

Evaluasi Efisiensi Biaya dan Kinerja High Power Repeater dalam Optimalisasi Jaringan Telekomunikasi

¹Eko Prastia Firmansyah

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi ISTN, Jakarta
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia 12640
e-mail: 1ekoprastia@gmail.com

Abstrak

Optimalisasi jaringan telekomunikasi perlu mempertimbangkan aspek kualitas layanan, cakupan jaringan, kapasitas, serta efisiensi biaya dan energi. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk memperluas cakupan layanan pada wilayah dengan kepadatan trafik rendah hingga sedang adalah High Power Repeater (HPR). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efisiensi biaya dan kinerja HPR dibandingkan dengan Base Transceiver Station (BTS) konvensional. Metode penelitian dilakukan melalui studi kasus, analisis konfigurasi jaringan, pengukuran parameter kualitas sinyal, serta analisis biaya investasi dan operasional. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi Received Signal Reference Power (RSRP), Reference Signal Received Quality (RSRQ), throughput, latency, dan aspek keandalan jaringan. Analisis biaya mencakup biaya investasi, operasional, energi, dan pemeliharaan. Berdasarkan hasil analisis, penggunaan HPR menunjukkan potensi penghematan biaya dibandingkan pembangunan BTS baru, terutama pada wilayah dengan kebutuhan kapasitas rendah hingga sedang. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kinerja HPR sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal sumber dari BTS serta kondisi lingkungan propagasi. Dengan demikian, HPR dapat menjadi salah satu alternatif optimalisasi jaringan pada kondisi tertentu, dengan tetap mempertimbangkan kebutuhan kapasitas, kualitas sinyal sumber, dan karakteristik wilayah layanan.

Kata kunci: *High Power Repeater, BTS, efisiensi biaya, RSRP, RSRQ, optimalisasi jaringan, telekomunikasi*

Abstract

Optimizing a telecommunications network needs to take into account service quality, network coverage, capacity, as well as cost and energy efficiency. One option that can be used to expand service coverage in areas with low to medium traffic density is a High Power Repeater (HPR). This study aims to evaluate the cost efficiency and performance of HPR compared to conventional Base Transceiver Stations (BTS). The research method involves case studies, network configuration analysis, signal quality measurements, and analysis of investment and operational costs. The performance parameters analyzed include Received Signal Reference Power (RSRP), Reference Signal Received Quality (RSRQ), throughput, latency, and network reliability. Cost analysis covers investment, operational, energy, and maintenance costs. Based on the results, using HPR shows potential for cost savings compared to building new BTS, especially in areas with low to medium capacity needs. Research also shows that the performance of HPR is greatly influenced by the quality of the source signal from the BTS and the propagation environment conditions. Therefore, HPR can be one of the network optimization alternatives in certain conditions, while still taking into account capacity needs, source signal quality, and the characteristics of the service area.

Keywords: *High Power Repeater, BTS, cost efficiency, RSRP, RSRQ, network optimization, telecommunications*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komunikasi seluler dan peningkatan penggunaan layanan data mendorong kebutuhan akan jaringan telekomunikasi yang memiliki cakupan luas, kualitas layanan yang baik, kapasitas yang memadai, serta tingkat keandalan yang tinggi. Pertumbuhan trafik data yang terus meningkat menyebabkan operator telekomunikasi perlu melakukan optimalisasi jaringan secara berkelanjutan guna mempertahankan kualitas layanan pada berbagai kondisi trafik dan karakteristik wilayah.

Salah satu infrastruktur utama dalam jaringan seluler adalah Base Transceiver Station (BTS). Pembangunan BTS baru merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan cakupan dan kapasitas jaringan. Namun, implementasinya membutuhkan investasi yang relatif besar karena melibatkan perangkat radio, antena, sistem catu daya, transmisi, infrastruktur pendukung, serta biaya operasional dan pemeliharaan. Kondisi tersebut menjadi salah satu pertimbangan bagi operator, khususnya pada wilayah yang memiliki kebutuhan trafik rendah hingga sedang, di mana pembangunan BTS baru belum tentu memberikan tingkat efisiensi investasi yang optimal.

Salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk meningkatkan cakupan jaringan adalah High Power Repeater (HPR). HPR bekerja dengan memanfaatkan sinyal dari BTS sumber, kemudian menerima, memperkuat, dan memancarkan kembali sinyal tersebut ke area yang mengalami keterbatasan cakupan. Konsep tersebut memungkinkan peningkatan cakupan tanpa harus membangun infrastruktur BTS secara lengkap. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, teknologi repeater dapat digunakan untuk memperluas cakupan sinyal dari BTS sumber ke area dalam maupun sekitar bangunan yang mengalami keterbatasan sinyal. Dengan demikian, HPR dapat menjadi alternatif khususnya pada lokasi yang membutuhkan peningkatan coverage tetapi belum membutuhkan pembangunan BTS baru.

Selain untuk memperluas cakupan, teknologi repeater juga dapat mendukung

implementasi jaringan secara lebih fleksibel pada lingkungan indoor. **Gambar 2** menunjukkan konsep flexible networking yang memungkinkan sinyal 4G dan 5G dari sumber jaringan didistribusikan melalui perangkat yang lebih sederhana untuk melayani area dalam gedung. Konsep tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan peningkatan coverage tidak selalu harus dipenuhi melalui pembangunan BTS baru, tetapi dapat menggunakan solusi jaringan yang lebih fleksibel sesuai dengan karakteristik bangunan, kebutuhan layanan, dan kondisi jaringan yang tersedia.

Coverage Enhancement for Small Building

The mBDAs amplify wireless signal from a base station and enable coverage inside building and underground subway



Gambar 1. Penyaluran sinyal Ilustrasi Peningkatan Cakupan Menggunakan High Power Repeater (HPR)

High Power Repeater (HPR) menawarkan alternatif yang menjanjikan. Dengan biaya instalasi dan operasional yang lebih rendah, HPR mampu memperluas jangkauan sinyal tanpa memerlukan infrastruktur BTS yang lengkap. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi biaya dan kinerja HPR dibandingkan BTS, serta memberikan rekomendasi penggunaannya di berbagai skenario jaringan.

Flexible Networking(2/2)

Flexible 4G and 5G in one single box, most suitable for newly buildings or enterprise campus.



Gambar 2. Network Ilustrasi Flexible Networking untuk Distribusi Sinyal 4G dan 5G pada Gedung

Dari sisi implementasi, penggunaan HPR memiliki potensi keuntungan berupa kebutuhan infrastruktur yang lebih sederhana serta biaya investasi dan

operasional yang lebih rendah dibandingkan pembangunan BTS baru. Namun demikian, efektivitas HPR tidak hanya ditentukan oleh kemampuan penguatan sinyal. Kinerja HPR juga dipengaruhi oleh kualitas sinyal sumber, konfigurasi antena, jarak antara HPR dan BTS sumber, kondisi propagasi, interferensi, serta karakteristik trafik pada area layanan. Oleh karena itu, HPR tidak dapat diposisikan sebagai pengganti BTS secara umum, melainkan sebagai alternatif teknologi yang perlu dievaluasi berdasarkan kondisi jaringan dan kebutuhan layanan pada suatu wilayah. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan analisis yang tidak hanya mempertimbangkan kemampuan teknologi dalam meningkatkan cakupan jaringan, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi biaya implementasi dan operasional. Perbandingan antara HPR dan BTS konvensional menjadi penting terutama pada wilayah dengan kebutuhan trafik rendah hingga sedang, di mana peningkatan coverage tetap diperlukan tetapi pembangunan BTS baru berpotensi menghasilkan investasi yang kurang optimal.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi biaya dan kinerja jaringan HPR dibandingkan dengan BTS konvensional pada skenario wilayah dengan kebutuhan trafik rendah hingga sedang. Penelitian difokuskan pada perbandingan aspek teknis, khususnya kualitas sinyal dan kualitas layanan, serta aspek ekonomi melalui analisis biaya implementasi dan Total Cost of Ownership (TCO). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi mengenai kondisi atau skenario jaringan yang lebih sesuai untuk penggunaan HPR maupun BTS konvensional, sehingga operator dapat menentukan strategi optimalisasi jaringan yang mampu memenuhi kebutuhan kualitas layanan sekaligus meningkatkan efisiensi investasi dan biaya operasional.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

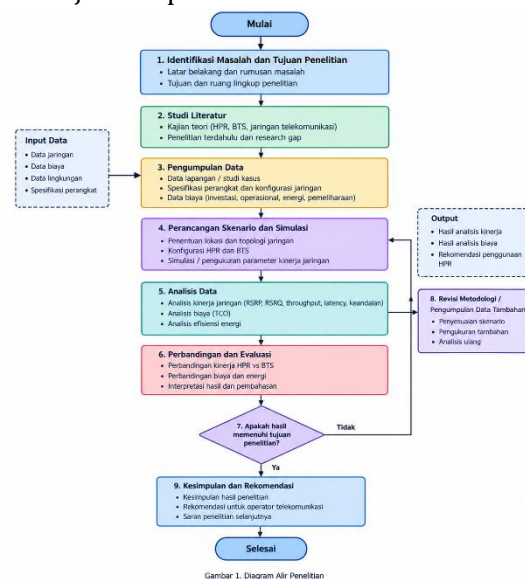
Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan dukungan analisis deskriptif. Evaluasi dilakukan melalui

perbandingan antara skenario jaringan menggunakan HPR dan skenario jaringan menggunakan BTS sebagai infrastruktur pembanding.

Tahapan penelitian terdiri atas:

1. Identifikasi kebutuhan cakupan jaringan;
2. Identifikasi kondisi dan kualitas sinyal dari BTS sumber;
3. Penentuan skenario implementasi HPR;
4. Pengukuran atau simulasi parameter kinerja jaringan;
5. Pengumpulan komponen biaya investasi dan operasional;
6. Perbandingan kinerja HPR dengan BTS;
7. Analisis efisiensi biaya dan energi; dan
8. Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengukuran dan analisis.

Secara umum, alur penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.2 Skenario Implementasi

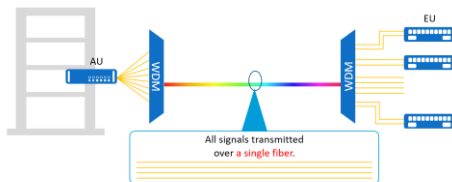
Penelitian dilakukan pada skenario wilayah dengan tingkat kebutuhan trafik rendah hingga sedang. HPR ditempatkan pada lokasi yang masih memperoleh sinyal dari BTS sumber tetapi memiliki keterbatasan kualitas cakupan pada area layanan.

Konfigurasi HPR terdiri atas sisi donor yang menerima sinyal dari BTS sumber dan sisi service yang memancarkan

kembali sinyal ke area yang membutuhkan peningkatan cakupan.

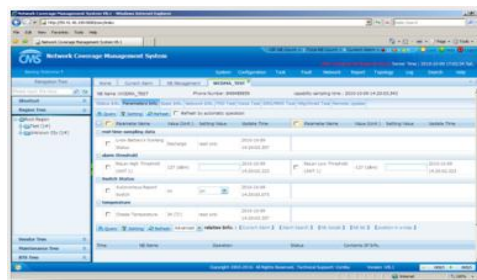
Parameter konfigurasi yang digunakan dalam penelitian meliputi:
 Data dikumpulkan dari :

1. Studi kasus: Implementasi HPR (Gambar 4) di berbagai wilayah dengan tingkat permintaan jaringan rendah hingga sedang.



Gambar 4. Skenario Implementasi

2. Simulasi dan Pengumpulan Data Kinerja Jaringan: Menggunakan perangkat lunak simulasi dan sistem monitoring jaringan untuk memperoleh data kinerja HPR dan BTS pada berbagai kondisi. Parameter yang dianalisis meliputi RSRP, RSRQ, throughput, latency, serta parameter pendukung lainnya. Gambar 5 menunjukkan antarmuka Network Coverage Management System (CMS) yang digunakan untuk memonitor dan mengelola parameter jaringan selama proses pengumpulan data. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk melakukan perbandingan kinerja antara HPR dan BTS.



Gambar 5. Monitoring

Analisis biaya: Membandingkan biaya investasi, operasional, dan pemeliharaan antara HPR dan BTS.

Indikator utama yang dianalisis meliputi:

- Total biaya kepemilikan (TCO)
- Kualitas layanan (QoS), termasuk throughput, latensi, dan keandalan
- Rasio efisiensi energi

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Efisiensi Biaya

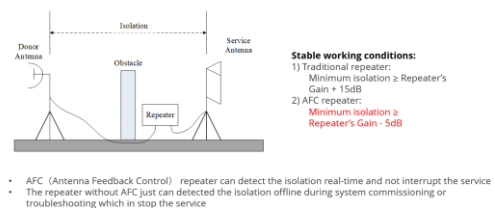
Hasil analisis menunjukkan bahwa:

- Biaya investasi: HPR memerlukan biaya awal hingga 50% lebih rendah dibandingkan BTS.
- Biaya operasional: Penggunaan HPR mengurangi konsumsi energi hingga 40%, menghasilkan penghematan signifikan dalam jangka panjang.

3.2 Kinerja Jaringan

Simulasi menunjukkan bahwa HPR mampu menyediakan kualitas layanan yang memadai untuk wilayah dengan kebutuhan lalu lintas data rendah hingga sedang. Namun, kinerja HPR sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal sumber, konfigurasi antenna, serta tingkat isolasi antara donor antenna dan service antenna. Tingkat isolasi yang tidak memadai dapat menyebabkan interferensi atau osilasi pada repeater sehingga memengaruhi kestabilan dan kualitas layanan. Gambar 6 menunjukkan konsep minimum isolation requirement pada implementasi HPR, yaitu kebutuhan isolasi antara donor antenna dan service antenna untuk menjaga repeater tetap beroperasi secara stabil. Oleh karena itu, penentuan posisi dan jarak antarantenna menjadi salah satu faktor penting dalam implementasi HPR.

Feature - Minimum Isolation Requirement

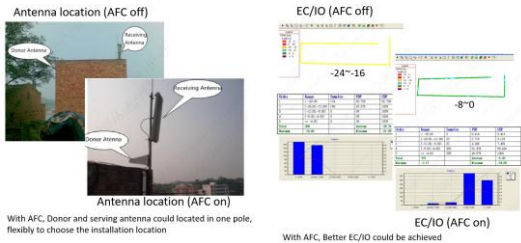


Gambar 6. Topologi HPR

Ilustrasi Minimum Isolation Requirement pada Implementasi HPR

Selain tingkat isolasi, konfigurasi dan penempatan antenna juga berpengaruh terhadap kualitas kinerja HPR. Gambar 7 menunjukkan perbandingan konfigurasi penempatan antenna dengan kondisi AFC (Antenna Feedback Control) aktif dan nonaktif. Pada konfigurasi dengan AFC, sistem dapat melakukan pengendalian

terhadap feedback yang terjadi sehingga memungkinkan penggunaan konfigurasi antena yang lebih fleksibel serta membantu meningkatkan kondisi Echo Cancellation (EC)/isolation. Hasil tersebut menunjukkan bahwa optimasi penempatan antena dan penggunaan fitur pengendalian feedback dapat menjadi faktor penting dalam memperoleh kinerja HPR yang optimal.



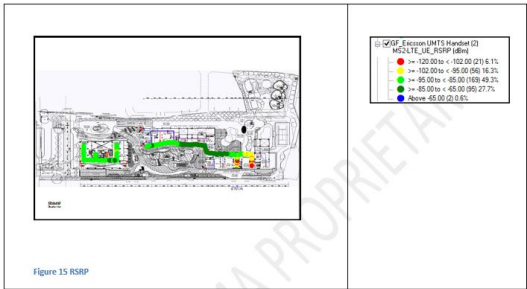
Gambar 7. Hasil Pengukuran Perbandingan Konfigurasi Penempatan Antena dan Performa EC/Isolation dengan AFC

Meskipun HPR mampu meningkatkan cakupan jaringan dengan kebutuhan infrastruktur yang relatif lebih sederhana, teknologi ini tetap memiliki keterbatasan dari sisi kapasitas. Oleh karena itu, HPR lebih sesuai diterapkan pada wilayah dengan kebutuhan trafik rendah hingga sedang, sedangkan wilayah dengan trafik tinggi dan kebutuhan kapasitas yang besar lebih tepat dipertimbangkan menggunakan BTS atau solusi jaringan dengan kapasitas yang lebih tinggi.

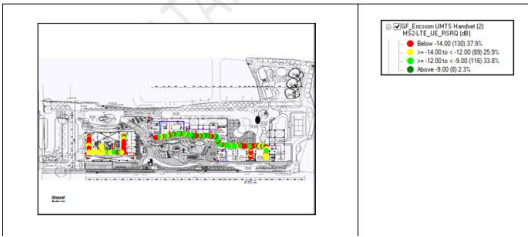
3.3 Tantangan dan Batasan

Meskipun efisien, HPR memiliki beberapa keterbatasan, seperti:

- Pengaruh terhadap latensi jaringan
- Ketergantungan pada sinyal input yang kuat dari BTS terdekat



Gambar 8. RSRP



Gambar 9. RSRQ

4. Kesimpulan

High Power Repeater adalah solusi yang efisien untuk mengoptimalkan jaringan telekomunikasi di wilayah dengan permintaan layanan rendah hingga sedang. Meskipun memiliki beberapa batasan, keunggulannya dalam hal biaya operasional dan efisiensi energi menjadikannya pilihan yang menarik bagi operator telekomunikasi. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan HPR sebagai bagian dari strategi optimalisasi jaringan, dengan catatan bahwa analisis kebutuhan spesifik tetap dilakukan sebelum implementasi.

Parameter	Value					
	GF	1 Floor	10 Floor	11 Floor	22 Floor	23Floor
Call Attempt	3	3	3	3	3	3
Call Setup Failure	0	0	1	0	0	1
Call Drop	1	1	1	1	2	3
Handover Attempt	0	0	0	0	0	0
Handover Failure	0	0	0	0	0	0
SHO-Handover Attempt	0	0	0	0	0	0
SHO-Handover Failure	0	0	0	0	0	0
ISHO Attempt	0	0	0	0	0	0
ISHO Failure	0	0	0	0	0	0
% Call Drop	50,0%	50%	50%	50,0%	50%	50%
RSCP ≥ -95dBm (%)	0%	6,6%	8,0%	6,4%	6,6%	8,0%
RSCP ≥ -85dBm (%)	100%	93,4%	0%	93,6%	93,4%	0%
Ec/No ≥ -14dB (%)	74,3%	88,2%	19,7%	95,3%	99,2%	99%
Ec/No ≥ -12dB (%)	25,7%	11,8%	38,5%	4,7%	1,8%	1%
% CPICH BLER (<=1%)	80%	61,4%	53%	50,6%	55,1%	50%
CPICH RSCP (Avg)	-77,554	-87,678	-80,761	-82,519	-87,957	-79,821
CPICH Ec/No (Avg)	-9,569	-8,183	-7,312	-8,569	-8,183	-7,312
CPICH BLER (Avg)	0	0	0	0	0	0
RxLev Sub ≥ -85dBm (%)	-	-	-	-	-	-
RxQual Sub ≤ 5 (%)	-	-	-	-	-	-
RxLev (Avg)	-	-	-	-	-	-
RxQual (Avg)	-	-	-	-	-	-
C/I	15,042	15,043	15,005	15,012	15,051	15,042
SIR	0	0	0	0	0	0
CST (S)	72,12	54,37	50,40	78,61	15,37	50,40
CST ≤ 9 sec (%)	100,0%	100,0%	50,0%	100,0%	100,0%	50,0%
% CSSR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
% CCSR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
% HOSR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
% Distribution	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
% SHO SR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
% ISHO SR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
MOS	-	-	-	-	-	-
MOS ≥ 3 (%)	-	-	-	-	-	-

Gambar 10. Compliance Report

Rekomendasi

- Melakukan uji coba lapangan secara ekstensif untuk memahami batasan kinerja HPR.
- Mengembangkan sistem monitoring berbasis AI untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan HPR.

- Mengkombinasikan HPR dengan solusi jaringan lainnya untuk mencapai cakupan yang optimal.



High Power Repeater	
Analog	Digital
Single-band	Dual Band
N78	N78
1 sub-band	1 sub-band
100MHz	Full bandwidth
43dBm	
90dB	
> 2,000m ²	

Gambar 11. HPR Modul

Daftar Pustaka

- Chang, Y., & Lee, K. (2020)**, "Cost Efficiency Analysis of Network Optimization Techniques", Journal of Telecommunication Engineering, 34(2), 123-135.
- Comba Telecom (2023)**, "Innovative Repeater Solutions for Indoor and Outdoor Coverage", Comba Telecom Whitepaper.
- ITU Reports (2022)**, "Telecommunication Optimization Strategies", Geneva: International Telecommunication Union.
- Lopez, M., & Choi, S. (2022)**, "Optimizing Signal Propagation in Skyscrapers: Challenges and Solutions", Journal of Building Connectivity, 12(2), 67-81.
- Patel, R., & Singh, A. (2019)**, "High Power Repeaters in Rural Telecommunication Networks", International Conference on Network Optimization, 45-56.
- Rahman, S., & Kim, J. (2020)**, "Impact of High Power Repeaters on Indoor Signal Coverage: A Case Study", Wireless Network Review, 10(3), 145-156.
- Smith, J., & Ahmed, R. (2021)**, "Distributed Antenna Systems and Their Impact on Modern Telecommunication", Global Wireless Conference Proceedings, 78-89.
- Tan, H. & Zhao, L. (2018)**, "Energy-Efficient Network Planning in Urban Telecommunication Systems", Telecom Journal International, 22(4), 200-214.

Wang, D., & Xu, R. (2023), "5G and the Role of Repeaters in Network Scalability", Future Telecom Innovations, 8(1), 34-48.

Zhou, X., & Liang, P. (2019), "Comparative Analysis of BTS and Repeater Deployments in Dense Urban Environments", Asia Pacific Telecom Research, 15(7), 89-98.