

PERENCANAAN JARINGAN HETEROGEN DENGAN RELAY NODE MENGGUNAKAN RANGE EXPANSION DI AREA KOPO

Heterogeneous Network Planning with Relay Node using Range Expansion in Kopo Area

Nur Chairil Syam¹, Ir. Uke Kurniawan Usman, M.T.², Arief Kurnia³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, ³PT. XL Axiata
chairilsyam@gmail.com, - usman.uke@telkomuniversity.ac.id, - arief.kurnia31@gmail.com

ABSTRAK

Pengguna layanan jaringan teknologi Long Term Evolution (LTE) membutuhkan kualitas jaringan yang sangat baik. Tetapi user sering kali tidak terlayani, hal ini disebabkan karena terdapat lokasi-lokasi yang ada di area Kopo tidak tercakup oleh eNodeB. Lokasi yang tidak tercakup oleh eNodeB biasa disebut bad spot atau bad Coverage. Salah satu penyebab lokasi tersebut tidak tercakup oleh eNodeB adalah banyaknya bangunan yang tinggi, power dari eNodeB yang mengalami pelemahan (Attenuation) karena jaraknya yang jauh dari user serta struktur geografis.

Untuk mengatasi hal tersebut maka diperkenalkan suatu skema yaitu Heterogeneous network. Heterogeneous network (HetNet) merupakan topologi jaringan seluler yang menerapkan small cell didalam macro cell. Pada penelitian ini, dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan relay node menggunakan range expansion di area Kopo.

Hasil simulasi dari penelitian tugas akhir ini memperoleh performansi sistem yang baik untuk nilai parameter yang sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh operator. Nilai RSRP yang didapat pada hasil simulasi jaringan heterogen yaitu nilai parameter RSRP dengan rata-rata sebesar -84,06 dBm, nilai parameter SINR dengan rata-rata sebesar 9,23 dB, nilai rata-rata untuk throughput DL yaitu 24 Mbps, untuk throughput UL yaitu 18,7 Mbps, dan jumlah user yang berusaha mendapatkan layanan yaitu 2.627 user, dengan jumlah user connected yaitu 2.619 (99,7%) user dan user yang mengalami reject adalah sebesar 8 (0,3%) user. Sedangkan berdasarkan hasil simulasi range expansion menunjukkan bahwa dari nilai range expansion, rentang 0 - 6 dB yang digunakan, maka semakin banyak user yang akan dilayani oleh relay node sebagai serving cell. Hasil ini menunjukkan bahwa simulasi perencanaan jaringan heterogen dengan relay node menggunakan range expansion layak diimplementasikan.

ABSTRACT

Technology network services Long Term Evolution (LTE) users need a high quality network but often users are not served, this is because the locations in the Kopo area are not covered by eNodeB. Locations that not covered by eNodeB usually called bad spot or bad coverage. One of the causes of that location not covered by eNodeB is a lot of high buildings, the power from eNodeB that be through attenuation because of the long distance from eNodeB, and geographical structure.

To solve this problem, a scheme named heterogeneous network is introduced. Heterogeneous networks (HetNet) are cellular network topologies which applies a small cells in the macro cells. In this research, Heterogeneous Network Planning with Relay Node have been done using Range Expansion in Kopo area.

The simulation results from this the final assignment research obtained a good system performance for parameter values which is suitable with standard that has been set by the operator. The RSRP value obtained from the heterogeneous network simulation results is the RSRP parameter value with an average of -84.06 dBm, the SINR parameter value with an average of 9.23 dB, the average value for DL throughput is 24 Mbps, for UL throughput which is 18,7 Mbps, and the number of users who get services reaches 2,627 users, with the number of connected users namely 2,619 (99.7%) users and who has rejection is 8 (0.3%) users. Meanwhile be based from range expansion simulation results shows that from range expansion value, range 0 - 6 dB which is used, then more and more users will served the relay node as serving cells. This result shows that heterogeneous network planning with relay node using range expansion is worth implementing.

Keywords: *Heterogeneous Network, Relay Node, Range Expansion.*

1. Pendahuluan

Pengguna layanan jaringan teknologi Long Term Evolution (LTE) membutuhkan kualitas jaringan yang baik. Akan tetapi user sering kali tidak terlayani dengan baik, hal ini disebabkan karena terdapat lokasi-lokasi yang ada di area Kopo tidak tercakup oleh eNodeB. Lokasi yang tidak tercakup oleh eNodeB biasa disebut bad coverage atau bad spot. Selain itu, juga disebabkan karena overload traffic pada jaringan LTE operator. Pada tahun 2017, Badan Pusat Statistik menyatakan bahwa jumlah penduduk yang ada di area Kopo sebanyak 31.227 orang. Dalam mengatasi masalah ini, macro cell tidak cukup untuk mengatasi dan membuat kualitas layanan kembali membaik. Oleh karena itu Heterogeneous Network diperkenalkan sebagai skema yang dapat mengatasi masalah tersebut.

Heterogeneous Network (HetNet) adalah jaringan yang terdiri dari *macro cell* yang biasanya dipancarkan pada level daya yang tinggi, dimana *small cell* berada didalam *macro cell*, yang juga dikenal sebagai *Low Power Nodes* (LPNs). *Low Power Nodes* terdiri dari *pico cell*, *femto cell*, *Remote Radio Heads* (RRHs), dan *Relay Node*. Penggunaan *Low Power Nodes* bertujuan untuk meningkatkan cakupan, kapasitas, nilai SINR, *throughput*, sebagai *traffic offload* dari *macro cell*, dan meningkatkan kinerja *user* yang berada di *cell edge*. Pada penelitian ini dilakukan Perencanaan Jaringan Heterogen dengan *small cell* menggunakan *Relay Node* pada frekuensi 900 MHz dan *macro cell* pada frekuensi 1800 MHz. Jenis penggunaan *frequency* pada *Relay Node* ini adalah jenis *Out-band Relay Node* yaitu dengan menggunakan *frequency* yang berbeda antara *macro cell* dan *small cell* dengan tujuan agar tidak terjadi interferensi antar *cell*. Untuk memaksimalkan kinerja dari HetNet maka diperkenalkan *Range Expansion* yang berfungsi untuk meningkatkan *Capacity* dengan cara menambahkan *bias offset* pada *Relay Node*. Langkah pertama yang akan dilakukan adalah melakukan Analisa terhadap *bad coverage* atau *bad spot* yang ada di area Kopo.

2. Dasar Teori

2.1 Heterogeneous Network

Permintaan trafik data pada jaringan seluler saat ini meningkat. Untuk mengatasi hal tersebut, hal yang mungkin dilakukan adalah penambahan *site* baru [1]. Namun penambahan *site* tersebut telah mencapai batasnya di banyak daerah perkotaan yang padat sementara *data traffic* terus meningkat. Hal ini membuat operator seluler harus memiliki solusi untuk mengatasi masalah tersebut dan meningkatkan *user experience* dengan biaya yang efektif [2]. Salah satu solusi yang efisien untuk menangani permintaan trafik yang terus meningkat yaitu dengan menggunakan *small cell* daripada menambahkan lebih banyak *macro BTS* [3]. Solusi tersebut dikenal sebagai Jaringan Heterogen (*Heterogeneous Network*). *Heterogeneous Network* (HetNet) diperkenalkan dalam standarisasi LTE-Advanced [4] dan telah di adopsi oleh 3GPP sebagai cara untuk meningkatkan cakupan, kapasitas dan *throughput* [5].

2.2 Relay Node

Relay Node (RN) adalah *small site* yang beroperasi antara *base station* dan UE. *Relay Node* berfungsi untuk meningkatkan kecepatan data dengan mengurangi jarak *transmitter-to-receiver*. Aspek penting lainnya dari *Relay Node* adalah efisiensi energi. Penyebaran *Relay Node* dapat menghemat daya pada UL, dan memperpanjang masa pemakaian baterai pada UE [3]. *Relay Node* ditempatkan di dalam atau di luar ruangan. Daya pancar *Relay Node* berkisar dari 250 mW hingga sekitar 2 W untuk penggunaan *outdoor*, sedangkan 100 mW atau kurang untuk penggunaan *indoor* [1].

2.3 Range Expansion

Low Power Node memiliki cakupan yang sangat terbatas yaitu daya transmisinya dan mengalami gangguan yang kuat dari *macro cell*, yang artinya hanya sebagian kecil UE dapat memperoleh manfaat dari penggunaan *Low Power Node*, terutama UE yang berada di *cell edge*. Hal ini mengarah ke keadaan ketidakseimbangan cakupan DL dan UL [7]. Selain itu, *macro cell* juga mengalami *oveloading traffic* karena disebabkan oleh UE yang akan memilih terhubung ke *site* dengan daya yang lebih tinggi daripada *site* dengan daya yang lebih rendah [8]. Biasanya untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan meningkatkan TX power dari *Low Power Node* akan tetapi akan mengurangi ketersediaan *site* karena mempengaruhi ukuran *site* dan biaya [4].

Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan sebuah teknik seleksi sel yang baru sehingga UE akan terhubung ke sel dengan nilai RSRP yang lebih lemah [8], maka dari itu teknik *Range Expansion* diusulkan sebagai solusi untuk mengurangi lebih banyak trafik sel makro [6], menarik lebih banyak UE ke *Low Power Node* dan mengatasi ketidakseimbangan cakupan UL dan DL dan untuk meningkatkan efisiensi dari *Heterogeneous Network* terutama untuk *pico cell* dan *Relay Node* [7]. Konsep dari *Range Expansion* yaitu dengan menambahkan nilai offset ke RSRP yang diterima dari *Relay Node* sehingga UE memilih *Relay Node* sebagai *servicing cell* bahkan ketika itu bukan sebagai sel terkuat [8].

2.4 Coverage Planning

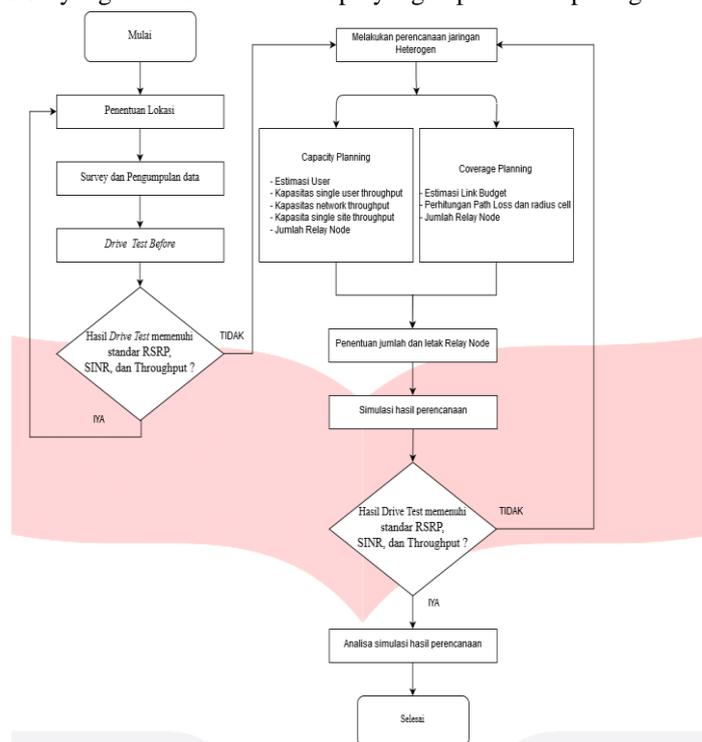
Coverage planning merupakan metode yang sangat penting dalam perencanaan jaringan yang bertujuan untuk menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan agar dapat mencakup keseluruhan area yang telah direncanakan. Dalam tahapan ini ada beberapa hal yang harus dilakukan seperti perhitungan *link budget* dengan mempertimbangkan semua *gain* dan *loss* yang ada dan pemilihan model propagasi yang akan digunakan dalam perencanaan jaringan berdasarkan cakupan wilayah [9].

2.5 Capacity Planning

Capacity planning merupakan perencanaan jaringan yang bertujuan untuk menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan berdasarkan jumlah pelanggan dan kebutuhan trafik yang ada. Pada proses perhitungan *capacity planning* terbagi menjadi 2 tahapan yaitu *single site dimensioning* dan *total network throughput dimensioning*. Tujuan dari *single site dimensioning* adalah untuk mengetahui kapasitas tiap *site* dan digunakan untuk mencari jumlah *site* yang dibutuhkan dalam perencanaan agar dapat melayani *user* sedangkan *total network throughput dimensioning* adalah proses *dimensioning* berdasarkan *traffic model* dan *service model* yang bertujuan untuk mengetahui *total throughput* yang dibutuhkan berdasarkan banyaknya *user* yang ada [10].

2.7 Tahap Perencanaan

Berikut merupakan tahapan tahapan dalam melakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node* menggunakan *range expansion* yang ada disekitar area kopo yang dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Perencanaan

3. Hasil dan Analisis Perencanaan

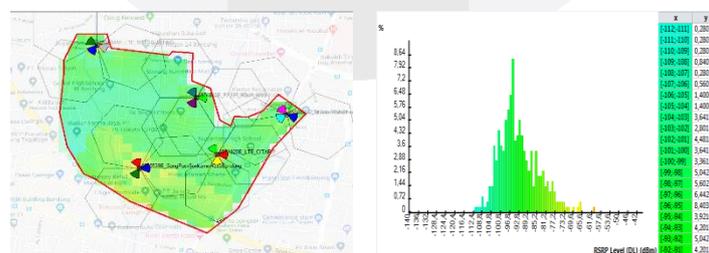
Dalam Perencanaan Jaringan Heterogen dengan *Relay Node* menggunakan *Range Expansion* di Area Kopo ini, dilakukan 2 skenario simulasi yaitu skenario pertama mengamati kondisi jaringan *existing* yang ada di area Kopo dan skenario kedua yaitu mengamati kondisi jaringan setelah dilakukannya perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node*. Parameter yang diamati adalah parameter RSRP, SINR, *Throughput Downlink*, *Throughput Uplink*, dan *User Connected*. Selain itu pada simulasi ini juga diamati pengaruh penggunaan *Range Expansion* pada perencanaan jaringan heterogen dengan *Relay Node*.

3.1 Simulasi Kondisi *Site Existing*

Pada simulasi yang pertama ini mensimulasikan kondisi *site existing* yang ada di area Kopo. Tujuan dilakukannya simulasi ini adalah untuk mengetahui kondisi jaringan sebelum dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node* menggunakan *range expansion*.

3.3.1 Analisa RSRP pada *Site Existing*

Pada simulasi *site existing* ini, parameter yang diamati salah satunya adalah parameter RSRP. Tujuannya adalah untuk mengetahui nilai kuat sinyal yang diterima oleh UE yang berada disekitar area Kopo.



Gambar 3. 1 Parameter RSRP pada *Site Existing*

Pada gambar 3.1 merupakan gambar parameter RSRP pada *site existing* yang ada di area Kopo. Parameter RSRP yang ada disekitar area memiliki nilai yang beragam akan tetapi nilai-rata parameter RSRP yang ada disekitar area kopo adalah sebesar -92,96 dBm. Pada gambar 3.1 juga menunjukkan bahwa kondisi jaringan yang ada di sekitar area Kopo itu buruk.

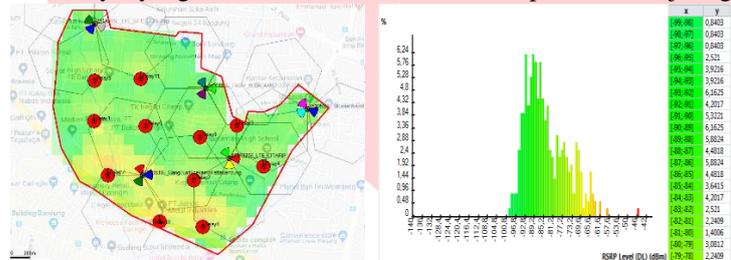
Pada gambar 3.5 merupakan gambar *user connected* pada *site existing* yang telah diberi beban *traffic* sebesar 3001 orang di area Kopo. Pada simulasi ini, user yang mencoba untuk melakukan dan mendapatkan layanan pada *site existing* ini sebesar 2.666 orang. Warna hijau pada gambar merupakan jumlah *user connected* yang berhasil mendapatkan layanan yaitu sebesar 1.903 orang dengan persentase keberhasilan yaitu 71,4%, sedangkan warna merah muda pada gambar merupakan user yang mengalami *reject* yaitu sebesar 763 orang dengan persentase kegagalan yaitu 28,6 %.

3.2 Simulasi Jaringan Heterogen setelah menggunakan Relay Node

Pada simulasi kedua ini. Mensimulasikan hasil perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node*. Berdasarkan hasil perhitungan *coverage planning* pada bab sebelumnya, *total site relay node* yang didapatkan adalah sebanyak 11 *site relay node*.

3.2.1 Analisa RSRP menggunakan Relay Node

Pada simulasi jaringan heterogen dengan *relay node* ini, parameter yang diamati adalah parameter RSRP yang digunakan untuk mengetahui kuat sinyal yang diterima UE setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen.

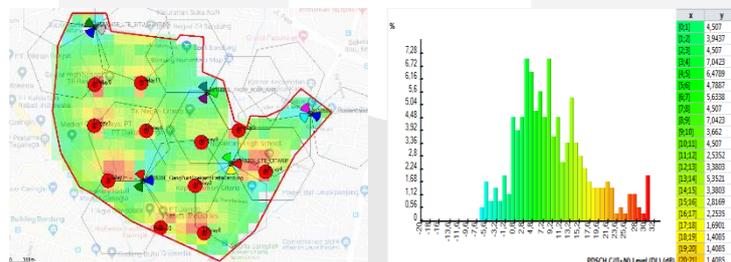


Gambar 3. 6 Parameter RSRP pada jaringan heterogen dengan *relay node*

Pada gambar 3.6 merupakan gambar parameter RSRP pada jaringan heterogen dengan *relay node* yang ada disekitar area Kopo. Setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node*, nilai parameter RSRP mengalami peningkatan sebesar -84,06 dBm. Pada gambar 3.6 tersebut juga dapat dilihat bahwa nilai parameter RSRP setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node* sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh operator.

3.2.2 Analisa SINR menggunakan Relay Node

Simulasi yang akan diamati selanjutnya adalah parameter SINR yang ada disekitar area Kopo. Tujuan diamatinya adalah untuk mengetahui kualitas sinyal yang diterima oleh UE setelah perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node*.

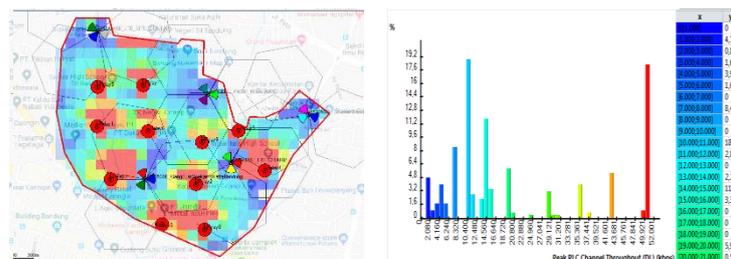


Gambar 3. 7 Parameter SINR pada jaringan heterogen dengan *relay node*

Pada gambar 3.7 merupakan gambar parameter SINR setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi parameter SINR setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node* memiliki nilai sebesar ≥ 5 dB dengan persentase sebesar 65%. Hasil tersebut telah memenuhi standar yang minimum yang telah ditetapkan oleh operator yaitu sebesar ≥ 5 dB.

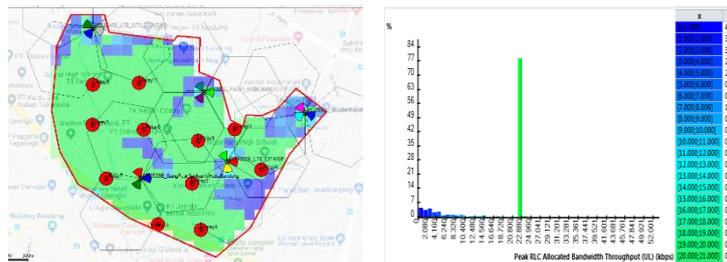
3.2.3 Analisa Throughput menggunakan Relay Node

Parameter selanjutnya yang akan diamati adalah *throughput*. *Throughput* yang diamati adalah *throughput* untuk sisi *downlink* dan *uplink*. Pada simulasi ini, akan diberikan sebuah beban *traffic* sebanyak 3001 orang.



Gambar 3. 8 *Throughput Downlink* pada jaringan heterogen dengan *relay node*

Pada gambar 3.8 merupakan kondisi *throughput* DL pada jaringan heterogen dengan *relay node* yang ada disekitar area Kopo setelah dilakukan perencanaan. Hasil simulasi setelah dilakukan perencanaan jaringan meningkat dengan baik. Nilai rata-rata *throughput* DL pada hasil perencanaan adalah sebesar 24 Mbps.

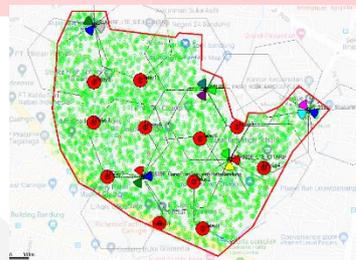


Gambar 3. 9 Throughput Uplink pada jaringan heterogen dengan *relay node*

Sedangkan pada gambar 3.9 merupakan kondisi *throughput* UL pada jaringan heterogen dengan *relay node* yang ada disekitar area Kopo setelah dilakukan perencanaan. Hasil simulasi setelah dilakukan perencanaan jaringan meningkat dengan baik. Nilai rata-rata *throughput* UL pada hasil perencanaan adalah sebesar 18,7 Mbps.

3.2.4 Analisa User Connected menggunakan Relay Node

Parameter yang akan diamati selanjutnya adalah *user connected*. Tujuannya adalah untuk mengetahui estimasi *user* yang mendapatkan layanan setelah dilakukan perencanaan jaringan dengan *relay node*.



Gambar 3. 10 User Connected pada jaringan heterogen dengan *relay node*

Pada gambar 3.10 merupakan gambar *user connected* setelah dilakukannya perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node* yang telah diberi beban *traffic* sebesar 3001 orang di area Kopo. . Pada simulasi ini, *user* yang mencoba untuk mendapatkan layanan yang disediakan sebesar 2.627 orang. Warna hijau pada gambar merupakan jumlah *user connected* yang berhasil mendapatkan layanan yaitu sebesar 2.619 orang dengan persentase keberhasilan yaitu 99,7%, sedangkan warna merah muda pada gambar merupakan *user* yang mengalami reject yaitu sebesar 8 orang dengan persentase kegagalan yaitu 0,3%.

3.3 Simulasi berdasarkan Range Expansion

Pada simulasi ini, hal yang akan diamati adalah pengaruh *range expansion* terhadap perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node*. *Range expansion* berfungsi sebagai *traffic offload* dari *macro cell* ke *relay node* sehingga *traffic* yang ada di *macro cell* dapat berkurang. Berikut merupakan hasil simulasinya.

3.3.1 Site Existing before without Range Expansion

Tabel 3. 1 Total number of connected users pada site existing

Name Site Existing	Total Number of Connected Users
Gang Pusri Soekarno Hatta Bandung	502
Situsaer Wahid Hasyim	203
Pasir Koja Axis	334
LTE Citarip	405
LTE Situ Gunting	459

Pada tabel 3.1 merupakan tabel *total number of connected users pada site existing*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa *total user* yang mendapatkan layanan pada tiap *site*. *Site* dengan *user* terbanyak adalah *site* Gang Pusri Soekarno Hatta Bandung dengan jumlah *user* sebesar 502 sedangkan *site* dengan *user* terkecil adalah *site* Situsaer Wahid Hasyim dengan jumlah *user* 203.

3.3.2 Heterogeneous Network with Relay Node using Range Expansion

Tabel 3.2 merupakan tabel *Total number of connected user after using range expansion*. Tabel tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *range expansion* yang digunakan maka semakin banyak *user* yang akan memilih *relay node* sebagai *servicing cell* atau memilih *relay node* yang melayani meskipun *user* tidak mendapatkan kuat sinyal yang lebih baik. Contohnya, dapat dilihat pada *site* Gang Pusri Soekarno Bandung, ketika *site* tersebut belum

menggunakan *range expansion*, *total user* yang berhasil dilayani adalah sebanyak 502 orang, sedangkan ketika *site* tersebut telah menggunakan *range expansion* dengan rentang nilai tertentu, *user* yang dilayani semakin berkurang. Hal itu menandakan bahwa penggunaan *range expansion* sangat baik apabila digunakan pada *site* yang mengalami *overload traffic*.

Tabel 3. 2 Total number of connected user after using range expansion

Name Site	Total Number of Connected Users			
	RE 0dB	RE 2dB	RE 4dB	RE 6dB
Gang Pusri Soekarno Hatta Bandung	183	98	51	16
Situsaer Wahid Hasyim	94	102	72	53
Pasir Koja Axis	123	50	49	15
LTE Citarip	204	100	42	19
LTE Situ Gunting	180	127	79	68
Relay1	227	195	248	232
Relay2	166	196	246	237
Relay3	76	91	117	138
Relay4	120	173	175	246
Relay5	184	208	228	256
Relay6	175	203	212	187
Relay7	252	272	283	294
Relay8	187	206	241	254
Relay9	130	173	197	206
Relay10	130	175	172	197
Relay11	188	244	257	240

3.4 Hasil Rekapitulasi Simulasi

Berikut merupakan hasil rekapitulasi simulasi yang telah dilakukan selama penelitian ini. Parameter yang diamati adalah parameter RSRP, SINR, *Throughput*, *User Connected*, dan simulasi berdasarkan penggunaan *Range Expansion* pada jaringan Heterogen.

Pada tabel 3.3 merupakan hasil rekapitulasi simulasi yang dilakukan selama penelitian ini. Pada hasil simulasi setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan *relay node* mengalami peningkatan yang sangat baik di tiap parameter yang diamati. Dapat dilihat pada parameter RSRP terjadi peningkatan yang sedikit, sedangkan untuk parameter SINR, mengalami peningkatan yang signifikan. Meningkatnya nilai SINR juga akan meningkatkan nilai *Throughput* dan *User Connected* karena jika *user* mendapatkan kualitas jaringan sangat baik, maka dari sisi *Throughput* dan *User Connected* juga akan menjadi lebih baik.

Tabel 3. 3 Hasil Rekapitulasi Simulasi

Simulasi	RSRP	SINR	Throughput		User Connected	Keterangan
			DL	UL		
Kondisi Site Existing	-92,96 dBm	4,23 dB	8,4 Mbps	4.1 Mbps	1.903 (71,4%)	dapat dilihat bahwa parameter yang diamati pada site existing masih belum memenuhi standar dari operator sehingga kondisi tersebut dapat dikatakan buruk
Setelah menggunakan Relay Node	-84,06 dBm	9,23 dB	24 Mbps	18,7 Mbps	2.619 (99,7%)	Pada simulasi setelah menggunakan relay node, dapat dilihat perubahan yang signifikan pada parameter yang diamati. Nilai pada parameter tersebut telah memenuhi standar dari operator dan sudah layak untuk diimplementasikan

Tabel 3. 4 Hasil Rekapitulasi Simulasi Penggunaan *Range Expansion*

Name Site	Total Number of Connected Users				
	Before	RE 0dB	RE 2dB	RE 4dB	RE 6dB
Gang Pusri Soekarno Hatta Bandung	502	183	98	51	16
Situsaer Wahid Hasyim	203	94	102	72	53
Pasir Koja Axis	334	123	50	49	15
LTE Citarip	405	204	100	42	19
LTE Situ Gunting	459	180	127	79	68

Pada tabel 3.4 merupakan tabel hasil rekapitulasi simulasi penggunaan *range expansion*. Pada tabel tersebut dapat dilihat perbedaan antara sebelum menggunakan *range expansion* dan setelah menggunakan *range expansion*. Dimana ketika telah menggunakan *range expansion* dengan *range* nilai 0-6 dB, akan mempengaruhi jumlah *user* yang dilayani. Semakin besar nilai *range expansion* yang digunakan, maka semakin banyak *user* yang akan memilih *relay node* sebagai *servicing cell* nya daripada *macro site* tersebut meskipun *user* tidak mendapatkan nilai kuat sinyal yang sangat baik. Hal ini dikarenakan fungsi dari *range expansion* yaitu sebagai *traffic offload* dari *macro sell* atau bertujuan untuk memaksa *user* yang awalnya dilayani oleh *macro cell* agar memilih *relay node* sebagai *servicing cell* nya.

4. Kesimpulan

1. Total site berdasarkan hasil perencanaan yang dilakukan untuk jaringan heterogen dengan relay node menggunakan range expansion pada frekuensi 900 MHz di area Kopo yaitu sebanyak 11 site relay node.
2. Berdasarkan hasil simulasi site existing, nilai rata-rata untuk parameter RSRP adalah -92,96 dBm. Sedangkan setelah dilakukannya perencanaan jaringan dengan relay node mengalami peningkatan sehingga membuat nilai rata-rata parameter RSRP sebesar -84,06 dBm.
3. Berdasarkan hasil simulasi site existing, nilai rata-rata untuk parameter SINR adalah 4,23 dB. Sedangkan setelah dilakukannya perencanaan jaringan dengan relay node mengalami peningkatan sehingga membuat nilai rata-rata parameter SINR sebesar 9,23 dB.
4. Berdasarkan hasil simulasi site existing, nilai rata-rata untuk throughput DL adalah 8,4 Mbps dan nilai rata-rata throughput UL yang didapatkan adalah 4,1 Mbps. Sedangkan setelah dilakukannya perencanaan jaringan heterogen mengalami peningkatan sehingga membuat nilai rata – rata untuk throughput DL pada area Kopo meningkat menjadi 24 Mbps dan rata – rata throughput UL menjadi 18,7 Mbps.
5. Berdasarkan parameter user connected didapatkan hasil simulasi untuk site existing yaitu jumlah user connected sebesar 1.903 (71,4%) orang dan user yang di rejected sebanyak 763 (28,6 %). Sedangkan hasil simulasi setelah dilakukan perencanaan jaringan heterogen dengan relay node, Jumlah user yang berusaha mendapatkan layanan meningkat menjadi 2.619 (99,7%) user connected dan user yang di rejected berkurang sehingga menjadi sebanyak 8 user (0,3%).
6. Berdasarkan hasil simulasi setelah menggunakan range expansion. Menunjukkan bahwa dari nilai range expansion range 0 – 6 dB yang digunakan maka semakin banyak user yang dilayani oleh relay node sebagai *servicing cell* meskipun user tidak mendapatkan kuat sinyal yang lebih baik.

5. Saran

1. dapat melakukan perbandingan perencanaan jaringan heterogen dengan menggunakan jenis *small cell* lainnya seperti *femto cell*, RRH, dan *pico cell* agar dapat mengetahui jenis *small cell* yang terbaik.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan tipe *relay node* yang lain, dengan skenario penggunaan yang berbeda.
3. Menggunakan simulator lain yang dapat memperlihatkan perbedaan cakupan *relay node* dengan *site macro*.
4. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengkaji lebih dalam tentang pengaruh range expansion pada perencanaan jaringan.

6. Daftar Pustaka

- [1] A. Damnjanovic et al., "A survey on 3GPP heterogeneous networks," IEEE Wirel. Commun., vol. 18, no. 3, pp. 10–21, 2011.
- [2] D. R. Grande, "Performance Analysis of QoS in LTE - Advanced Heterogeneous Networks," Aalborg University, 2013.
- [3] M. Dehghani and K. Arshad, "LTE-Advanced Radio Access Enhancements : A Survey," Springer Sci., pp. 1–31, 2014.
- [4] Z. Eltayeb and M. Eltayeb, "Performance Evaluation of Pico-cell Range Expansion with Interference Mitigation using Smart Antenna," Sudan University of Science and Technology, 2017.
- [5] Z. Fei, H. Ding, C. Xing, J. Ni, and J. Kuang, "Performance analysis for range expansion in heterogeneous networks," Springer Int. Publ., vol. 57, no. 8, pp. 1–10, 2014.
- [6] E. H. Eldin, A. M. A. Ibrahim, and A. Mohammed, "Performance Evaluation of Heterogeneous Network Schemes in LTE Networks," IEEE Wirel. Commun., vol. 5, no. 7, pp. 5–19, 2015.
- [7] M. A. Joud and M. G. Lozano, "Pico Cell Range Expansion toward LTE-Advanced Wireless Heterogeneous Networks," Universitat Politecnica Catalunya, 2013.
- [8] a Daeinabi and K. Sandrasegaran, "A Proposal for an Enhanced Inter-Cell Interference Coordination Scheme with Cell Range Expansion in LTE-A Heterogeneous Networks," UTS ePRESS, no. Ici, pp. 1–4, 2013.
- [9] Huawei, "LTE Radio Network Coverage Dimensioning.pdf." HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., pp. 1–48, 2010.
- [10] Huawei, "LTE Radio Network Capacity Dimensioning," Huawei Technol. Co., Ltd., pp. 1–36, 2013

