

Perencanaan Sistem *Long Term Evolution* di Wilayah Kota Denpasar Memanfaatkan Bale Banjar untuk Menempatkan *Base Station*

Yoel Sthefianus¹, Pande Ketut Sudiarta², Gede Sukadarmika³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email: yoel.sthefianus@gmail.com¹, sudiarta@unud.ac.id², sukadarmika@unud.ac.id³

ABSTRAK

Perencanaan sistem jaringan LTE dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor kontur wilayah yang berbeda. Kontur permukaan wilayah berpengaruh terhadap cakupan area yang dihasilkan suatu *base station*. Perencanaan jaringan berdasarkan analisis perhitungan, tidak mempertimbangkan kontur wilayah, maka untuk menunjang hal tersebut diperlukan simulasi menggunakan *software Atoll*. Metode pada penelitian ini menggunakan perhitungan dan simulasi *software Atoll*. Penempatan *base station* memanfaatkan 385 Bale Banjar sebagai titik site menara *rooftop*. Penempatan ini dilakukan di Bale Banjar dikarenakan mudahnya akses perijinan tempat, seperti *base station* pada Bale Banjar Balun. Berdasarkan hasil perhitungan dan pemodelan simulasi jarak jangkauan antena *base station* dengan model propagasi *Cost-231 Hata* frekuensi 1800 MHz, diperoleh jarak sebesar 1,186 km. Simulasi perencanaan sistem LTE di wilayah kota Denpasar memerlukan 55 *site*, terdiri dari 54 *site* yang memanfaatkan Bale Banjar untuk menempatkan *base station* dan 1 *site* di luar kawasan Bale Banjar, serta diperlukan pengaturan *electrical tilt* sebanyak 40 *site* untuk mengatasi permasalahan cakupan area.

Kata Kunci : Bale Banjar, *Coverage Area*, *Long Term Evolution*, *Software Atoll*.

1. PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan kualitas pelayanan telekomunikasi teknologi *Long Term Evolution* (LTE) adalah suatu solusi. Dalam mencapai kebutuhan tersebut penyedia layanan telekomunikasi mengembangkan perluasan dan peningkatan kapasitas jaringan dengan melakukan perencanaan jaringan telekomunikasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu melakukan perencanaan LTE dan membuat *site-site* menara *rooftop* baru yang diimplementasikan pada Bale Banjar di Kota Denpasar dengan menggunakan analisis perhitungan. Kontur ketinggian wilayah yang berbedatidak dipertimbangkan dalam penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, sedangkan faktor tersebut sangat berpengaruh terhadap cakupan area. Pada wilayah yang memiliki kontur yang ekstrim maka *coverage area* yang dihasilkan semakin sempit menyesuaikan dengan kontur wilayah disekitarnya, sedangkan pada wilayah dengan kontur yang landai *coverage area* yang dihasilkan dapat lebih luas.[1].

Penelitian ini dikembangkan dari penelitian yang pernah dilakukan mengenai perancangan sistem LTE menggunakan

analisis perhitungan dan pemanfaatan Bale Banjar untuk penempatan *base station*[2]. Pengembangan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan simulasi menggunakan *software Atoll*. Simulasi menggunakan *software Atoll* bertujuan untuk memperoleh cakupan perencanaan sel sesuai keadaan sebenarnya yang mengacu pada kontur wilayah permukaan penempatan *site*.

Penelitian ini memanfaatkan Bale Banjar yang ada di wilayah kota Denpasar untuk menempatkan *site base station*. Dengan sejumlah 385 Bale Banjar untuk mencakupi seluruh wilayah kota Denpasar. Pemanfaatan fasilitas umum seperti Bale Banjar ini memberikan kemudahan dalam aspek perijinan tempat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan LTE

The Third Generation Partnership Project (3GPP) adalah *Long Term Evolution* (LTE) adalah nama yang suatu proyek dalam mengembangkan standar komunikasi bergerak *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) untuk mengatasi kebutuhan telekomunikasi.

Berdasarkan standar LTE, kecepatan *downlink* hingga 100 Mbps [3].

2.2 Menara *Rooftop* pada Bale Banjar

Simulasi penelitian ini menggunakan 385 Bale Banjar yang ada di Kota Denpasar sebagai titik penempatan *site* menara *rooftop*. Beberapa alasan penggunaan Bale Banjar sebagai penempatan menara *rooftop*, yaitu: 1) Bale Banjar sendiri merupakan tempat pertumbuhan dan berkembangnya kegiatan kemasyarakatan di wilayah kota Denpasar, 2) Dalam penempatan menara *rooftop* memerlukan biaya sewa dan pemeliharaan, alangkah baiknya jika biaya sewa tersebut jatuh kepada pihak pengelola banjar yang ada pada tempat tersebut guna memajukan perkembangan kegiatan kemasyarakatan dan juga terjadi interaksi sosial antara masyarakat dan penyedia layanan telekomunikasi.

Penggunaan menara *rooftop* pada Bale Banjar yang ada di kota Denpasar yang diletakan di atas Bale Banjar yaitu Bale Banjar Balun yang berada di kecamatan Denpasar Barat, Jalan Setiabudi, pada koordinat *Latitude* -8.64758^o dan *Longitude* 115.20923^o dan Bale Banjar Sari Ubung, Jalan Haji Umar Sahid Cokrominoto, pada koordinat *Latitude* -8.63198 dan *Longitude* 115.20205, yang mana Bale Banjar ini terdiri dari 2 lantai, lantai dasar pada banjar ini biasanya digunakan masyarakat sekitar sebagai tempat untuk berkumpul dan bermusyawarah. Sedangkan pada lantai 2 difungsikan sebagai penempatan bale kulkul dan juga penempatan menara *rooftop*. Dengan ketinggian antena yang digunakan pada Bale Banjar ini, yaitu 18 meter dari permukaan tanah sesuai dengan peraturan ketinggian bangunan yang dimungkinkan untuk daerah Denpasar, untuk tinggi bangunan dengan jumlah 2 lantai [1], ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2:



Gambar 1. Menara *Rooftop* pada Bale Banjar Balun



Gambar 2. Menara *Rooftop* pada Bale Banjar Sari Ubung

2.3 Maximum Allowable Path Loss (MAPL)

MAPL merupakan perhitungan nilai propagasi maksimum antara perangkat *eNode B* dan *mobile station*.

Ada dua nilai perhitungan MAPL yaitu arah *uplink* dan *downlink*. Nilai *uplink* digunakan untuk menentukan maksimum redaman propagasi dari *mobile station* ke *eNode B*. Nilai *downlink* adalah maksimum redaman propagasi dari *eNode B* ke *mobile station* untuk keperluan komunikasi user dalam cakupan suatu daerah. [1]

Ada 3 tahap untuk memperoleh nilai MAPL yaitu menghitung nilai *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), menghitung nilai *Receiver Sensitivity* (RS) dan kemudian menghitung nilai MAPL.

1. Perhitungan Nilai EIRP

Menghitung nilai EIRP dapat mengacu pada (1) sebagai berikut. [4]

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - Loss_{System} \quad (1)$$

dengan:

P_{tx} = Daya *transmitter* (dBm)

G_{tx} = *Gain* pada antena *transmitter* (dB)

$Loss$ = *Loss* pada konektor *transmitter* (dB)

2. Perhitungan Parameter *Receiver Sensitivity*

Menghitung nilai *Receiver Sensitivity* dapat mengacu pada (2) sebagai berikut. [4]

$$RS = SNR + N_f + N_r \quad (2)$$

dengan :

SNR = *Signal to Noise Ratio* (dB)

N_f = *Noise Figure Receiver* (dB)

N_r = *Thermal Noise* (dB)

3. Perhitungan Nilai MAPL

Referensi [] menunjukkan bahwa untuk menghitung nilai MAPL mengacu pada (3) sebagai berikut. [4]

$$MAPL = EIRP - RS - GR_x + LossR_x - Fade\ Margin \quad (3)$$

dengan:

- EIRP = Effective Isotropic Radiated Power (dBm)
- RS = Receiver Sensitivity (dBm)
- GR_x = Gain pada antenna receiver (dB)
- LossR_x = Loss pada receiver (dB)
- Fade Margin = Batas fading sinyal yang diterima (dB)

2.4 Propagasi Cost-231 Hatta

Persamaan (4) digunakan untuk perhitungan rugi-rugi propagasi antenna dengan model propagasi Cost-231 Hatta.[4]

$$L = 46,3 + 33,9 \log - 13,82 \log h_b + a(h_m) + (44,9 -$$

$$6,55 \log h_b) \log d + C_M \quad (4)$$

a(h_m) merupakan nilai faktor koreksi antenna mobile yang dapat dihitung dengan mengacu pada (5)

$$a(h_m) = 3,2 (\log 11,75 h_m)^2 - 4,97 \text{ dB} \quad (5)$$

dengan,

- L = Path Loss rata-rata (dB)
- f = frekuensi (MHz)
- h_b = tinggi antenna Base Station (m)
- h_m = tinggi antenna Mobile Station (m)
- d = jarak Mobile Station dan Base Station (m)

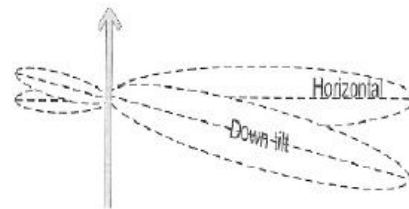
2.5 Tilting Antena

Tilt antena adalah sudut kemiringan antenna dalam satuan derajat, posisi antena akan semakin turun jika sudutnya semakin besar [5]. Pada saat melakukan optimasi jaringan, pengaturan tilting antena yang sesuai sangat penting karena akan mempengaruhi kinerja dari sebuah BTS dan jarak cakupan layanan sinyal yang dihasilkan.

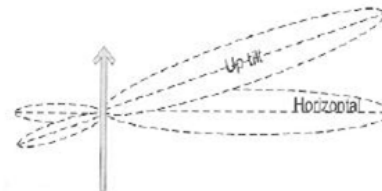
Proses tilting antena dapat dilakukan dengan 2 teknik, yaitu:

- 1) Mechanical Tilting: proses mengubah keadaan antena dari sisi fisik yaitu arah

azimuth dan sudut kemiringan antena. Hal ini akan memengaruhi coverage area BTS. Perubahan arah mechanical tilting memiliki 2 arah yaitu uptilt (mengubah kemiringan antena lebih ke atas) dan downtilt (mengubah kemiringan antena lebih ke bawah). Proses uptilt dan downtilt dalam proses mechanical tilting ditunjukkan dalam Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Uptilt dalam Mechanical Tilting [3]



Gambar 4. Downtilt dalam Mechanical Tilting [3]

- 2) Electrical Tilting: proses mengubah keadaan kelistrikan (fasa) antena, sehingga terjadi perubahan pada beamwidth antenna. Proses electrical tilting ini hanya akan berdampak pada ukuran main lobe yang dipancarkan oleh antena.

2.6 Software Radio Planning Atoll

Atoll adalah software radio planning yang memungkinkan user/planner untuk membuat sebuah proyek perencanaan microwave ataupun perencanaan jaringan radio dengan satu set alat dan fitur yang komperhensif dan bahkan melihat prediksi coverage area sebuah site dalam satu aplikasi.

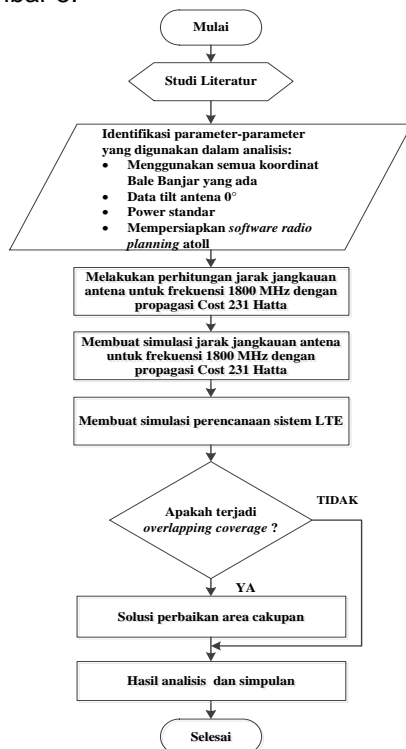
Beberapa prediksi study dari cakupan area layanan dapat dikonfigurasi sesuai kehendak planner [6]. Study tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) Perhitungan area yang ditutupi oleh level sinyal dari tiap cell disebut Coverage by signal level
- 2) Perhitungan area yang ditutupi oleh SINR downlink disebut Coverage by C/(I+N) level (DL)
- 3) Perhitungan area yang ditutupi oleh SINR uplink disebut Coverage by C/(I+N) level (UL)

- 4) Perhitungan area yang ditutupi oleh *throughput downlink* disebut *Coverage by throughput* (DL)
- 5) Perhitungan area yang ditutupi oleh *throughput uplink* disebut *Coverage by throughput* (UL)

3. METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini menggunakan perhitungan dan simulasi dengan *software* Atoll untuk menentukan cakupan area hasil perencanaan sistem LTE frekuensi 1800 MHz dengan model propagasi *Cost-231 Hata* yang memanfaatkan Bale Banjar untuk menempatkan *base station* di wilayah kota Denpasar. Parameter antena yang digunakan adalah standarisasi LTE yang direkomendasikan 3GPP. *Flowchart* metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL

Hasil penelitian ini adalah jumlah optimal *site* Bale Banjar yang digunakan untuk mencakupi seluruh wilayah Kota Denpasar. Penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi parameter yang digunakan dalam analisis meliputi data spesifikasi *base station* yang akan digunakan dalam simulasi perencanaan sistem LTE.

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) yang akan digunakan dalam perhitungan model propagasi dan dibuat simulasi perhitungan jarak jangkauan antena menggunakan *software radio planning* Atoll. Teknologi seluler yang digunakan adalah sistem LTE dengan frekuensi 1800 MHz. Wilayah yang akan dilakukan perencanaan sistem LTE adalah wilayah kota Denpasar yang memiliki permukaan geografis wilayah yang berbeda-beda, jika hanya menggunakan perhitungan, hasil yang didapatkan tidak optimal. Agar hasil menjadi optimal dibuatlah simulasi perencanaan sistem LTE yang dapat menggunakan peta digital dalam *software* Atoll. Dengan demikian kontur wilayah dapat terlihat pada hasil perencanaan.

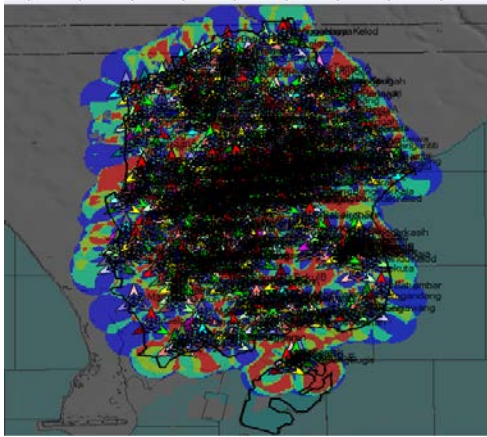
4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Simulasi Perencanaan Sistem LTE

Simulasi perencanaan sistem LTE dilakukan dengan menggunakan *software radio planning* atoll. Berdasarkan hasil perhitungan model propagasi dan simulasi jarak jangkauan antena yang digunakan sebagai acuan perencanaan sistem LTE. Tujuan dari simulasi perencanaan dengan memperhitungkan kontur wilayah adalah untuk mengetahui pengaruh kontur wilayah terhadap *coverage area* yang dihasilkan. Perencanaan yang dilakukan dengan cara menempatkan *site* berdasarkan koordinat Bale Banjar yang ada di wilayah kota Denpasar. Agar mendapatkan cakupan menyeluruh pada wilayah perencanaan maka dibuat rancangan sistem LTE 1800 MHz dengan model propagasi *Cost-231 Hata*.

Hasil cakupan satu *site* yang diperoleh dari perhitungan dan simulasi jarak jangkauan antena model propagasi *Cost-231 Hata* adalah 1,186 km.

Hasil simulasi perencanaan sistem LTE yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil perencanaan sistem LTE

Pada Gambar 6 terlihat bahwa kota Denpasar telah tercakupi oleh jaringan yang direncanakan menggunakan 385 Bale Banjar yang ada di kota Denpasar. Berdasarkan data statistik simulasi perencanaan jaringan diperoleh nilai *mean* sebesar 2,33. Hal ini berarti tiap daerah rata-rata dicakup 2 hingga 3 *site*. Dari data tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa kemungkinan terjadi *pingpong handover* atau *handover* yang berulang-ulang yang menyebabkan terjadinya *dropcall* cukup besar karena pada tiap-tiap daerah dilayani 2 hingga 3 *base station*. Maka perlu dilakukan perbaikan area cakupan berdasarkan hasil perencanaan yang diperoleh.

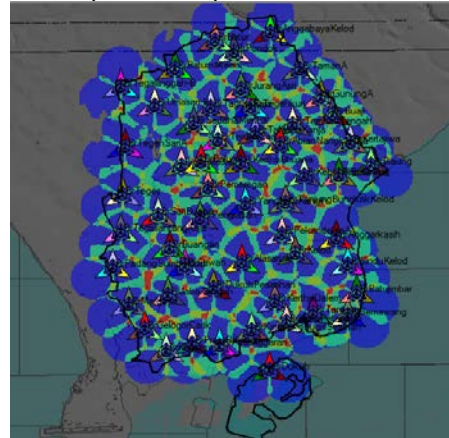
4.2.2 SOLUSI PERBAIKAN AREA CAKUPAN

Penelitian ini menawarkan perbaikan area cakupan yang dilakukan dengan tiga cara yaitu, 1) melakukan seleksi *site* yang *overlapping*, 2) pengaturan *tilt* antena, pengaturan *power* yang dipancarkan, dan 3) penambahan *site* baru. Berdasarkan hasil prediksi *overlapping zones* pada hasil perencanaan sistem terdapat banyak area yang memiliki sel yang saling beririsan satu sama lain sehingga dilakukan perbaikan area cakupan

4.2.3 Seleksi Site Overlapping dan Mengatur Arah Antena

Solusi pertama yang dilakukan untuk perbaikan area cakupan adalah melakukan seleksi *site* atau mengurangi jumlah *site*. Pemilihan *site* berdasarkan pembagian kelurahan atau desa di wilayah kota Denpasar yaitu sebanyak 43 kelurahan atau desa sebagai acuan pertama dan ditambah dengan 11 pada beberapa area yang *blankspot* setelah dilakukan

pengaturan arah antena, diperoleh 54 *site* yang telah dipilih dengan hasil cakupan area yang lebih baik dan dengan *coverage* yang cukup untuk seluruh wilayah kota Denpasar. Hasil perencanaan setelah dilakukan seleksi *site* dan pengaturan arah antena dapat dilihat pada Gambar 7.



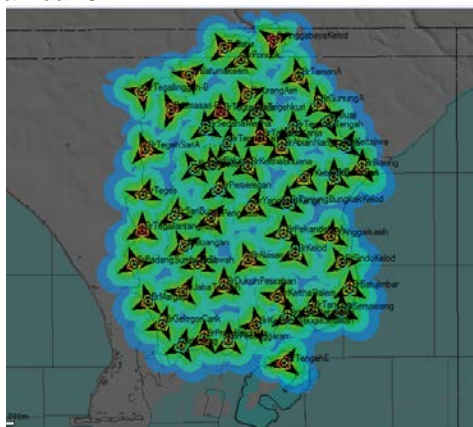
Gambar 7. Hasil Seleksi Site dan Pengaturan Arah Antena

Pada Gambar 7 dapat dilihat hasil perbaikan area cakupan menunjukkan area yang memiliki sel yang saling beririsan satu sama lain berkurang dari perencanaan awal yang menggunakan 385 *site*. Berdasarkan data hasil rekap statistik *overlapping zones* diperoleh *mean* sebesar 1,45 lebih kecil dibandingkan hasil perencanaan sebelumnya dengan *mean* sebesar 2,33. Hal ini berarti setelah melakukan perbaikan cakupan area, tiap daerah rata-rata dicakup 1 hingga 2 *site*. Kemungkinan terjadi *pingpong handover* atau *handover* yang berulang-ulang yang menyebabkan terjadinya *dropcall* kecil karena tiap-tiap daerah rata-rata dilayani oleh 1 hingga 2 *base station*, dan perencanaan *overlapping zone* baik untuk diimplementasikan. [7]

4.2.2 Pengaturan Tilting Antena

Permasalahan *Blank Spot* diatasi menggunakan hasil perbaikan seleksi *site* *overlapping*. Sebagai solusi area cakupan yang kedua yaitu pengaturan *tilting* antena. Sebagai acuan pengaturan *tilt* antena berdasarkan pada hasil *coverage area* pada simulasi perbaikan *overlapping zones*, *tilt* yang dilakukan adalah *electrical tilting*. Jarak jangkauan antena akan mengecil akibat sudut kemiringan yang besar pada antena, menyebabkan posisi antena semakin menunduk dengan perubahan sudut antena yang tidak konstan. Terjadi perubahan jarak yang tidak sama pada

setiap satu derajat mulai dari sudut 1° , 2° , 3° , hingga 10° [1]. Hasil pengaturan *electrical tilting antenna* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Cakupan Pengaturan *Electrical Tilt* Antena

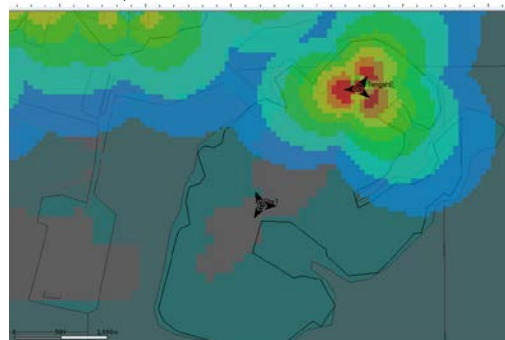
Pada Gambar 8 dapat dilihat hasil pengaturan *electrical tilting*, terlihat *blank spot area* pada hasil perbaikan sebelumnya sudah tercakupi setelah melakukan pengaturan *electrical tilt* antena. Sebanyak 40 *site* dari 54 *site* yang dilakukan pengaturan *electrical tilt* antena agar memperoleh hasil cakupan yang lebih baik pada wilayah perencanaan sistem LTE.

Untuk *blank spot area* pada daerah selatan kota Denpasar, tepatnya di wilayah Serangan tidak dapat tercakup melalui dua tahap solusi perbaikan cakupan area. Hal ini karena wilayah tersebut hanya terdapat beberapa Bale Banjar yang berposisi pada daerah cakupan yang sama sehingga cakupan untuk wilayah sekitarnya tidak mampu mencakup wilayah tersebut. Hal ini karena pada daerah *blankspace* tersebut bukan wilayah permukiman, tidak ada terdapat Bale Banjar pada daerah tersebut. Permasalahan *blank spot* di area ini dapat dilakukan dengan solusi perbaikan cakupan area yang terakhir yaitu melakukan penambahan *site* baru agar wilayah Serangan tersebut dapat tercakupi.

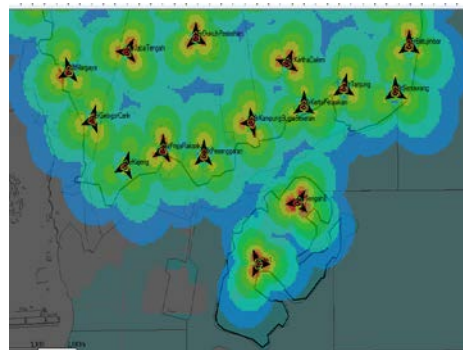
4.2.3 Penambahan *Site* Baru

Solusi perbaikan cakupan area yang ketiga adalah penambahan *site* baru. Solusi ini dilakukan agar dapat mencakupi daerah *blank spot* berdasarkan permasalahan cakupan area yang diperoleh dari hasil perencanaan yang telah dilakukan. Solusi terakhir ini diharapkan dapat memperbaiki area *blank spot* pada wilayah Serangan yang tidak terdapat Bale Banjar. Pemilihan

lokasi untuk penambahan *site* baru ini berposisi pada koordinat *Longitude* $115^{\circ}13'40,31''E$ dan *Latitude* $8^{\circ}44'13,4''S$, penempatan *site* baru ini memanfaatkan LPJU (Lampu Penerangan Jalan Umum) yang ada dikawasan Serangan. Selain pada menara *rooftop*, antena jaringan LTE di wilayah kota Denpasar juga memanfaatkan LPJU sebagai penempatan antena *base station*, pemanfaatan fasilitas publik ini juga mempermudah dalam aspek perijinan sehingga tidak perlu membuat perijinan untuk lokasi baru. Hasil prediksi cakupan area dan lokasi penempatan *site* barupada simulasi dapat dilihat pada Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 9. Lokasi Penambahan *Site* Baru

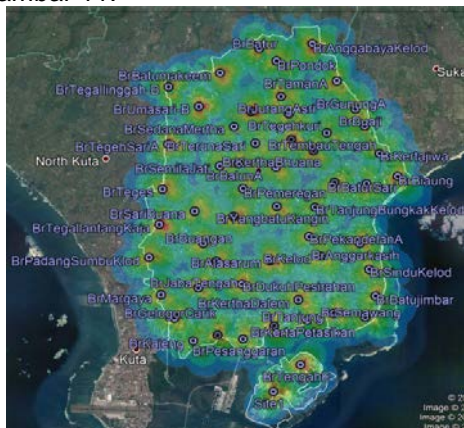


Gambar 10. Hasil Prediksi Penambahan *Site* Baru

Pada Gambar 8, 9, dan 10 dapat dilihat hasil penambahan 1 *site* baru pada daerah Serangan sudah mampu mencakupi daerah tersebut. Namun masih ada sedikit *blank spot* pada sisi-sisi pesisir wilayah Serangan, walaupun sudah dilakukan upaya perbaikan cakupan area berupa pengaturan *electrical tilt*, *power* sebesar 43 dBm merupakan *power* maksimal yang digunakan. Upaya penambahan *site* baru ini sudah memberikan cakupan lebih baik di wilayah Serangan untuk mencakupi wilayah tersebut yang masih terdapat beberapa akses jalan. Hal ini karena daerah Serangan tersebut memiliki kontur wilayah memanjang dan tidak merata, serta wilayah

blank spot pada hasil perencanaan bukan merupakan wilayah permukiman melainkan pesisir teluk dan danau yang sifatnya tidak penting untuk mendapat cakupan jaringan seluler. Jadi penambahan *site* baru ini sudah memberikan hasil yang optimal untuk mencakup wilayah tersebut.

Hasil akhir perencanaan yang telah di ekspor ke *google earth* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Akhir Perencanaan pada Google Earth

Pada Gambar 11 terlihat bahwa kota Denpasar telah tercakup oleh jaringan yang direncanakan. Dari 385 Bale Banjar yang ada di wilayah kota Denpasar hanya diperlukan 54 Bale Banjar yang diperlukan untuk mendapatkan cakupan menyeluruh pada kota Denpasar, dibutuhkan 55 *site* yang terdiri dari 54 *site* tiga sektor berdasarkan koordinat Bale Banjar dan penambahan 1 *site* di luar kawasan Bale Banjar dengan parameter yang telah dianalisis.

5. Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka didapat jumlah *site* memanfaatkan Bale Banjar untuk perencanaan sistem LTE sebanyak 54 *site* belum dapat mencakup seluruh wilayah Kota Denpasar karena adanya *blankspot* area pada wilayah Serangan karena tidak terdapat Bale Banjar pada area tersebut.

Solusi permasalahan *blankspot* area di wilayah Serangan dilakukan dengan penambahan *site* baru dengan memanfaatkan lampu penerangan jalan sebagai lokasi penempatan *site* agar wilayah Serangan dapat tercakupi dengan sistem jaringan LTE 1800 MHz.

6. Daftar Pustaka

- [1] Putra, T. G. A. S. 2015. Analisis Pengaruh Model Propagasi Dan Perubahan *Tilt* Antena Terhadap *Coverage Area* Sistem *Long Term Evolution* Menggunakan Software *Atoll* (tugas akhir). Denpasar : Universitas Udayana
- [2] Dewi, K.L.K. 2014. Perencanaan *Coverage* Pada Sistem *Long Term Evolution* 700 Mhz di Kota Denpasar (tugas akhir). Denpasar : Universitas Udayana
- [3] Dewantoro. 2014. Menuju *Broadband Wireless Access* 4G, 5G. Edisi Bahasa Indonesia. Jakarta. Nulis Buku.
- [4] Pinem, K. K. 2014. "Analisis *Link Budget* pada Pembangunan *BTS Rooftop* Cemara IV Sistem Telekomunikasi Seluler Berbasis GSM Studi Kasus PT. Telkomsel" (tugas akhir). Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [5] Kautsar, F.A. 2009. Optimasi Pelayanan Jaringan Berdasarkan Drive Test. (tugas akhir). Jakarta: Universitas Indonesia.
- [6] Fauzi, M.R., Sukiswo. 2014. Perencanaan Jaringan *Lte* (Long Term Evolution) Menggunakan Software *Radio Planning* (*Atoll*) (tugas akhir). Semarang : Universitas Diponegoro.
- [7] Anastasia, Clara. 2016. Perencanaan *Terrestrial Trunked Radio* (Tetra) Digital pada Kereta Bandara Soekarno Hatta – Halim Perdana Kusuma. Jurnal Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom