

Efisiensi Energi Sistem Komunikasi mmWave 5G Multi-antena Menggunakan Metode Analog dan Digital Beamforming

Yunida¹, Nuzuar Rafli², Nasaruddin³, Rusdha Muharar⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7 Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

¹yunida@usk.ac.id

¹rafli@mhs.unsyiah.ac.id

³nasaruddin@usk.ac.id

⁴r.muharar@usk.ac.id

Abstrak—Sistem komunikasi seluler 5G saat ini sedang dalam tahap perkembangan yang ditandai dengan peningkatan kecepatan dan kapasitas data, jumlah pengguna, hingga ketersediaan bandwidth yang semakin lebar. Salah satu teknologi pendukung sistem komunikasi seluler 5G yang umum digunakan saat ini adalah *millimeter wave* (mmWave) dengan rentang panjang gelombang antara 1 – 10 mm dan bandwidth hingga 1 GHz. Sistem mmWave 5G memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan bandwidth dan kecepatan yang besar, akan dalam penerapannya sistem ini memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi energi dimana apabila terdapat peningkatan jumlah pengguna maka menyebabkan *overload* pada *Base Station* (BS) sehingga kinerja sistem menjadi menurun. Oleh sebab itu, penelitian ini mengintegrasikan sistem mmWave dan sistem multi-antena untuk mengimbangi keterbatasan tersebut melalui penerapan metode *Analog Beamforming* (ABF) dan *Digital Beamforming* (DBF). Perancangan jaringan seluler 5G multi-antena menggunakan dua sel makro (2 BS) dan tiap BS melayani tiga sel mikro yang masing-masing didalamnya terdapat 10 *User Equipments* (UE). Selain itu setiap BS baik pada makro dan mikro sel memiliki variasi antenna sebesar 8, 16, 32, 64, 128 dan 256 antenna. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode AB mampu memperoleh tingkat efisiensi energi yang lebih besar untuk semua jumlah antenna dibandingkan metode DB dengan selisih rata-rata sebesar 10,64%. Selain itu, jumlah antenna yang paling optimal digunakan untuk AB dan DB secara berturut-turut adalah 64 dan 16 antenna dengan perolehan efisiensi tertinggi yaitu masing-masing 55,23 dan 48,43 km².Mbps/W.

Kata Kunci— 5G, mmWave, analog beamforming, digital beamforming, efisiensi energi.

I. PENDAHULUAN

Spektrum milimeter merupakan salah satu gelombang yang umum digunakan pada sistem komunikasi 5G saat ini. Sistem gelombang milimeter atau dikenal dengan *millimeter wave* (mmWave) 5G menggunakan frekuensi yang tinggi antara 30-300 GHz untuk mentransmisikan informasi pada kecepatan data yang besar serta latensi yang lebih rendah [1–3]. Dalam implementasinya sistem mmWave 5G ini telah diintegrasikan

dengan sistem multi-antena untuk mengimbangi pertumbuhan jumlah pengguna pada area tertentu [4]. Akan tetapi peningkatan jumlah pengguna *mobile* yang diprediksi akan mencapai 8,9 miliar di akhir tahun 2024 [5] membutuhkan peningkatan dari segi cakupan area serta mengurangi konsumsi energi.

Sistem komunikasi seluler 5G di Indonesia saat ini masih dalam tahap perancangan untuk implementasi, meskipun di beberapa wilayah perkotaan di pulau Jawa dan Bali telah diimplementasikan. Salah satu penelitian terkait implementasi sistem komunikasi seluler 5G di daerah perkotaan telah dilakukan sebelumnya oleh Banday *et al.* [6] yang mendesain sistem komunikasi seluler 5G makro pada frekuensi 28 GHz. Parameter kinerja yang dianalisis fokus pada *Signal-to-Interference-to-Noise Ratio* (SINR) dengan membandingkan radiasi antenna. Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem multi-antena 8×8 menghasilkan gain kinerja yang lebih baik dan memiliki area cakupan yang lebih jauh.

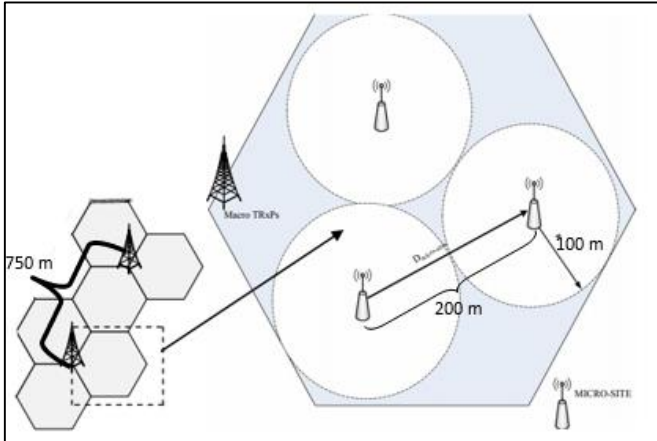
Teknologi multi-antena dapat memberikan manfaat dalam hal mengurangi rugi-rugi lintasan (*pathloss*) pada sistem mmWave [7] yang bekerja berdasarkan penggunaan beberapa rantai *Radio Frequency* (RF) per antenna. Akan tetapi penggunaan rantai RF dalam jumlah besar selanjutnya mengarah pada konsumsi energi yang tinggi serta sistem menjadi semakin kompleks. Oleh sebab itu, untuk mengimbangi hal ini telah diusulkan penerapan metode *Digital Beamforming* (DBF) dan metode *Analog Beamforming* (ABF) yang hanya membutuhkan satu rantai RF per antenna untuk mengurangi konsumsi energi serta kompleksitas perangkat keras [8].

Pada penelitian ini metode DBF dan ABF digunakan untuk menganalisis efisiensi energi yang dihasilkan melalui penggunaan beberapa jumlah antenna pada sistem mmWave 5G pada daerah urban. Tidak seperti pada penelitian terdahulu yang hanya berfokus pada jumlah antenna yang terbatas yaitu (64 atau 8×8 antenna *array*), pada penelitian ini jumlah antenna divariasikan dari 8 hingga 256 elemen antenna.

II. METODE PENELITIAN

A. *Pemodelan Sistem*

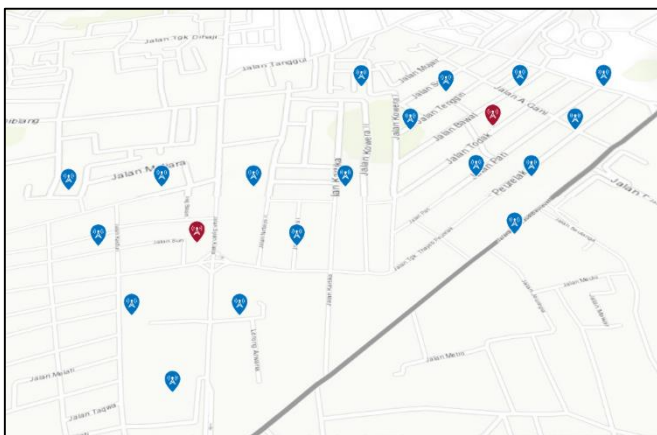
Pemodelan rancangan sistem komunikasi mmWave 5G menggunakan dua sel makro (2 BS) dimana setiap sel makro terdapat tiga sel mikro yang masing-masing melayani 10 pengguna secara bersamaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1. Setiap pengguna memiliki jarak yang berbeda terhadap BS mikro dan setiap BS mikro memiliki jarak yang sama antara satu dan lainnya yaitu sejauh 200 m.



Gambar. 1. Pemodelan sistem mmWave 5G.

B. *Lokasi Penelitian*

Lokasi penelitian yang dipilih pada penelitian ini adalah Desa Bandar Baru Kota Banda Aceh seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2 dimana BS Makro berwarna merah dan BS mikro berwarna biru. Pemilihan lokasi ini dikarenakan daerah ini merupakan wilayah yang padat dengan pengguna seluler serta strategis sebagai tempat penelitian untuk penempatan jaringan mmWave 5G dimasa mendatang. Skenario penempatan pemancar dan penerima pada penelitian ini dapat disajikan pada Tabel 1.



Gambar. 2. Lokasi penelitian.

TABLE I
SKENARIO PERANCANGAN SISTEM

| Beam-forming | Bandwidth | Frekuensi | Jumlah Antena | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | Pemancar | Penerima |
| BS Makro ke BS Mikro | | | | |
| Hanya pada BS | 2 GHz | 28 GHz | 8, 16, 32, 64, 128, dan 256 | 8, 16, 32, 64, 128, dan 256 |
| BS Mikro ke Pengguna | | | | |
| Hanya pada BS | 500 MHz | 28 GHz | 8, 16, 32, 64, 128, dan 256 | 1 |

C. *Identifikasi Parameter*

Konsumsi energi pada sistem komunikasi seluler pada BS membutuhkan 80% dari total energi yang tersedia dalam jaringan. Oleh sebab itu untuk menganalisis besarnya efisiensi energi yang dihasilkan, maka diasumsikan beberapa parameter berupa nilai berdasarkan jenis konsumsi daya yang dihasilkan pada BS seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 yang juga berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Matalatala *et al.* [9].

TABLE III
JENIS KONSUMSI DAYA PADA BS

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|---|-------|
| 1 | Daya pancar tiap cabang RF (P_T) | 1,5 W |
| 2 | Efisiensi daya penguat (η) | 50% |
| 3 | Daya <i>backhaul</i> (P_b) | 10 W |
| 4 | Daya <i>cooling system</i> (P_C) | 200 W |
| 5 | Daya penyearah (P_{rect}) | 50 W |
| 6 | Daya <i>signal processing</i> per cabang RF (P_{dsp}) | 1 W |

D. *Simulasi Beamsteer*

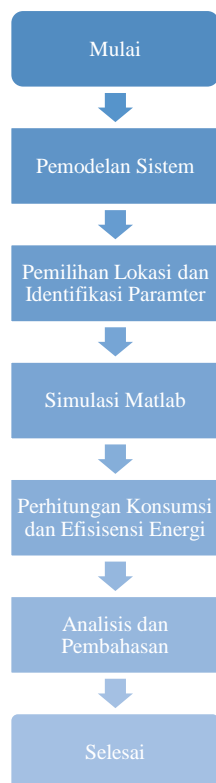
Setelah penempatan posisi BS makro dan mikro selesai selanjutnya ditentukan arah pancaran *beam* antenna menggunakan tiga arah dengan sudut 30°, 150° dan 270° untuk setiap BS makro. Pancaran ini kemudian diterima oleh ketiga BS mikro yang berjarak masing-masing 210 m, 200 m dan 350 dengan BS makro. Teknik *beamforming* digunakan pada BS makro yang kemudian di-*beamsteer* untuk memprediksi besar daya terima pada setiap BS mikro. Selanjutnya dengan menggunakan *tool* mmWave 5G pada Matlab, *side lobe* pada BS mikro dapat dimanfaatkan sebagai pantulan melalui *tool antenna Taper* yang menghasilkan 3 *main lobe* seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3.



Gambar. 3. Arah pancaran satu BS Makro setelah di-beamsteer.

E. Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam melakukan proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar. 4 yang diawali dengan pemodelan sistem dan dilanjutkan dengan pemilihan lokasi dan identifikasi beberapa parameter konsumsi daya pada BS. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan *software* Matlab untuk mensimulasikan penerapan teknik *beamforming* pada setiap BS untuk menghasilkan arah pancaran yang tepat untuk setiap pengguna. Perhitungan parameter konsumsi energi untuk sistem komunikasi mmWave 5G multi-antena dengan membandingkan kedua metode *beamforming* untuk melihat metode manakah yang paling efisien serta jumlah antena optimal yang dapat digunakan.



Gambar. 4. Tahapan penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsumsi Energi

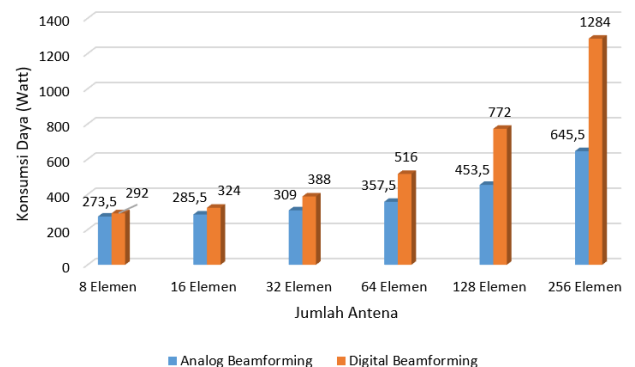
Perkembangan sistem komunikasi seluler yang semakin cepat juga berdampak buruk terhadap lingkungan dikarenakan kebutuhan energi yang besar untuk mengimbangi kebutuhan kecepatan data yang tinggi. Hal ini menjadi tantangan utama dalam mendesain suatu sistem komunikasi masa depan yang handal dan efisien [10]. Pada wilayah perkotaan penyediaan daya listrik yang cukup pada BS merupakan faktor penting dikarenakan adanya peningkatan jumlah pengguna. Untuk menghitung tingkat daya yang dibutuhkan oleh sebuah BS tergantung dari jenis metode *beamforming* yang digunakan seperti yang dirumuskan oleh persamaan berikut [9]:

$$P_{DBF} = N \cdot (P_T + P_{dsp} + \eta \cdot P_A) + P_{rect} + P_{cool} + P_b \tag{1}$$

$$P_{ABF} = N \cdot (\eta \cdot P_A) + P_T + P_{rect} + P_{cool} + P_b \tag{2}$$

dimana P_{DBF} dan P_{ABF} secara berturut-turut adalah total konsumsi daya pada BS untuk metode DBF dan ABF; N adalah jumlah antena BS; P_T adalah daya transmisi pada setiap cabang RF; P_A adalah daya penguat (amplifier); P_{rect} adalah daya pengkonversi AC ke DC atau penyearah; η adalah efisiensi unit penguat yang diperoleh dari rasio antara P_T dan P_A pada penelitian ini digunakan nilai sebesar 50%; P_{dsp} adalah daya unit *Digital Signal Processing* (DSP); P_{cool} adalah daya perangkat pendingin; dan P_b adalah daya saluran *backhaul*.

Pada Gambar. 5 menunjukkan bahwa semakin banyak antena yang digunakan maka semakin besar konsumsi dayanya. Pada analog *beamforming* konsumsi daya dari 8 elemen sampai 256 elemen berturut-turut adalah 273,5 W, 285,5 W, 309 W, 357,5 W, 453,5 W dan 645,5 W. Sedangkan pada *Digital Beamforming*, konsumsi daya pada *Digital Beamforming* berturut-turut dari 8 elemen sampai 256 elemen adalah 292 W, 324 W, 388 W, 516 W, 772 W dan 1284 W. Selain itu, grafik ini juga menunjukkan bahwa konsumsi daya pada DBF lebih besar dibandingkan dengan *Analog* ABF dengan selisih berturut-turut sebesar 18,5 W, 38,5 W, 79 W, 158,5 W, 318,5 W dan 638,5 W.



Gambar. 5. Grafik perbandingan konsumsi daya untuk sistem komunikasi mmWave 5G multi-antena dengan metode ABF dan DBF.

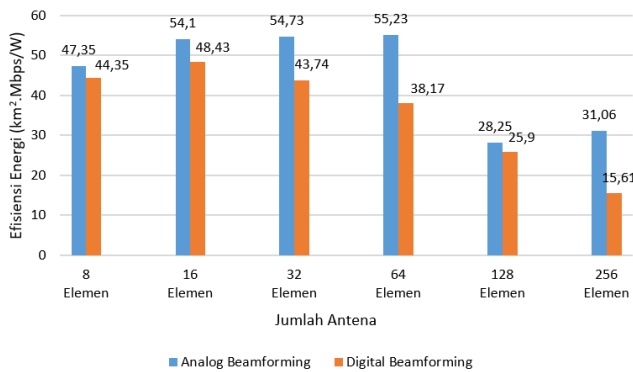
B. Efisiensi Energi

Untuk menganalisis besarnya efisiensi energi pada penelitian ini, digunakan persamaan berikut [10]:

$$EE = \frac{A \cdot B \cdot U}{P_{EL}} \quad (3)$$

dimana A adalah luas area yang dicakup oleh BS (km^2); U adalah jumlah pengguna yang dilayani; B adalah *Bit rate* berdasarkan *base station* (Mbps); dan P_{EL} konsumsi daya dari *base station* yang terbagi dua yaitu P_{DBF} atau P_{ABF} .

Pada Gambar. 6 menunjukkan bahwa penggunaan jumlah antenna yang berbeda menunjukkan efisiensi yang berbeda. Seperti pada ABF besar efisiensinya dari antenna 8 elemen berturut-turut sampai 256 elemen yaitu 22,11, 17,64, 11,87, 6,48, 3,2 dan 1,86 $\text{km}^2 \cdot \text{Mbps}/\text{W}$. Sedangkan pada DBF, besar efisiensi energinya dari antenna 8 elemen sampai 256 elemen berturut-turut yaitu 29,12, 25,63, 18,68, 10,79, 6,42 dan 3,7 $\text{Mbps} \cdot \text{km}^2/\text{W}$. Berdasarkan grafik pada tersebut menunjukkan ABF rata-rata 10,64 % lebih efisien energinya daripada DBF.



Gambar. 6 Grafik perbandingan efisiensi energi untuk sistem komunikasi mmWave 5G multi-antena dengan metode ABF dan DBF.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan dan menganalisis efisiensi energi dari perancangan suatu sistem komunikasi mmWave 5G multi-antena di wilayah Banda Aceh dengan metode ABF dan DBF. Selain itu terdapat variasi jumlah antenna pada BS yaitu dari 8, 16, 32, 64, 125, hingga 256 antenna untuk mendapatkan jumlah antenna yang optimal untuk melayani semua pengguna dalam satu sel mikro. Berdasarkan hasil

simulasi diperoleh bahwa metode ABF lebih unggul dibandingkan DBF dalam hal meningkatkan efisiensi energi yaitu dengan selisih sebesar 10,65%. Serta jumlah antenna yang optimal untuk menangani jumlah 10 pengguna dalam satu sel mikro secara bersamaan secara berurutan untuk ABF dan DBF adalah 64 antenna dan 16 antenna. Adapun tantangan penelitian selanjutnya adalah melakukan kombinasi kedua metode tersebut agar menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Universitas Syiah Kuala dengan nomor hibah: 030/UN11.2.1/PT.01.03/PNBP/2022.

REFERENSI

- [1] J. Du, E. Onaran, D. Chizhik, S. Venkatesan and R. A. Valenzuela, "Gbps user rates using mmWave relayed backhaul with high-gain antennas," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 6, pp. 1363-1372, June 2017
- [2] J. G. Andrews et al., "What will 5G be?," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065-1082, June 2014.
- [3] T. S. Rappaport et al., "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-349, 2013.
- [4] F. Boccardi et al., "Five disruptive technology directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74-80, Feb. 2014.
- [5] Ericsson Mobility Report, pp. 1-32, Nov. 2018.
- [6] Y. Banday, G. M. Rather, and G. R. Begh, "SINR analysis and interference management of macrocell cellular networks in dense urban environments," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 111, no. 3, pp. 1645-1665, April 2020.
- [7] S. Han et al., "Large-scale antenna systems with hybrid analog and digital beamforming for millimeter wave 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 1, pp. 186-194, Jan. 2015.
- [8] O. E. Ayach et al., "The capacity optimality of beam steering in large millimeter wave MIMO systems," in *Proc. IEEE Int. Workshop Signal Process. Advances Wireless Commun. (SPAWC)*, June 2012, pp. 100-104.
- [9] M. Matalatala, M. Deruyck, E. Tanghe, L. Martens, and W. Joseph, "Performance evaluation of 5G millimeter-wave cellular access networks using a capacity-based network deployment tool," *Mob. Inf. Syst.*, vol. 2017, 2017.
- [10] F. Richter, A. J. Fehske, dan G. P. Fettweis, "Energy efficiency aspects of base station deployment strategies for cellular networks," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, 2009, pp. 0-4.