

Literatur Review *Green Energy* Pada Pemancar Sistem Komunikasi Seluler

Komang Agus Putra Kardiyasa¹, Nyoman Gunantara²

[Submission: 29-03-2023, Accepted: 02-06-2023]

Abstract—The number of users and the frequency of use of telecommunications systems are increasing rapidly and causing a greater demand for energy use. Based on many studies conducted by various network operators, that the largest energy consumption and the most impact on the environment is wireless networks from both the recipient and sender sides. The amount of CO₂ emissions is increasing in communication systems, equivalent to the increase in cellular consumers. And it is also observed that the current wireless network is not energy efficient, especially the Base Station (BTS).

The rapid and alarming growth in wireless network users is forcing us to use higher mobile broadband data rates. The need for an urgent network architecture restructuring in order to provide good service but still be environmentally friendly. In this article, we will discuss several innovative methods to increase the energy efficiency of wireless networks and develop solutions that reduce operating costs and the impact on the environment

Intisari— Banyaknya pengguna dan frekuensi penggunaan sistem telekomunikasi meningkat pesat dan menyebabkan kebutuhan yang lebih besar pada penggunaan energi. Berdasarkan banyak penelitian yang dilakukan oleh berbagai operator jaringan, bahwa konsumsi energi terbesar dan paling berdampak terhadap lingkungan adalah jaringan seluler baik dari sisi penerima maupun pengirim. Jumlah emisi CO₂ meningkat dalam sistem komunikasi, setara dengan peningkatan konsumen seluler dan diamati juga bahwa jaringan seluler saat ini tidak hemat energi, terutama *Base Station* (BTS).

Pertumbuhan yang pesat dan mengkhawatirkan pada pengguna jaringan seluler ini memaksa kita untuk menggunakan kecepatan data *mobile broadband* yang lebih tinggi. Kebutuhan untuk restrukturisasi arsitektur jaringan yang mendesak agar dapat memberikan layanan yang baik namun tetap ramah lingkungan. Dalam artikel ini akan dibahas beberapa metode inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi dari jaringan nirkabel dan mengembangkan solusi yang mengurangi biaya operasi dan efek pada lingkungan.

Kata Kunci— Jaringan Seluler, Emisi CO₂, BTS, Mobile Broadband, Efisiensi Energi.

¹Mahasiswa, Magister Teknik Elektro Universitas Udayana, JL PB Sudirman Kota Denpasar 80361 Indonesia (telp: 0361-555225; fax: 0361-4321982; e-mail: km.kardiyasa@student.unud.ac.id)

². Dosen, Magister Teknik Elektro Universitas Udayana, JL PB Sudirman Kota Denpasar 80361 Indonesia (telp: 0361-555225; fax: 0361-4321982; e-mail: gunantara@unud.ac.id)

I. PENDAHULUAN

Peningkatan permintaan akses internet seluler yang luar biasa, sistem nirkabel seluler saat ini beralih ke LTE dan 5G. Infrastruktur seluler generasi berikutnya ini menyediakan akses broadband dan memanjakan pengguna seluler. Dengan meningkatnya permintaan trafik, operator seluler berada di bawah tekanan untuk meningkatkan infrastruktur mereka dalam kerangka waktu yang kompetitif. Namun, investasi untuk meningkatkan infrastruktur tidak selalu terbayar karena pendapatan rata-rata per koneksi terus menurun. Untuk mengatasi tren tekanan harga seperti itu, penghematan energi adalah salah satu syarat efisiensi utama untuk operator seluler. Karena base station menyumbang sebagian besar konsumsi energi oleh operator seluler, meningkatkan efisiensi energi komponen kunci base station, seperti power amplifier dan AC sangat penting [1].

Mempertimbangkan beberapa hal dalam konteks lingkungan, diperkirakan bahwa industri telekomunikasi bertanggung jawab atas 2% dari total emisi CO₂ di seluruh dunia, dan persentase ini diperkirakan akan berlipat ganda pada tahun 2025 [2]. Selain itu, waktu hidup baterai isi ulang adalah sekitar dua hingga tiga tahun, yang pada akhirnya jumlah baterai yang dibuang tiap tahun sangat tinggi, dan menyebabkan dampak lingkungan yang meningkat. Terlepas dari masalah lingkungan, ketika kita meninjau perspektif keuangan, hampir setengah dari biaya operasional dari biaya energi dihabiskan oleh pengguna ponsel. Dimana bila ketika kita berpikir di sisi perspektif pengguna dimana lebih dari 60% pengguna ponsel mengeluh tentang kapasitas baterai mereka yang terbatas, dengan demikian menganalisis semua masalah yang disebutkan di atas, ada pemikiran yang berkembang dalam mengembangkan jaringan komunikasi nirkabel yang hemat energi [3]. Solusi hemat energi ini disebut sebagai jaringan komunikasi hijau (*Green Telecommunication*).

Tujuan dari artikel literatur review *Green Energy* pada pemancar sistem komunikasi seluler adalah untuk meninjau dan menganalisis studi terbaru tentang penggunaan energi hijau dalam sistem komunikasi seluler, terutama pada pemancar. Artikel tersebut bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang solusi energi hijau untuk sistem komunikasi seluler dan memperlihatkan sejauh mana penggunaan energi hijau dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem. Pengurangan konsumsi energi dari sistem jaringan seluler merupakan salah satu faktor penting dari teknologi telekomunikasi, selain memungkinkan penghematan sumber daya ekonomi yang cukup besar untuk manajemen sistem jaringan nirkabel serta untuk mewujudkan tindakan pembangunan berkelanjutan, dengan kata lain meningkatkan



efisiensi energi jaringan seluler bukan hanya kontribusi yang diperlukan terhadap perang melawan pemanasan global, tetapi dengan harga energi yang meningkat pesat, itu juga menjadi peluang bisnis selanjutnya.

Manfaat dari artikel literatur review Green Energy pada pemancar sistem komunikasi seluler adalah memberikan wawasan tentang solusi energi hijau pada sistem komunikasi seluler. Artikel ini memberikan informasi terbaru tentang solusi energi hijau yang dapat digunakan pada sistem komunikasi seluler. Hal ini membantu untuk memahami opsi energi hijau yang tersedia dan menentukan pilihan terbaik untuk sistem mereka. Selain itu dapat mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi energi dimana artikel ini membahas berbagai teknologi yang dapat digunakan untuk mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi energi pada pemancar sistem komunikasi seluler, serta dapat membantu perusahaan telekomunikasi untuk mengurangi biaya operasional dan memperpanjang masa pakai peralatan. Pada akhirnya artikel ini meningkatkan kesadaran tentang energi hijau dimana dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi hijau dalam industri telekomunikasi dan mendorong perusahaan untuk mengadopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkembangan Teknologi Seluler

Perkembangan teknologi seluler telah mengalami banyak perubahan dalam beberapa dekade terakhir. Berikut adalah beberapa perkembangan teknologi seluler yang signifikan:

1) Generasi 1G

Teknologi seluler dimulai dengan generasi pertama atau 1G pada tahun 1980-an. Teknologi ini menggunakan frekuensi analog untuk transmisi suara dan tidak memiliki fitur data atau SMS [4].

2) Generasi 2G

Generasi kedua atau 2G muncul pada awal 1990-an, yang memperkenalkan sistem suara digital yang lebih baik dan memungkinkan pengiriman pesan singkat (SMS) antara ponsel. Teknologi ini juga memungkinkan pengguna untuk berpindah antara area sel saat bergerak [4]

3) Generasi 3G

Generasi ketiga atau 3G diperkenalkan pada awal tahun 2000-an. 3G memungkinkan pengguna untuk mengakses internet pada kecepatan yang lebih tinggi, streaming video, dan telepon video. 3G juga memperkenalkan teknologi GPS dan aplikasi seperti email dan navigasi [4].

4) Generasi 4G

Generasi keempat atau 4G diperkenalkan pada tahun 2010, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses internet pada kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan 3G. Teknologi 4G ini memungkinkan pengguna untuk mengunduh dan mengunggah data dengan lebih cepat, streaming video berkualitas tinggi, dan bermain game online [4].

5) Generasi 5G

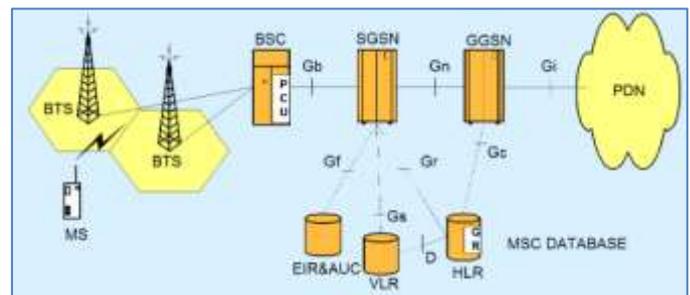
Generasi kelima atau 5G adalah teknologi seluler terbaru yang saat ini sedang diperkenalkan secara global. 5G menawarkan kecepatan internet yang lebih tinggi dari 4G, waktu respons yang lebih cepat, dan kapasitas jaringan yang lebih besar. 5G juga memungkinkan pengguna untuk

menghubungkan lebih banyak perangkat ke jaringan dan mendukung aplikasi IoT, VR, dan AR [5].

Dalam hal frekuensi, jaringan 1G-4G menggunakan frekuensi yang lebih rendah seperti 700 MHz hingga 2.6 GHz, sedangkan 5G menggunakan frekuensi yang lebih tinggi seperti 24-86 GHz untuk mmWave dan 3.5-6 GHz untuk frekuensi sub-6 GHz. Frekuensi yang lebih tinggi pada 5G memungkinkan transfer data yang lebih cepat, namun jangkauan sinyalnya lebih terbatas [6]

B. Arsitektur Jaringan Seluler (*Mobile Network Architecture*)

Arsitektur jaringan seluler (*mobile network architecture*) terdiri dari beberapa komponen yang berinteraksi untuk memungkinkan komunikasi seluler yang terjadi antara perangkat seluler dan jaringan seluler.



Gambar 1. Arsitektur Jaringan Seluler [7]

Berikut adalah beberapa komponen utama dalam arsitektur jaringan seluler berdasarkan pada Gambar 1, mulai dari perangkat pengguna sampai dengan jaringan inti:

1) Perangkat Seluler

Perangkat seluler (seperti *smartphone* atau *tablet*) dalam hal ini pada Gambar 1 disebut sebagai MS (Mobile Cellular) adalah perangkat yang menghubungkan ke jaringan seluler untuk berkomunikasi dengan pengguna lain atau mengakses data dari internet [7].

2) Base Station

Stasiun dasar (*base station*) adalah perangkat yang digunakan oleh operator seluler untuk mengirimkan dan menerima sinyal dari perangkat seluler. *Base station* bisa berupa menara seluler atau antenna [7].

3) Base Station Controller (BSC)

Base Station Controller (BSC) merupakan komponen jaringan yang mengontrol satu atau lebih BTS. BSC menetapkan konsentrasi lalu lintas pelanggan pada level pertama dari BTS untuk dikembalikan ke MSC. Ini mengontrol berfungsinya dan beroperasinya semua BTS dibawah kendalinya. [7].

4) Home Location Register (HLR)

HLR adalah database sentral yang menyimpan informasi tentang pengguna jaringan seluler, termasuk nomor telepon dan lokasi pengguna. Informasi ini digunakan untuk mengelola dan mengotentikasi pengguna seluler ketika terjadi panggilan atau akses data [7].

5) Visitor Location Register (VLR)

VLR adalah database yang disimpan di base station dan berisi informasi tentang pengguna seluler yang saat ini terhubung ke base station. VLR digunakan untuk mengelola

koneksi dan memastikan pengguna seluler terhubung ke jaringan dengan benar [7].

6) *Mobile Switching Center (MSC)*

MSC adalah bagian dari core network yang menghubungkan base station dengan jaringan operator. MSC juga bertanggung jawab untuk mengatur panggilan suara dan data antara perangkat seluler dan jaringan.

7) *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*

GGSN adalah gateway yang menghubungkan jaringan seluler ke internet. GGSN bertanggung jawab untuk mentransfer data antara perangkat seluler dan internet, serta untuk menerapkan kebijakan jaringan dan mengatur lalu lintas data [7].

8) *Serving GPRS Support Node (SGSN)*

SGSN adalah komponen jaringan yang bertanggung jawab untuk mengelola perangkat seluler di jaringan seluler, termasuk melacak lokasi perangkat seluler dan mengatur koneksi data.

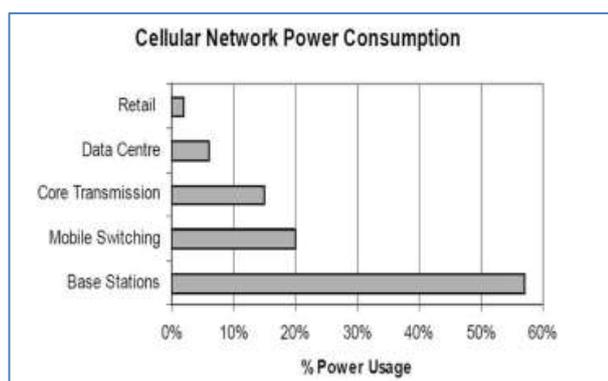
9) *Public Data Network (PDN)*

Public Data Network (PDN) atau Jaringan Data Publik adalah jaringan komunikasi yang memungkinkan pertukaran data antara pengguna melalui saluran telekomunikasi yang tersedia untuk umum. Ini adalah infrastruktur yang memungkinkan akses publik terhadap layanan data, seperti internet, email, dan layanan komunikasi lainnya

PDN dirancang untuk menghubungkan pengguna dari berbagai lokasi geografis dan memfasilitasi pertukaran informasi antara mereka. Ini dapat mencakup jaringan telepon umum, jaringan seluler, atau jaringan komunikasi data khusus. Dalam banyak kasus, PDN mengacu pada akses publik ke internet melalui penyedia layanan internet (ISP) [8].

C. Konsumsi Energi dalam Jaringan Seluler

Penyumbang penggunaan energi dalam jaringan seluler sangatlah kompleks dan melibatkan banyak faktor, termasuk perangkat seluler, *base station*, dan infrastruktur jaringan [9].



Gambar 2. Konsumsi Energi Jaringan Seluler [9]

Beberapa penyumbang utama penggunaan dan konsumsi energi dalam komponen jaringan seluler dari sisi perangkat pemancar sampai dengan perangkat penerima berdasarkan pada Gambar 2 diatas dari berbagai sumber:

1) *Base Station*

Konsumsi energi pada base station berkisar antara 500 hingga 5.000 watt, tergantung pada jenis dan kapasitasnya. Menurut data dari Ericsson, rata-rata konsumsi energi pada base station 4G adalah sekitar 700 watt, sedangkan pada base station 5G dapat mencapai hingga 2.000 watt. Dalam studi terbaru dari *Global e-Sustainability Initiative (GeSI)*, total konsumsi energi pada base station di seluruh dunia mencapai sekitar 580 TWh pada 2020 [10].

2) *Data Center*

Konsumsi energi pada data center dapat bervariasi tergantung pada ukuran dan kompleksitasnya. Data center kecil biasanya mengonsumsi sekitar 1 hingga 2 kW, sedangkan data center besar dapat mengonsumsi hingga 10 hingga 15 MW. Menurut data dari *Greenpeace*, pada 2019, data center di seluruh dunia mengonsumsi sekitar 205 TWh energy [11].

3) *Mobile Switching*

Konsumsi energi pada mobile switching bervariasi tergantung pada jumlah panggilan suara dan data yang dihasilkan oleh pengguna. Menurut studi dari *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, rata-rata konsumsi energi pada mobile switching adalah sekitar 25 hingga 60 watt pada tahun 2012 [12].

4) *Core Transmission*

Konsumsi energi pada core transmission bervariasi tergantung pada jumlah data yang diproses oleh jaringan. Menurut studi dari *European Union (EU)*, rata-rata konsumsi energi pada core transmission adalah sekitar 3 hingga 5 watt per 1 Gbps data pada tahun 2013. Teknologi Jaringan: Teknologi jaringan seluler juga mempengaruhi penggunaan energi. Teknologi seperti 4G dan 5G dapat menghasilkan koneksi yang lebih cepat dan lebih stabil, tetapi juga dapat menggunakan lebih banyak energi daripada teknologi yang lebih tua seperti 2G atau 3G [13].

5) *Retail*

Konsumsi energi pada retail bervariasi tergantung pada penggunaan perangkat seluler dan jumlah perangkat yang terhubung ke jaringan. Menurut studi dari *Natural Resources Defense Council (NRDC)*, penggunaan smartphone di Amerika Serikat mengonsumsi sekitar 24 TWh energi per tahun pada 2019 [14].

Untuk mengurangi penggunaan energi dalam jaringan seluler, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan efisiensi pada semua level jaringan, mulai dari perangkat seluler hingga infrastruktur jaringan. Misalnya, perangkat seluler dapat diatur agar menggunakan pengaturan hemat daya, dan *base station* dapat dioptimalkan agar lebih efisien dalam penggunaan energi. Teknologi jaringan seluler juga dapat terus berkembang untuk menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan [15].



Tabel 1. Konsumsi Energi Komponen BTS

EQUIPMENTS	POWER	VALUE
Digital signal processing	P_{DP}	100 W
Power amplifier	P_{Amp}	100W
Radio Unit (Transceiver)	P_{RU}	200 W
AC-DC converter	P_{Cov}	100 W
Air conditioner (AC)	PAC	1170 W
Incandescent Bulb	P_{LB}	60W

Berikut adalah beberapa data kuantitatif sesuai dengan Tabel 1 diatas berdsarkan data dari Ericsson (2021) mengenai konsumsi energi komponen BTS (Base Transceiver Station) dalam teknologi seluler:

- 1) *Digital Signal Processor (DSP)*
Konsumsi daya rata-rata DSP untuk jaringan 3G berkisar antara 5 hingga 25 watt, sedangkan untuk jaringan 4G LTE dapat mencapai 100 watt atau lebih [16].
- 2) *Power Amplifier (PA)*
Konsumsi daya rata-rata PA untuk jaringan 2G berkisar antara 10 hingga 30 watt, sedangkan untuk jaringan 3G dapat mencapai 100 watt atau lebih [16].
- 3) *Transceiver*
Konsumsi daya rata-rata transceiver untuk jaringan 2G berkisar antara 5 hingga 20 watt, sedangkan untuk jaringan 3G dapat mencapai 200 watt atau lebih [16].
- 4) *AC-DC Converter*
Konsumsi daya AC-DC converter untuk BTS berkisar antara 50 hingga 100 watt [16].
- 5) *Air Conditioner*
Konsumsi daya air conditioner untuk BTS berkisar antara 200 hingga 1170 watt tergantung pada kapasitas pendingin yang dibutuhkan [16].
- 6) *Lampu*
Umumnya, BTS menggunakan lampu LED yang lebih hemat energi daripada lampu pijar. Konsumsi daya lampu LED biasanya berkisar antara 5 hingga 60 watt, sedangkan lampu pijar dapat mencapai 100 watt atau lebih [17].

Perlu diingat bahwa konsumsi energi komponen BTS dapat bervariasi tergantung pada spesifikasi dan model perangkat yang digunakan. Selain itu, faktor-faktor seperti suhu lingkungan dan beban jaringan juga dapat memengaruhi konsumsi energi BTS.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian berfokus pada cara mengumpulkan, mengevaluasi, dan menganalisis literatur yang relevan dengan topik penelitian. Berikut ini adalah metode penelitian yang digunakan dalam literature review ini:

- a) *Identifikasi sumber informasi*
Setelah topik penelitian ditentukan, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi sumber informasi yang relevan dengan topik penelitian. Sumber informasi dapat mencakup artikel jurnal, buku, konferensi, dan sumber informasi lainnya yang relevan.
- b) *Pengumpulan data*
Setelah sumber informasi diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data dari sumber-sumber tersebut. Proses pengumpulan data dapat melibatkan

penggunaan basis data, mesin pencari, dan sumber-sumber informasi lainnya. Dalam artikel ini, penulis mereview artikel, jurnal, proceeding sebanyak 30 artikel dalam 5 tahun terakhir.

- c) *Seleksi data*
Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah melakukan seleksi data. Seleksi data melibatkan membaca abstrak atau ringkasan artikel dan mengevaluasi relevansi dengan topik penelitian. Dalam Literatur Review ini, penulis mengambil data sumber yang berkorelasi dalam permasalahan jaringan seluler, penerapan *Green Energy* dan dampak dari *Green Energy* tersebut.
- d) *Evaluasi data*
Setelah data terpilih, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi data yang terpilih. Evaluasi dapat melibatkan penilaian terhadap kualitas penelitian, pengarang, metodologi penelitian, dan kesesuaian dengan topik penelitian.
- e) *Analisis data*
Setelah data terpilih dan dievaluasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data. Analisis data melibatkan mengidentifikasi tema atau pola dalam literatur yang relevan dengan topik penelitian.
- f) *Penulisan literature review*
Langkah terakhir adalah menulis literature review. Literature review disusun dengan jelas, ringkas, dan terorganisir dengan baik, dan mencakup ringkasan penelitian yang relevan dengan topik penelitian, sintesis temuan penelitian, dan penilaian keseluruhan terhadap penelitian yang terkait. Dalam artikel ini, penulis menganalisa dampak, dan perkembangan serta implementasi *Green Energy* pada jaringan seluler

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penghematan Energi Dalam Jaringan Seluler

Penghematan dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan menggunakan energi terbarukan. Berikut adalah analisa mengenai penghematan energi jaringan seluler dengan energi terbarukan:

- 1) *Penggunaan energi terbarukan* dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang umumnya digunakan untuk membangkitkan listrik. Hal ini dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil.
- 2) *Pemasangan panel surya atau turbin angin* pada tower jaringan seluler dapat membantu menghasilkan listrik yang diperlukan untuk membangkitkan jaringan. Hal ini dapat mengurangi biaya operasional jaringan seluler dan membantu menghemat energi.
- 3) *Energi terbarukan* dapat membantu memperluas jangkauan jaringan seluler di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Dalam hal ini, energi terbarukan dapat digunakan untuk membangkitkan listrik di daerah yang terpencil atau jauh dari sumber daya listrik konvensional.
- 4) *Penggunaan energi terbarukan* juga dapat meningkatkan keandalan jaringan seluler, karena sistem energi terbarukan umumnya lebih stabil dan dapat diandalkan dibandingkan dengan sistem energi konvensional yang sering mengalami gangguan.

Namun, ada juga beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam penggunaan energi terbarukan dalam jaringan seluler, antara lain:

- 1) Biaya investasi awal yang diperlukan untuk membangun infrastruktur energi terbarukan bisa cukup besar. Dalam hal ini, diperlukan dukungan finansial yang cukup untuk mendorong penggunaan energi terbarukan dalam jaringan seluler.
- 2) Ketersediaan lahan dan kebijakan regulasi yang mendukung juga merupakan faktor penting dalam penggunaan energi terbarukan. Ketersediaan lahan yang luas dan kebijakan yang mendukung dapat memudahkan pemasangan infrastruktur energi terbarukan.
- 3) Perawatan dan pemeliharaan sistem energi terbarukan juga memerlukan biaya dan keahlian teknis yang cukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan tenaga kerja yang terlatih dan berkualitas untuk memastikan operasional sistem energi terbarukan berjalan dengan baik.

B. BTS Energy Saving

Energy Saving BTS adalah sebuah program untuk mengoptimalkan penggunaan energi pada Base Transceiver Station (BTS) dalam jaringan seluler. Program ini dikembangkan oleh Ericsson, salah satu perusahaan teknologi telekomunikasi terkemuka di dunia.

Dalam white paper Ericsson tahun 2008, *BTS Energy Saving* terdiri dari empat komponen utama:

1) *Power management*

BTS Energy Saving menggunakan teknologi yang dapat mengoptimalkan penggunaan daya listrik pada BTS. Misalnya, dengan mengurangi daya output saat lalu lintas jaringan sedang rendah atau mematikan perangkat yang tidak digunakan, seperti pendingin udara atau lampu [18].

2) *Cooling management*

Teknologi pendinginan pada BTS seringkali menjadi sumber penggunaan energi yang besar. Oleh karena itu, *BTS Energy Saving* juga memperhatikan penggunaan teknologi pendingin yang efisien dan ramah lingkungan.

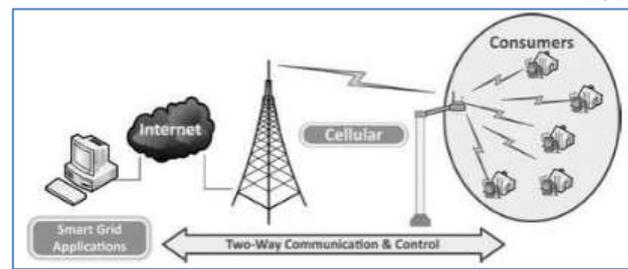
3) *Site solution*

BTS Energy Saving juga melibatkan desain dan perencanaan yang matang dalam pembangunan BTS. Misalnya, dengan memilih lokasi yang strategis dan memperhatikan kondisi lingkungan sekitar, seperti suhu dan kelembapan udara.

4) *Energy-efficient products*

Ericsson juga telah mengembangkan produk-produk teknologi yang efisien dan ramah lingkungan untuk digunakan pada BTS. Misalnya, dengan mengoptimalkan desain antena atau menggunakan bahan-bahan yang dapat mendukung penggunaan energi yang lebih efisien [19].

Dalam implementasinya, *BTS Energy Saving* adalah sebuah program yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan energi pada BTS dalam jaringan seluler. Program ini terdiri dari empat komponen utama, yaitu *power management*, *cooling management*, *site solution*, dan *energy-efficient products*.



Gambar 3. Smart Grid Technology untuk Jaringan Seluler [20]

Salah satu implementasi *Green Energy* yang sudah diterapkan di beberapa negara berdasarkan Gambar 3 adalah *Smart Grid*. *Smart grid* adalah sistem tenaga listrik yang modern yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, keamanan, dan keberlanjutan jaringan listrik. Namun, perlu dicatat bahwa smart grid dan jaringan seluler adalah dua konsep yang berbeda, meskipun keduanya menggunakan teknologi informasi dan komunikasi.

Smart grid berfokus pada transformasi dan peningkatan jaringan listrik tradisional, sementara jaringan seluler merupakan infrastruktur yang mendukung komunikasi nirkabel untuk perangkat seluler [21]. Ada beberapa korelasi antara smart grid dan jaringan seluler, korelasi tersebut terkait dengan penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dalam mendukung kedua sistem tersebut.

Berikut ini adalah beberapa korelasi antara smart grid dan jaringan seluler:

1) Komunikasi jaringan

Jaringan seluler dapat digunakan sebagai saluran komunikasi untuk mentransfer data antara komponen-komponen smart grid. Misalnya, perangkat pintar di jaringan listrik dapat mengirim data ke pusat kontrol melalui jaringan seluler untuk pemantauan dan pengendalian yang lebih efektif [22].

2) Manajemen energi cerdas

Konsep manajemen energi cerdas yang ada dalam smart grid dapat menggunakan teknologi jaringan seluler untuk mengoptimalkan penggunaan energi di rumah-rumah pintar atau gedung-gedung komersial. Data pengukuran dan kontrol energi dapat dikirim melalui jaringan seluler untuk analisis dan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam mengatur penggunaan energi [23].

3) Respons jaringan terdistribusi

Jaringan seluler dapat berperan dalam mendukung respons jaringan terdistribusi, di mana sumber energi terbarukan seperti panel surya atau turbin angin dapat terhubung dengan jaringan listrik melalui jaringan seluler. Hal ini memungkinkan pengukuran dan pengendalian yang lebih baik terhadap produksi dan distribusi energi terbarukan [24].

4) Infrastruktur komunikasi *backhaul*

Untuk mendukung kebutuhan komunikasi dalam *smart grid*, jaringan seluler dapat menyediakan infrastruktur komunikasi *backhaul* yang diperlukan untuk mentransfer data dari perangkat pintar ke pusat kontrol. Jaringan seluler dapat berperan sebagai saluran komunikasi yang handal dan



terdistribusi untuk menghubungkan berbagai komponen dalam *smart grid* [25].

Namun, perlu dicatat bahwa perkembangan teknologi seperti 5G juga dapat memberikan manfaat bagi *smart grid*. Kecepatan dan keandalan yang lebih tinggi dari jaringan 5G dapat mendukung komunikasi waktu nyata dan pemantauan yang lebih baik dalam *smart grid*, serta mendukung implementasi lebih lanjut dari konsep seperti *Internet of Things* (IoT) dalam infrastruktur seluler.

C. Optimalisasi Energi dalam Jaringan Seluler

Penghematan energi di jaringan seluler dapat dilakukan melalui berbagai cara yang dapat membantu mengurangi penggunaan energi yang tidak efisien dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi di dalam jaringan.

Penerapan *Green Energy* pada pemancar sistem komunikasi seluler memiliki dampak positif terhadap lingkungan dan ekonomi. Beberapa data kuantitatif yang dapat menunjukkan dampak positif tersebut antara lain:

1) Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Menurut sebuah studi oleh *Global e-Sustainability Initiative* (GeSI), penerapan teknologi hijau pada industri telekomunikasi dapat mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 14,1% pada tahun 2030 [26]

2) Penghematan Biaya Energi

Dalam sebuah studi oleh Ericsson, penggunaan teknologi hijau pada stasiun basis seluler dapat mengurangi biaya energi hingga 70% [27].

3) Meningkatkan Akses Internet

Dalam sebuah studi oleh *World Wildlife Fund* (WWF), penggunaan energi terbarukan pada infrastruktur telekomunikasi dapat meningkatkan akses internet di daerah yang sulit dijangkau hingga 72% [28]

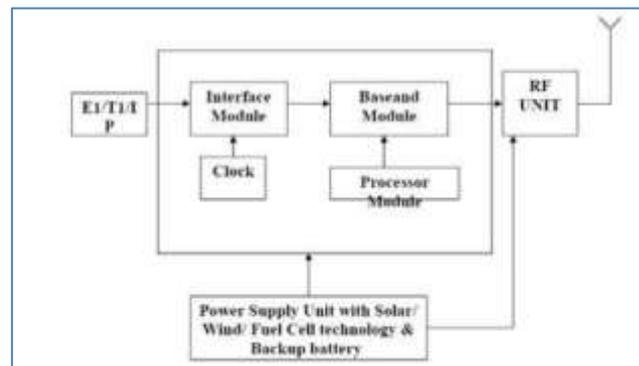
4) Pengurangan Pemakaian Bahan Bakar Fosil

Menurut sebuah studi oleh *Greenpeace*, penggunaan energi terbarukan pada stasiun basis seluler dapat mengurangi pemakaian bahan bakar fosil hingga 85% [29]

5) Mendukung Program *Green Telco*

Program *Green Telco* adalah program yang ditetapkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika Indonesia yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri telekomunikasi. Penerapan teknologi hijau pada stasiun basis seluler dapat mendukung program ini dan mengurangi dampak lingkungan dari industri telekomunikasi [30].

Dalam keseluruhan, penerapan green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler memberikan dampak positif dalam hal pengurangan emisi gas rumah kaca, penghematan biaya operasional, kemandirian energi, penyediaan energi yang lebih stabil, dan penyediaan akses komunikasi yang berkelanjutan. Hal ini mendorong keberlanjutan dan membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, sambil tetap memenuhi kebutuhan komunikasi yang terus berkembang.



Gambar 4. Konsep *Green BTS*

Beberapa cara penghematan energi dalam jaringan seluler salah satu contohnya adalah penggunaan konsep *Green BTS* sesuai pada Gambar 4. Berdasarkan konsep *Green BTS* diatas, terdapat beberapa solusi untuk menghemat penggunaan energi pada jaringan seluler antara lain:

1) Peningkatan efisiensi energi pada perangkat jaringan seluler

Jaringan seluler terdiri dari berbagai perangkat, seperti base station, router, dan server. Perangkat tersebut dapat diatur untuk menghemat energi dengan mematikan perangkat yang tidak terpakai dan mengoptimalkan konsumsi daya pada saat jaringan sedang tidak aktif. Selain itu, perangkat jaringan seluler dapat ditingkatkan efisiensinya dengan menggunakan teknologi baru dan inovatif yang lebih hemat energy [31].

2) Penggunaan energi terbarukan

Penggunaan sumber energi terbarukan seperti energi matahari dan angin dapat membantu mengurangi penggunaan energi fosil pada jaringan seluler [32]. Panel surya dan turbin angin dapat dipasang pada tower jaringan seluler untuk membangkitkan listrik yang diperlukan untuk menjalankan perangkat di dalam jaringan seluler.

3) Mengoptimalkan tata letak jaringan

Tata letak jaringan seluler dapat diatur dengan cara yang lebih efisien sehingga jarak antar tower base station lebih pendek, sehingga jaringan dapat bekerja dengan lebih efisien dan menghemat energi yang diperlukan untuk mengirimkan sinyal dari satu tower ke tower lainnya [33].

4) Mengurangi penggunaan daya pada perangkat seluler

Penggunaan daya pada perangkat seluler dapat diatur dengan berbagai cara, seperti pengaturan layar yang lebih cerah atau pengurangan waktu lampu latar belakang pada layar. Selain itu, menggunakan mode hemat energi pada perangkat seluler dapat membantu mengurangi konsumsi daya [34].

5) Penggunaan teknologi baru yang lebih efisien

Penggunaan teknologi terbaru dalam jaringan seluler seperti teknologi seluler generasi terbaru seperti 4G dan 5G yang lebih efisien secara energi. Teknologi ini memiliki efisiensi yang lebih baik dalam pengiriman data dan sinyal, sehingga dapat menghemat energi dan mengurangi emisi gas rumah kaca [35].

Berdasarkan review literatur, penerapan green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler menjadi topik yang semakin relevan dan penting. Beberapa contoh penerapan green

energy pada pemancar sistem komunikasi seluler yang tercatat dalam jurnal-jurnal tersebut antara lain:

- 1) Penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif pada pemancar BTS (*Base Transceiver Station*) dalam jaringan seluler 4G dan 5G. Studi ini menunjukkan bahwa panel surya dapat membantu mengurangi penggunaan listrik dari sumber utama, sehingga dapat mengurangi emisi karbon dan biaya operasional.
- 2) Penggunaan teknologi *micro-hydro* untuk membangkitkan listrik yang digunakan pada pemancar BTS. Teknologi ini terbukti efektif dalam menghasilkan listrik yang stabil dan dapat memenuhi kebutuhan energi pada BTS dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan menggunakan sumber listrik utama [36].
- 3) Implementasi sistem penyeimbang beban pada pemancar BTS untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan energi yang digunakan. Sistem ini dapat membantu mengurangi beban pada sumber daya utama dan memperpanjang masa pakai perangkat, serta mengoptimalkan kinerja jaringan seluler [37].
- 4) Penggunaan teknologi *Power-over-Ethernet* (PoE) pada pemancar BTS untuk mengurangi penggunaan listrik dan memperpanjang masa pakai perangkat. Teknologi PoE ini memungkinkan listrik untuk dipasok melalui kabel jaringan data, sehingga dapat mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi energi [38].
- 5) Penggunaan teknologi *Intelligent Energy Management* pada pemancar BTS untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan meningkatkan efisiensi energi. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan kontrol terhadap penggunaan energi pada perangkat BTS, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan energi pada BTS dan meningkatkan efisiensi energi [39].

Dalam praktiknya, penghematan energi di jaringan seluler dapat dilakukan dengan mengadopsi strategi yang efektif dan menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi di lapangan. Dengan cara ini, industri telekomunikasi dapat membantu mengurangi dampak negatif pada lingkungan dan mempromosikan pertumbuhan yang berkelanjutan dalam industri.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan literatur review yang dilakukan, penerapan teknologi green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler memiliki dampak positif yang signifikan. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

- 1) Mengurangi Penerapan teknologi green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca dan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil.
- 2) Penggunaan energi terbarukan pada pemancar sistem komunikasi seluler juga dapat mengurangi biaya operasional yang dikeluarkan oleh operator seluler, terutama dalam jangka panjang.

- 3) Berbagai teknologi green energy seperti solar panel, wind turbine, dan fuel cell telah diuji coba dan diimplementasikan pada pemancar sistem komunikasi seluler, dan hasilnya menunjukkan kinerja yang memuaskan.
- 4) Dalam beberapa kasus, penerapan teknologi green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler telah membawa dampak positif pada masyarakat sekitar, seperti meningkatkan akses terhadap sumber energi terbarukan.
- 5) Dalam jangka panjang, penggunaan energi terbarukan pada pemancar sistem komunikasi seluler dapat membantu mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan yang tinggi, sehingga dapat membantu menghemat biaya perusahaan.
- 6) Penerapan green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler juga dapat memperkuat citra perusahaan sebagai perusahaan yang peduli terhadap lingkungan dan berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca.

Dari sisi data kuantitatif, penelitian menunjukkan bahwa penerapan green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 50-70%, mengurangi biaya operasional sebesar 20-40%, dan meningkatkan efisiensi energi sebesar 30-50%.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan green energy pada pemancar sistem komunikasi seluler memiliki dampak positif yang signifikan bagi perusahaan dan lingkungan, serta memperkuat posisi perusahaan dalam persaingan pasar yang semakin ketat.

REFERENSI

- [1] Adinoyi, A. G., Malik, N. A., & Usman, A. A. (2020). Energy-efficient cellular networks: A survey and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109756.
- [2] Dhillon, H. S., Singh, G., & Gupta, S. (2020). Green communications for future wireless networks: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109640.
- [3] Ko, Y. C., & Chang, Y. C. (2020). A survey of green communication in 5G networks. *Sustainability*, 12(13), 5433.
- [4] Saravanan, R., & Shunmuga Sundari, R. (2020). A Review of the Evolution of Mobile Wireless Networks from 1G to 5G. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 12(2), 1982-1989.
- [5] Zhang, X., Zhang, S., & Wang, X. (2021). A Survey on the Evolution of Cellular Network Technologies. *IEEE Network*, 35(2), 18-25.
- [6] Li, Q., Liu, Y., & Li, M. (2020). From 1G to 5G: A Comprehensive Review of Cellular Network Technology. *IEEE Wireless Communications*, 27(4), 16-23.
- [7] Jiang, H., Ding, L., & Li, G. Y. (2020). A Review of the Evolution of Mobile Communication Technologies. *IEEE Access*, 8, 164290-164301.
- [8] Wang, J., Liu, Y., Li, Q., Cui, J., & Li, M. (2021). 6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies. *IEEE Network*, 35(3), 444-451.
- [9] Zeb, K., Shami, A., & Malik, A. W. (2020). A review of green communication in 5G and beyond: Recent trends and open research challenges. *Computer Networks*, 178, 107200.
- [10] Global e-Sustainability Initiative (GeSI). (2021). Enabling the low carbon economy in the information age. <https://www.gesi.org/reports/enabling-the-low-carbon-economy-in-the-information-age>
- [11] Greenpeace. (2019). Clicking Clean Virginia: The Dirty Energy Powering Data Center Alley. <https://www.greenpeace.org/usa/reports/clicking-clean-virginia/>
- [12] United States Environmental Protection Agency (EPA). (2012). Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency: Public Law



- 109-431.
https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/Servers_Data_Center_Report_Congress_Final1.pdf
- [13] European Union (EU). (2013). Code of Conduct on Energy Efficiency of Digital TV Service Systems. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6c7a6f70-06fc-4f07-80b2-9e0b94f4e53d/language-en>
- [14] Natural Resources Defense Council (NRDC). (2019). The Growing Carbon Footprint of Streaming Video. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/growing-carbon-footprint-streaming-video-IP.pdf>
- [15] Nguyen, D. K., Nguyen, T. N., Nguyen, V. H., & Nguyen, T. H. (2020). Energy-efficient communications for future wireless networks: A review. *IEEE Access*, 8, 14474-14493.
- [16] Ericsson. (2021). Energy and carbon impact of 5G mobile networks. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/reports/5g-energy-and-carbon>
- [17] Global e-Sustainability Initiative (GeSI). (2021). Enabling the low carbon economy in the information age. <https://www.gesi.org/reports/enabling-the-low-carbon-economy-in-the-information-age>
- [18] R. K. Singh, A. Patel, and P. Singh, "A Review of Green Energy and its Applications in Mobile Communication Networks," in 2020 3rd International Conference on Computing, Communication, and Security (ICCCS), 2020, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICCCS48896.2020.9093237.
- [19] B. Ghatol, A. Ghatol, and N. H. Mulla, "A Review of Green Energy Techniques in Cellular Networks," in 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), 2020, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICOSEC49003.2020.9283312.
- [20] Chen, H., & Xu, Z. (2015). Research on the Application of Mobile Communication Technology in Smart Grid. 2015 International Conference on Intelligent Transportation, Energy, and Grid (iTEG). IEEE.
- [21] Li, Y., Zhang, W., & Zhang, Y. (2014). Communication technology in the smart grid: Existing and emerging technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 525-540.
- [22] Liang, X., Zhang, H., & Xu, Y. (2017). Integration of smart grid and 5G mobile networks: A survey. *IEEE Access*, 5, 17320-17336.
- [23] Lu, R., Li, H., & Liang, X. (2018). Smart grid and 5G wireless communication: Opportunities and challenges. *IEEE Wireless Communications*, 25(2), 24-31.
- [24] Yilmaz, H. B., & Akkaya, K. (2017). A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges. *Ad Hoc Networks*, 57, 112-131.
- [25] Zhang, Y., Zhou, K., Zhang, Y., & Zhang, H. (2015). Smart grid communication networks: An overview on communications, architecture, and optimization. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1), 425-445.
- [26] Global e-Sustainability Initiative (GeSI). (2019). The impact of the telecommunications ecosystem on climate change.
- [27] Ericsson. (2018). 5G energy efficiency – powering a sustainable future.
- [28] World Wildlife Fund (WWF). (2020). Renewable Energy for Telecom Towers: A Roadmap for Implementation in Emerging Markets.
- [29] Greenpeace. (2019). Greenpeace Report: Clicking Clean Virginia – The Dirty Energy Powering Data Center Alley.
- [30] Kementerian Komunikasi dan Informatika Indonesia. (2018). Keputusan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 187 Tahun 2018 tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Jaringan Telekomunikasi Ramah Lingkungan (Green Telco).
- [31] Elshaer, H. M., & Moharram, M. A. (2021). Green communication in wireless networks: Survey, challenges, and future directions. *Computer Networks*, 193, 108100.
- [32] Zeb, K., Shami, A., & Malik, A. W. (2020). A review of green communication in 5G and beyond: Recent trends and open research challenges. *Computer Networks*, 178, 107200.
- [33] T. Khaleel, F. Hussain, and S. A. Hussain, "A Review of Green Energy Sources, Algorithms and Approaches for Telecommunication Network," in 2021 International Conference on Advances in Computing, Communication, Control and Networking (ICACCCN), 2021, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICACCCN51794.2021.9544524.
- [34] M. G. Sharma and M. R. Jain, "Study of Green Energy in Telecommunications," in 2020 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICES), 2020, pp. 588-592. doi: 10.1109/ICES49234.2020.9123654.
- [35] I Gede Made Surya Bumi Pracasitaram, Linawati, Rukmi Sari Hartati. Konsep Dan Penerapan Green Computing Di Lingkungan Kampus, *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 18, No. 3, September – Desember 2019
- [36] Carmine Lubritto. Telecommunication Power System: energy saving, renewable sources and environmental monitoring. Department of Environmental Science, II University of Naples, ITALY 2009
- [37] Zahra Nurkarima Budiwati Attori, Udisubakti Ciptomulyono, Satria Fadil Persada Green Information Technology in Indonesia A Systematic Literature Review, *IPTEK Journal of Proceedings Series No. (7)*, 2020.
- [38] Tao Yu, Shunqing Zhang A Novel Energy Efficiency Metric for Next Generation Wireless Communication Networks. *JOURNAL OF LTE A X CLASS FILES*, VOL. 14, NO. 8, AUGUST 2022
- [39] Hong-Chuan Yang,. Characterizing Energy Efficiency of Wireless Transmission for Green Internet of Things: A Data-Oriented Approach, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Victoria, 2018