2.1	Analisis Implementasi <i>Dirty Paper Coding</i> (DPC).....	45
4.2.2	Analisis Implementasi <i>Block Diagonalization</i> (BD).....	47
4.3	Perbandingan	49
4.3.1	Perbandingan Throughput dan EE terhadap SINR Sebelum dan Sesudah DPC dan BD	49
4.3.2	Perbandingan Throughput terhadap SINR DPC vs BD.....	50
4.3.3	Perbandingan Efisiensi Energi terhadap SINR DPC vs BD.....	51
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Simpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN		59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Key Performace Indicator (KPI) SINR.....	16
Tabel 2. 2 Parameter Analisis.....	22
Tabel 4. 1 Sebelum Menggunakan DPC dan BD.....	38
Tabel 4. 2 Hasil Throughput Terhadap SINR DPC.....	40
Tabel 4. 3 Hasil Efisiensi Energi Terhadap SINR DPC	42
Tabel 4. 4 Hasil Throughput Terhadap SINR BD	43
Tabel 4. 5 Hasil Efisiensi Energi Terhadap SINR BD	44
Tabel 4. 6 Perbandingan DPC dan BD.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian	25
Gambar 3. 2 Konfigurasi Sistem	27
Gambar 3. 3 Alur Hybrid Beamforming	30
Gambar 3. 4 Alur Precoding DPC.....	31
Gambar 3. 5 Alur Precoding BD	32
Gambar 4. 1 Throughput DPC (128 vs 256 Antena).....	40
Gambar 4. 2 Efisiensi Energi DPC (128 vs 256 Antena)	41
Gambar 4. 3 Throughput BD (128 vs 256 Antena)	43
Gambar 4. 4 Efisiensi Energi BD (128 vs 256 Antena)	44
Gambar 4. 5 Throughput DPC vs BD (256 Antena)	51
Gambar 4. 6 Efisiensi Energi DPC vs BD (256 Antena)	51

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Penjelasan	Halaman
DPC	<i>Dirty Paper Coding</i>	1
BD	<i>Block Diagonalization</i>	1
BS	<i>Base Station</i>	1
LTE	<i>Long-Term Evolution</i>	6
OBHF	<i>Orthogonal Hybrid Beamforming</i>	8
SVD	<i>Singular Value Decomposition</i>	9
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>	11
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	13
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>	14
SINR	<i>Signal-to-Interference-to-Noise-Ratio</i>	15
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>	16
ESE	<i>Energy Spectral Efficiency</i>	19
FSPL	<i>Free Space Path Loss</i>	20
LoS	<i>Line of Sight</i>	20
MS	<i>Mobile Station</i>	28
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 SK Pembimbing Skripsi	59
Lampiran 1. 2 SK Pembimbing Skripsi Bagian 2	60
Lampiran 1. 3 SK Pembimbing Skripsi Bagian 3	61
Lampiran 1. 4 Kartu Bimbingan Pembimbing 1	62
Lampiran 1. 5 Kartu Bimbingan Pembimbing 2	63
Lampiran 1. 6 WorkSpace Throughput dan EE 128 DPC.....	67
Lampiran 1. 7 WorkSpace Throughput dan EE 256 DPC.....	67
Lampiran 1. 8 WorkSpace Throughput dan EE 128 BD.....	68
Lampiran 1. 9 WorkSpace Throughput dan EE 256 BD.....	68
Lampiran 1. 10 Workspace Tanpa DPC/BD 128 Antenna.....	69
Lampiran 1. 11 Workspace Tanpa DPC/BD 256 Antenna.....	69

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, D., & Destya, S. (2023). The Impact of 5G Network Technology Transformation to Replace 4G Using the Sem Amos Method. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi Dan Komputer)*, 12(2), 212–217. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v12i2.1634>
- Ali, E., Ismail, M., Nordin, R., & Abdulah, N. F. (2017). Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview, classification, and trends for future research. In *Frontiers of Information Technology and Electronic Engineering* (Vol. 18, Issue 6, pp. 753–772). Zhejiang University. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601817>
- Aryanta, D. (2022). Analisis Kinerja Single User Troughput 5G NR pada Sel Indoor dengan Antena MIMO. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 501–502. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i3.500>
- Ding, T., Jiandong, Z., Yang, J., Jiang, X., & Liu, C. (2024). Hybrid Precoding for mmWave Massive Beamspace MIMO System with Limited Resolution Overlapped Phase Shifters Network. *IEICE TRANSACTION*, 5, 2–3. <https://doi.org/10.1587/transele.2024MMP0004>
- Enqvist, A., Demir, Ö. T., Cavdar, C., & Björnson, E. (2024). Fundamentals of Energy-Efficient Wireless Links: Optimal Ratios and Scaling Behaviors. *ArXiv*, 5, 91–101. <http://arxiv.org/abs/2409.03436>
- Feng, J., Shi, Z., Fu, Y., Wang, H., Yang, G., & Ma, S. (2023). Spectral-Efficiency and Energy-Efficiency of Variable-Length XP-HARQ. *ArXiv*, 3, 1–14. <http://arxiv.org/abs/2310.10964>
- Firdausi, A., Simbar, R. S. V., & Hadi, S. (2019). Pengenalan Teknologi 5G (Generasi Ke 5) pada Sebuah Sistem Antena Untuk Siswa/I SMA di Kembangan Utara Universitas Mercu Buana Jakarta Barat. *Jurnal Abdi Masyarakat (JAM)*, 5, 6–7.
- Gao, M., Raman, S., Sipus, Z., & Skrivervik, A. K. (2024). Analytic Approximation of Free-Space Path Loss for Implanted Antennas. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, 5(6), 1551–1560. <https://doi.org/10.1109/OJAP.2024.3421923>
- Haikal, M. F., Yunida, Y., & Nasaruddin, N. (2025). Analysis of Performance and Energy Efficiency for Multi-User MIMO 6G Network Using Beamforming Methods. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 6(2), 940–958.
- Handayani, P., & Burhanusshomad, B. (2023). Kinerja Multi-user MIMO OFDM dengan Block-Diagonalization Precoding. *Jurnal JEETech*, 4(1), 15–19. <https://doi.org/10.32492/jeetech.v4i1.4103>
- Juniandari, K. S., Usman, U. K., & Budiman, G. (2010). Analisa Pengaruh SINR (Signal to Interference Plus Noise Ratio) Sebagai Pemicu Handover pada Mobile Wimax. 5. www.tcpdf.org
- Lestari, D. A., Fahmi, A., & Pamukti, B. (2021). Alokasi Daya Kirim pada Visible Light Communication menggunakan Algoritma Waterfilling. *ELKOMIKA*:

- Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(1), 137. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i1.137>
- Li, Y., Ye, Z., Zhang, H., Wang, J., Ma, J., & Tong, W. (2024). Coded Water-Filling for Multi-User Interference Cancellation. *ArXiv*, 5(1), 1–5. <http://arxiv.org/abs/2410.14136>
- Nasir, L. A., Mustakim, H. U., & Purnama, A. A. F. (2024). Analisis Model kanal 5G terhadap Pengaruh Suhu dan Kelembaban pada Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz di Jawa Timur. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication*, 5(1). <https://doi.org/10.52435/complete.v5i1.515>
- Nasution, A., Moerni, S. Y., & Rambe, Y. S. (2024). Efisiensi Energi Berkelanjutan: Strategi Desain dan Perhitungan Optimalisasi Efisiensi Energi pada Selubung Bangunan. *MARKA*, 7(2), 167–182. <https://doi.org/10.33510/marka>
- Rao, L., Pant, M., Malviya, L., Parmar, A., & Charhate, S. V. (2021). 5G beamforming techniques for the coverage of intended directions in modern wireless communication: In-depth review. In *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* (Vol. 13, Issue 10, pp. 1039–1062). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1759078720001622>
- Ribeiro, L. N., Schwarz, S., Rupp, M., & De Almeida, A. L. F. (2018). Energy Efficiency of mmWave Massive MIMO Precoding with Low-Resolution DACs. *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, 12(2), 298–313. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2018.2824762>
- Rini, S., & Shamai, S. (2017). On the Capacity of the Carbon Copy onto Dirty Paper Channel. *ArXiv*, 2(1), 68–70. <http://arxiv.org/abs/1707.02398>
- Rizky, M., Fadillah, S. A., Juniwan, Habibi, M. Y., & Aribowo, D. (2024). Perkembangan Teknologi Jaringan 5G di Indonesia. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro Dan Informatika*, 2(3), 58–68. <https://doi.org/10.61132/jupiter.v2i3.279>
- Singh, J., Srivastava, S., & Jagannatham, A. K. (2024). Energy-Efficient Hybrid Beamforming for Integrated Sensing and Communication Enabled mmWave MIMO Systems. *ArXiv*, 5(1), 36–37. <http://arxiv.org/abs/2406.03737>
- Somazzi, A., & Garlaschelli, D. (2023). Learn your entropy from informative data: an axiom ensuring the consistent identification of generalized entropies. *ArXiv*, 4(1), 2–6. <http://arxiv.org/abs/2301.05660>
- Stone, J. V. (2019). Information Theory: A Tutorial Introduction. *ArXiv*, 3, 1–10. <http://arxiv.org/abs/1802.05968>
- Yunida, Rafli, N., Nasaruddin, & Muharar, R. (2023). Efisiensi Energi Sistem Komunikasi mmWave 5G Multi-antena Menggunakan Metode Analog dan Digital Beamforming. *KITEKTRO: Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 8(1)(1), 56–69.
- Zhang, J., Yu, X., & Letaief, K. B. (2020). Hybrid beamforming for 5G and beyond millimeter-wave systems: A holistic view. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 77–91. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2019.2959595>

Zheng, M.-M., & Ni, G. (2022). Block diagonalization of block circulant quaternion matrices and the fast calculation for T-product of quaternion tensors. *ArXiv*, 3(1), 2–10. <http://arxiv.org/abs/2212.14318>