

Perencanaan Jaringan HSDPA *Outdoor* pada Daerah Urban Menggunakan Aplikasi GENEX U-Net

Mukhlisin Ali Akhmadi, Imam Santoso, Sukiswo
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

ABSTRACT

Nowadays the evolution of the mobile communication market is expected to bring a major increase of the data traffic demands combined with high bit rate services. To successfully satisfy these requirements, Third Generation systems must increase their spectral efficiency and support high user data rates especially on the downlink direction of the communication path due to its heavier load. One of these technologies is the High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) concept, which has been included by the 3GPP (Third Generation Partnership Project) in the specifications of the Release 5 as an evolutionary step to boost the WCDMA performance for downlink packet traffic. The HSDPA concept consists of a new downlink time shared channel that supports a 2-ms transmission time interval (TTI), adaptive modulation and coding (AMC), multi-code transmission, fast scheduling, and fast physical layer hybrid automatic repeat-request (HARQ).

By implementing a network dimensioning tool and network planning tool, in this final project were tried to provide simulations and predictions about capacity and coverage in urban area, in this case Semarang tengah and Semarang selatan as an example . These tools are Genex RND as a network dimensioning tool and Genex U-Net as a network planning tool. When using Genex RND in network dimension process, there's some input parameters should be determine, such as planned coverage area, number of user, services assumption, and link budget parameter, some result from RND could be concerned as input parameter in the planning process using Genex U-Net, such as number of Node B, cell radius, and user density. From these Genex U-Net can be obtained some simulations and predictions. The simulations contain informations about number of user connections, mean while the predictions contain coverage maps and coverage data statistics of received signal strenght, pilot signal, HS-SCCH (High-Speed Shared Control Channel) channel power, HS-PDSCH (High-Speed Physical Downlink Shared Channel) channel power, and RLC (Radio Link Control) throughput.

Based on those simulations in Semarang urban area, the number of HSDPA connections increasing affected by some reasons, that are number of node B increased from 14 to 20, number of carrier increased from one to two, and number of call per hour for HSDPA increased from 0,23 to 0,83. in order to obtain predictions result, it should be decided first about network configuration. By using 14 Node B, two carier and 0,83 call per hour of HSDPA service usage, then the result are, average of coverage signal level is -74,57 dBm, highest percentage of pilot signal is 92 % on range -15 to -20 dB, highest percentage of HS-SCCH channel power coverage is 60 % on range 30 to 35 dB, highest percentage of HS-PDSCH channel power coverage is 64 % on range -5 to 0 dB, highest percentage of RLC throughput is 20,2 % on 160 kbps.

Keywords : HSDPA, AMC, HARQ, TTI, Genex RND, Genex U-Net

1. PENDAHULUAN

Sejak pertama kali diperkenalkannya layanan 3G, permintaan akan layanan berbasis paket data dari tahun ke tahun mengalami suatu peningkatan yang pesat. Menanggapi hal ini, para penyedia jaringan terus berusaha untuk meningkatkan kemampuan pada jaringannya. Salah satunya dengan menerapkan teknologi HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), yang direkomendasikan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP).

HSDPA pada dasarnya merupakan pengembangan dari teknologi jaringan pita lebar sebelumnya yaitu WCDMA (*Wide-band Code Division Multiple Access*), seperti halnya CDMA 2000 (*Code Division Multiple Access*) yang telah dikembangkan menjadi EV-DO (*evolution download-only*). HSDPA bisa disebut juga sebagai generasi 3,5 (3,5G) pada sistem telekomunikasi bergerak saat ini. Frekuensi carier yang digunakan

masih sama dengan frekuensi pada jaringan WCDMA yang sudah ada.

Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk memberikan data-data simulasi dan prediksi perencanaan jaringan HSDPA *outdoor* pada daerah *urban* dengan menggunakan suatu perangkat lunak GENEX U-Net.

Dalam penulisan tugas akhir ini pembahasan masalah memiliki batasan pada permasalahan berikut :

- 1) Aplikasi utama yang digunakan adalah suatu perangkat lunak yaitu Genex U-Net 2.2 sebagai perencana jaringan, dan GENEX RND 3.2 sebagai pendimensi jaringan.
- 2) Perencanaan jaringan ditujukan pada daerah *urban outdoor*.
- 3) Tidak membahas mengenai perencanaan frekuensi dan pengaruhnya terhadap interferensi.

- 4) Tidak membahas pengaruh *packet scheduler* terhadap trafik pada jaringan.
- 5) Tidak membahas secara mendetail tentang perencanaan RNC.
- 6) Tidak membahas secara mendetail mengenai pengaruh morfologi dan topografi area *urban* terhadap perambatan gelombang.
- 7) Tidak membahas mengenai perencanaan frekuensi dan pengaruhnya terhadap interferensi.

2. HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*)

HSDPA merupakan salah satu standar teknologi baru dalam sistem telekomunikasi bergerak yang dikeluarkan oleh 3GPP. Tujuan dari standar HSDPA ini yaitu, untuk memperoleh laju data dengan kecepatan tinggi pada sisi *downlink*, dan waktu tunda yang lebih rendah. Untuk mewujudkan tujuan tersebut, maka perlu adanya penambahan beberapa metode penting yang diterapkan pada teknologi HSDPA. Beberapa metode tersebut diantaranya adalah penambahan kanal baru (HS-DSCH, HS-SCCH, HS-DPCCH), *Adaptive Modulation and Coding* (AMC), teknik penjadwalan / *scheduling* yang cepat, dan *Hybrid Automatic Repeat request* (HARQ).

2.1 Karakteristik pada HSDPA

Penambahan Kanal Baru

HS-DSCH (*High Speed downlink Shared Channel*)

HS-DSCH merupakan kanal transport yang mirip dengan DSCH pada WCDMA. HS-DSCH bekerja pada arah *downlink* pada HSDPA, dan dapat digunakan untuk mengirim paket data untuk beberapa user dalam satu sel.

HS-SCCH (*High Speed Shared Control Channel*)

HS-SCCH merupakan sebuah kanal fisik. Kanal ini beroperasi dengan menggunakan modulasi QPSK, dengan *spreading factor* 128. HS-SCCH digunakan untuk signaling pada arah *downlink* yaitu dari Node B menuju UE sebelum memulai penjadwalan TTI (*Time Transfer Interval*).

HS-DPCCH (*High speed Dedicated Physical Control Channel*)

Sama seperti HS-SCCH, kanal HS-DPCCH juga termasuk kanal fisik. Kanal ini merupakan kanal yang bekerja pada arah *uplink*, yaitu dari UE menuju Node B. untuk membawa informasi signaling *Acknowledgement* / *Negative-Acknowledgement* (ACK/NACK). Kanal ini akan memberitahukan apakah data yang sudah ditransmisi pada arah *downlink* telah sukses didekodekan atau tidak.

AMC (*Adaptive Modulation and Coding*)

Skema modulasi dan pengkodean yang digunakan pada HSDPA dapat berubah sesuai kondisi kanal pada saat transmisi dari pemancar ke penerima.

Modulasi yang bisa digunakan adalah QPSK atau 16 QAM.

HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*)

Merupakan suatu mekanisme untuk proses penggabungan data yang diterima pada saat transmisi, dan melakukan pemeriksaan kesalahan. Jika terjadi kesalahan pada data yang diterima, penerima meminta transmisi ulang data yang salah.

Penjadwalan yang cepat (*Fast Scheduling*)

Terdapat tiga jenis mode penjadwalan yang bisa digunakan untuk menangani antrian pada pelanggan, yaitu :

Round Robin

Round robin merupakan penjadwalan yang paling sederhana dan adil karena dalam proses penjadwalannya tidak ada user atau antrian yang diprioritaskan. Algoritma menyeleksi *user* yang belum dilayani dalam antrian dalam jangka waktu yang paling lama dan perbedaan kondisi variasi kanal tidak diperhitungkan dalam proses penjadwalan, sebagai konsekuensinya pengguna tetap dijadwal meskipun kondisi kanal buruk.

Maximum Channel/Interference

Maximum C/I merupakan penjadwalan yang bekerja berdasarkan nilai dari *carier to interference* dari *user* ketika mengakses jaringan. *User* yang mempunyai nilai C/I lebih tinggi mempunyai prioritas utama untuk dijadwalkan daripada *user* yang mempunyai nilai C/I lebih rendah.

PF (*Proportional Fair*)

PF merupakan bentuk kompromi antara RR (*Round robin*) dan Maximum C/I. PF bekerja berdasarkan keseimbangan antara rata-rata *Throughput* yang diperoleh dengan laju data sesaat. Hasilnya setiap pengguna dilayani saat kondisi kanal mendukung. Metode ini lebih adil, karena kondisi kanal pada waktu tertentu, pasti lebih baik daripada rata-ratanya.

2.2 UE (*User Equipment*)

UE atau penerima pada jaringan HSDPA dibedakan menjadi beberapa kategori, seperti pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kategori UE pada jaringan HSDPA

Category	Codes	Inter-TTI	TB Size	Total # of Soft Bits	Modulation	Data Rate
1	5	3	7300	19200	QPSK/16QAM	1.2 Mbps
2	5	3	7300	28800	QPSK/16QAM	1.2 Mbps
3	5	2	7300	28800	QPSK/16QAM	1.8 Mbps
4	5	2	7300	38400	QPSK/16QAM	1.8 Mbps
5	5	1	7300	57600	QPSK/16QAM	3.6 Mbps
6	5	1	7300	67200	QPSK/16QAM	3.6 Mbps
7	10	1	14600	115200	QPSK/16QAM	7.2 Mbps
8	10	1	14600	134400	QPSK/16QAM	7.2 Mbps
9	15	1	20432	172800	QPSK/16QAM	10.2 Mbps
10	15	1	28776	172800	QPSK/16QAM	14.4 Mbps
11	5	2	3650	14400	QPSK only	0.9 Mbps
12	5	1	3650	14400	QPSK only	1.8 Mbps

Kategori UE berdasarkan beberapa parameter diantaranya adalah :

Codes

jumlah kode maksimal yang dapat ditangani oleh UE
Inter- Time Transfer Interval (TTI)

Menunjukkan waktu minimal yang dibutuhkan oleh UE pada permulaan dua transmisi yang berurutan.

Transport Block (TB) Size

Jumlah maksimal bit blok *transport* HS-DSCH yang dapat diterima dalam satu TTI.

Total of Soft Bits

Jumlah maksimal *soft bits* selama proses HARQ yang dapat diterima oleh UE.

Modulation

Metode modulasi yang digunakan pada jaringan HSDPA adalah QPSK dan 16 QAM.

Data Rate

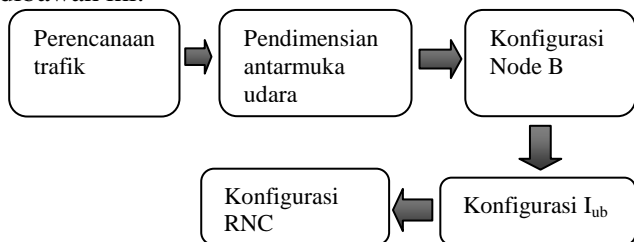
Laju data maksimum yang dapat diterima oleh UE pada kondisi ideal.

2.3 CQI (Channel Quality Index)

Tingkat kualitas kondisi kanal yang digunakan untuk transmisi oleh UE dinyatakan dengan nilai CQI, nilainya antara 0 sampai 30, semakin tinggi nilai CQI maka semakin bagus kondisi kanal yang bisa digunakan oleh UE. Informasi yang ada pada CQI diantaranya adalah Transport block size, jumlah kode pada HS-PDSCH, jenis modulasi, dan pengaturan daya referensi.

2.4 Pendimensionian Jaringan HSDPA

Pendimensionian pada suatu jaringan HSDPA, bertujuan untuk memperkirakan kapasitas dan konfigurasi yang akan digunakan. Tahapan dalam proses pendimensionian jaringan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Proses pendimensionian jaringan HSDPA

Perencanaan trafik

Data ini berisi tentang trafik pada jaringan yang sudah ada, seperti trafik layanan suara, dan juga layanan paket data. Pada perencanaan trafik ini terdapat dua pemodelan layanan yang digunakan, yaitu pemodelan CS (*Circuit Switch*) dan PS (*Packet Switch*). Beberapa parameter yang berhubungan dengan layanan CS adalah laju pendudukan, rata-rata waktu panggilan (td), faktor aktifitas (a), dan rata-rata laju layanan (v). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut,

$$MbtE = BHCA \times \frac{td}{3600} \dots\dots\dots(1)$$

$$MbtV = BHCA \times td \times a \times v \dots\dots\dots(2)$$

$$MbtTh = MbtV \times \frac{1000}{3600} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

BHCA (*Busy Hour Call Attempt*) = trafik (Erl) x (3600/rata-rata waktu pendudukan (s))

MbtE = trafik rata-rata pada jam sibuk tiap pengguna (Erl)

MbtV = trafik rata-rata pada jam sibuk tiap pengguna layanan volume (kbit)

MbTh = throughput rata-rata pada jam sibuk tiap pengguna (bps)

sedangkan untuk pemodelan pada layanan PS, persamaan yang bisa digunakan antara lain,

$$OBQ = p \times d \times BHCA \times BW \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

OBQ (*Offered bit quantity*) = jumlah bit yang ditawarkan pada suatu layanan (Kbit)

p = penetrasi pengguna tiap layanan (%)

d = durasi (s)

BW = lebar pita (Kbps)

Pendimensionian Antarmuka Udara

Kapasitas jaringan HSDPA

Pada dasarnya, nilai throughput pada sel HSDPA tergantung dari nilai SINR yang didapat oleh pengguna pada lokasi tertentu, disamping itu nilai SINR juga digunakan sebagai salah satu komponen untuk menghitung *link budget* pada jaringan HSDPA pada sisi *downlink*.

$$SF_{HS-PDSCH} \frac{C}{I} \geq SINR_{target} \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{SINR}{M} \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} \log_2 M \dots\dots\dots(7)$$

Sedangkan C adalah daya transmisi HS-PDSCH ($P_{HS-PDSCH_{tx}}$), dibagi dengan path loss (L_p), untuk menentukan nilai SINR dapat digunakan persamaan berikut

$$C = \frac{P_{HS-PDSCH_{tx}}}{L_p} \dots\dots\dots(8)$$

$$I = I_{own}(1 - \alpha) + I_{other} + P_N \dots\dots\dots(9)$$

Dari persamaan 2.5 kita dapat menentukan nilai interferensi yang dipengaruhi oleh tiga faktor, pertama adalah interferensi yang berasal dari sel sendiri, yang dipengaruhi oleh propagasi *multipath* pada sel, atau disebut juga *orthogonality factor* (α), yang kedua adalah interferensi yang berasal dari sel lain (I_{other}), dan yang ketiga adalah daya derau dari sumber panas dan perlengkapan yang digunakan (P_N). Faktor lain yang mempengaruhi interferensi yaitu faktor G.

$$G = \frac{I_{own}}{I_{other} + P_N} \dots\dots\dots(10)$$

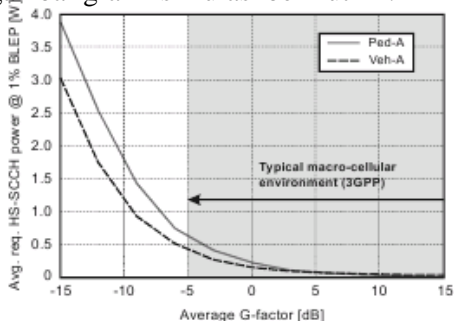
Dari penggabungan persamaan diatas, maka nilai SINR dapat ditulis dengan persamaan berikut .

$$SINR = \frac{P_{HS-PDSCH_tx}}{P_{tot_tx}(1-\alpha+\frac{1}{G})} \dots\dots\dots(11)$$

Akan tetapi, pada HSDPA terdapat pembagian daya untuk HS-PDSCH dan HS-SCCH, sehingga SINR dapat ditunjukkan sebagai daya maksimum pada sel. Sehingga persamaan diatas menjadi persamaan dibawah ini.

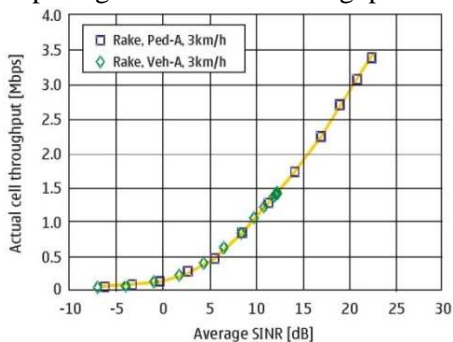
$$SINR = \frac{P_{tx} \text{ Max HSDPA} - P_{HS-SCCH_tx}}{P_{tot_tx}(1-\alpha+\frac{1}{G})} \dots\dots\dots(12)$$

Dari sebuah nilai daya transmisi maksimum yang sudah ditentukan, nilai SINR dapat dicari dengan memanfaatkan nilai faktor G, yang diberikan pada konfigurasi sel (konfigurasi makroselular pada simulasi 3GPP). Nilai HS-SCCH dapat ditentukan, dengan gambar grafik simulasi berikut ini.

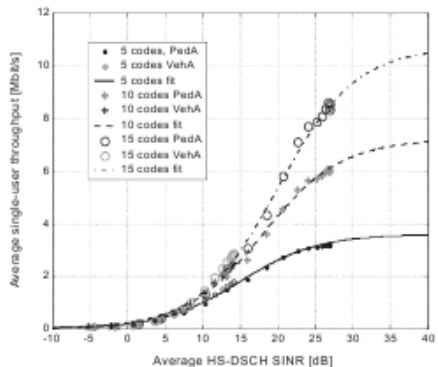


Gambar 2. Grafik daya HS-SCCH vs rata – rata faktor G

Selanjutnya nilai troughput dapat didapatkan dengan mengacu pada grafik simulasi throughput vs SINR



Gambar 3. Grafik Troughput vs SINR HSDPA dengan 5 Kode



Gambar 4. Grafik Troughput vs SINR HSDPA dengan 5, 10, dan 15 Kode

Tabel 3. Perhitungan Link budget WCDMA

Link Budget	
Max. TCH Transmit Power(dBm)	A
Cable loss Tx(dB)	B
Body loss Tx(dB)	C
Antenna gain Tx(dBi)	D
EIRP(dBm)	E=A-B-C+D
Antenna gain Rx(dBi)	F
Cable loss Rx(dB)	G
Body loss Rx(dB)	H
Node B Noise figure(dB)	I(NF at antenna connector)
Required Eb/No(dB)	J
Receiver sensitivity(dBm)	K(at antenna connector) = -174+10*Ig(bearer rate in bps)+Noise Figure+J (in Eb/No) Huawei Node B noise figure is 2.1 dB.
Actual load	L
Interference margin(dB)	M
SHO gain over fast-fading(dB)	N
Fast-fading margin(dB)	O
Min Signal Reception Strength(dBm)	P=Receiver Sensitivity at the antenna connector-F+H+M-N+O
Penetration loss(dB)	Q
Slow-fading standard deviation(dB)	R
Area coverage probability	S
Slow-fading margin(dB)	T
Maximum Allowable Path loss(dB)	U=E-P-Q-T

Link budget

Perhitungan *link budget* merupakan perhitungan tingkat daya yang dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat daya penerimaan lebih besar atau sama dengan level daya *threshold* ($RSL \geq R_{th}$). Untuk perhitungan link budget pada jaringan HSDPA, hampir sama dengan perhitungan pada WCDMA,

hanya saja pada perhitungan dari sisi uplink ditambahkan parameter HS-DPCCH, setelah parameter *body loss*, dan dari sisi downlink ditambahkan parameter SINR, setelah parameter *interference margin*.

Konfigurasi Node B

Pada jaringan HSDPA, untuk menangani trafik tidak diperlukan alokasi CE dari sisi uplink maupun downlink, akan tetapi untuk signaling masih diperlukan. Berikut ini adalah contoh alokasi CE, untuk jaringan HSDPA.

Tabel 4. Kebutuhan channel element pada HSDPA

Kebutuhan Channel Element pada HSDPA		
Trafik	Uplink	Downlink
HSDPA traffic	-	0 CE
HS-DPCCH	0 CE	-
UL A-DCH (DPCCH)	3 CE	-
DL A-DCH (DPCCH)	-	1 CE

Konfigurasi Iub

Konfigurasi Iub ditentukan berdasarkan konfigurasi pada *Node B*, dan perkiraan jumlah pengguna tetap yang dilayani dalam setiap sektor.

persamaan yang bisa digunakan untuk menentukan kebutuhan Iub adalah sebagai berikut.

$$L_{Iub.cs} = n \times v \times (1 + SHO) \times a \times p_{ov} \dots\dots\dots(13)$$

$$L_{Iub.ps/HS} = (n \times v \times (1 + SHO) \times a \times p_{ov} \times f_t + CCH) \dots\dots\dots(14)$$

$$S_{Iub} = N_C + N_D + A + sync \dots\dots\dots(15)$$

..

$$Iub_{total} = (L_{Iub.cs} + L_{Iub.ps} + L_{Iub.HS}) + S_{Iub} + O\&M \dots\dots\dots(16)$$

keterangan :

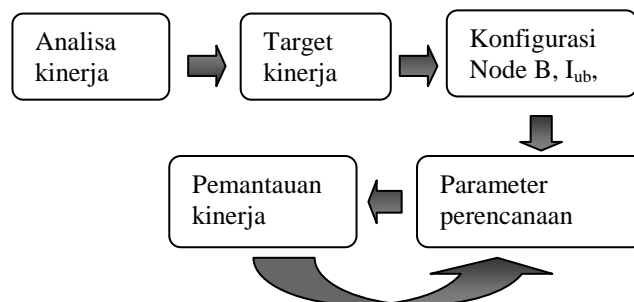
$L_{Iub.CS}$	= lebar pita Iub layanan CS (kbps)
$L_{Iub.PS/HS}$	= lebar pita Iub layanan PS / HSDPA (kbps)
n	= jumlah pengguna
v	= laju layanan (kbps)
a	= faktor aktivitas
SHO	= soft handover margin
p_{ov}	= protocol overhead
S_{Iub}	= kebutuhan Iub untuk signaling (cps)
f_t	= faktor throughput
CCH	= lebar pita pada CCH (kbps)
N_C	= signaling NBAP-C (cps)
N_D	= signaling NBAP-D (cps)
A	= signaling ALCAP (cps)
sync	= synchronisation signaling (cps)
O&M	= operational and maintenance signaling (cps)

Konfigurasi RNC

Pada bagian ini penyedia jaringan menentukan jumlah RNC pada suatu lokasi tertentu, dan bagaimana penyebarannya terhadap Node B. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam menentukan jumlah dan konfigurasi RNC adalah total trafik pada daerah tersebut, penyambungan I_{ub} dan batasan jumlah *site* atau sel.

2.5 Perencanaan jaringan HSDPA

Langkah-langkah dalam perencanaan jaringan HSDPA dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 5. Proses perencanaan jaringan HSDPA

Analisa kinerja jaringan R99

Setiap penyedia jaringan mengawasi dan menganalisa kinerja jaringan yang dimilikinya, termasuk juga untuk jaringan WCDMA. Dari proses tersebut akan didapatkan data-data yang dapat digunakan untuk perencanaan jaringan baru ataupun optimasi. Data tersebut meliputi :

- Daya rata – rata yang digunakan oleh Node B
- Rata – rata penambahan kapasitas
- Penggunaan RNC

Target kinerja HSDPA

Pada tahap ini ditentukan terlebih dulu jumlah sambungan minimal yang diinginkan.

Konfigurasi Node B, Iub, RNC

Konfigurasi baru pada Node B, I_{ub} , dan RNC ditentukan berdasarkan strategi perluasan HSDPA, dan juga permintaan *throughput* rata-rata.

Beberapa hal yang diperhatikan dalam upgrade Node B yaitu, konfigurasi *carrier*, alokasi *carrier* dalam satu sel, penambahan HSDPA *card adapter*, dan konfigurasi I_{ub} .

Parameter perencanaan HSDPA

Parameter perencanaan HSDPA dan pemantauan kinerja merupakan dua tahap terakhir pada perencanaan, beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain daya maksimum yang digunakan, jumlah kode, daerah dan nilai ambang *handover*.

Pemantauan kinerja jaringan

Setelah semua tahapan diatas dilaksanakan, maka tahap yang terakhir adalah pemantauan atas kinerja jaringan yang telah direncanakan. Ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan dari *Radio Access Network* (RAN).

2.6 Model Propagasi Outdoor

Pada tugas akhir ini, penulis akan membahas tentang penggunaan model propagasi pada daerah *Urban*. Daerah *Urban* memiliki ciri-ciri antara lain:

- Daerah pusat kota baik metropolis maupun kota menengah dengan gedung-gedung yang rapat dan tinggi.
- Gedung-gedung yang terdapat di daerah tersebut berkerangka logam dan betonnya tebal, sehingga membatasi propagasi radio melalui gedung.
- Gedung-gedungnya tinggi, sehingga kemungkinan terjadinya difraksi pada propagasi sinyal sangat kecil.
- Sinyal radio dalam perambatannya mengalami pantulan dengan redaman tertentu.
- Redaman oleh pepohonan diabaikan, karena pepohonan sangat jarang.
- Kendaraan yang bergerak banyak, sehingga menyebabkan perubahan karakteristik kanal secara kontinyu.

Model Propagasi COST231-HATTA

Pengembangan model Hatta oleh EURO_COST (*the European Co-operative for Scientific and Technical Research*) dan membentuk COST 231. Tujuan COST 231 agar formula Okumura-Hatta dapat digunakan pada frekuensi 1500 – 2000MHz. Berikut ini adalah rumus untuk mencari rugi-rugi pada model propagasi Cost231-Hatta.

$$\text{Pathloss} = L_u - a(H_m) + C_m \dots \dots \dots (17)$$

L_u , merupakan parameter yang berkaitan dengan pemancar, yang dijabarkan dengan rumus berikut.

$$L_u = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(H_b) + (44,9 - 6,55 \times \log(H_b)) \times \log(d) \dots \dots \dots (18)$$

Sedangkan $a(H_m)$, adalah parameter yang berkaitan dengan penerima, yang dijabarkan dengan rumus berikut.

$$a(H_m) = (1,1 \times \log(f) - 0,7) \times H_m - (1,56 \times \log(f) - 0,8) \dots \dots \dots (19)$$

C_m , merupakan faktor koreksi untuk masing jenis suatu daerah perambatan sinyal, nilainya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_m &= 0 \text{ (urban)} \\ &= -12 \text{ (suburban)} \\ &= -27 \text{ (rural)} \end{aligned}$$

Keterangan :

- f = frekuensi (MHz)
- H_b = tinggi antenna pemancar (m)
- H_m = tinggi antenna penerima (m)
- d = jarak (km)

Model Propagasi Standar / Standard propagation Model (SPM)

Standard propagation model (SPM), adalah suatu model propagasi berdasarkan rumus pada model propagasi Hata. Beberapa parameter disesuaikan lagi agar dapat diterapkan pada frekuensi 150 sampai dengan 3500 MHz, dan pada jarak 1 sampai dengan 20 km. Model propagasi ini bisa digunakan untuk memodelkan jaringan GSM 900/1800, UMTS, dan CDMA. Berikut ini adalah rumus dari SPM.

$$PL = K_1 + K_2 \times \log(1000 \times d) + K_3 \times \log(H_{BS} - H_{UE}) + K_4 \times \text{DiffractionLoss} + K_5 \times \log(1000 \times d) \times \log(H_{BS} - H_{UE}) + K_6 \times H_{UE} + \text{Clutter Loss} \dots \dots \dots (20)$$

Keterangan :

- PL = Path Loss (dB)
- K_1 = konstanta offset (dB)
- K_2 = faktor pengali $\log(1000 \times d)$
- d = jarak antara pemancar dan penerima (m)
- K_3 = faktor pengali $\log(H_{BS} - H_{UE})$
- $(H_{BS} - H_{UE})$ = tinggi efektif antenna pemancar (tinggi pemancar – tinggi penerima) (m)
- H_{UE} = tinggi antenna penerima (m)
- K_4 = faktor pengali untuk difraksi, nilai K_4 harus positif
- Diffraction Loss = Loss karena difraksi melalui suatu penghalang (dB)
- K_5 = faktor pengali $\log(1000 \times d) \times \log(H_{BS} - H_{UE})$
- K_6 = faktor pengali H_{UE}
- ClutterLoss = nilai Loss rata-rata

Tabel 5. Nilai konstanta K pada rumus SPM

	Minimum	Tipikal	Maksimum
K_2	20	44,9	70
K_3	-20	5,83	20
K_4	0	0,5	0,8
K_5	-10	-6,55	0
K_6	-1	0	0
K_7	-10	0	0

Tabel 6. Nilai K_1 pada rumus SPM

Jenis seluler	Frekuensi (MHz)	K_1
GSM 900	935	12,5
GSM 1800	1805	22
GSM 1900	1930	23
UMTS	2110	23,8
1xRTT	1900	23
WiMAX	2300	24,7
	2500	25,4
	2700	26,1
	3300	27,8
	3500	28,3

2.7 Network Dimensioning Tool dan Network Planning Tool

Network dimensioning tool adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung nilai parameter pada proses pendimensian jaringan. Network planning tool adalah suatu perangkat lunak yang dapat memberikan data perkiraan berupa

simulasi dan prediksi atas suatu jaringan. Network dimensioning tool dan network planning tool merupakan perangkat lunak yang dibuat khusus oleh vendor untuk memudahkan dalam proses pendimensian dan perencanaan jaringan secara keseluruhan. Beberapa contoh network dimensioning tool dan network planning tool seperti pada tabel Tabel 7. Vendor dan perangkat lunak yang digunakan

Vendor	Kegiatan		
	Drive Test	Pendimensian Jaringan	Perencanaan Jaringan
Nokia	Nemo	NetDim	NetAct
Ericsson	TEMS Investigation	TEMS Cell – Planner	TEMS Cell – Planner
Huawei	Genex Probe	Genex RND	Genex U-Net

Pada tugas akhir ini penulis menggunakan Genex RND dan Genex U-Net.

Genex RND

Beberapa fitur yang ada pada Genex RND, antara lain :

- Perhitungan *Link budget* (GSM, WCDMA, HSDPA, dan HSUPA)
- Mendukung pendimensian beberapa jaringan (WCDMA, HSDPA, dan HSUPA)
- Perhitungan jumlah *Node B*, *throughput Iub* dan *channel element dimensioning*.

Genex U-Net

Beberapa fitur yang ada pada Genex U-net, antara lain :

- mendukung sistem basis data koordinat dunia
- export ke Google earth
- mendukung beberapa berkas dari *GIS tool* (*MapInfo* dan *Arcview*)
- mendukung model propagasi standard
- prediksi dan simulasi pada daerah cakupan.

3. Perancangan Simulasi Jaringan HSDPA

Pendimensian jaringan

Langkah-langkah dalam pendimensian jaringan menggunakan perangkat lunak Genex RND adalah sebagai berikut :

- 1) Buka perangkat lunak RND, kemudian pilih salah satu *template*, yaitu R99
- 2) Data yang diperlukan dimasukkan pada parameter input, diantaranya yaitu jumlah penduduk, luas wilayah, dan layanan yang digunakan
- 3) Hasil pendimensian dapat dilihat setelah menekan tombol *calculate*. Beberapa hasil pendimensian jaringan diantaranya adalah nilai MAPL, jari-jari

sel, jumlah Node B, dan luas cakupan sel.

Perencanaan simulasi dan prediksi jaringan

Langkah-langkah dalam pendimensian jaringan menggunakan perangkat lunak Genex U-Net adalah sebagai berikut :

- 1) membuka perangkat lunak Genex U-Net kemudian pilih salah satu *template*, yaitu UMTS HSPA
- 2) memasukkan berkas peta yang akan digunakan sebagai daerah perencanaan jaringan, kemudian atur koordinatnya, yang ada pada task bar (tool - option – projection).
- 3) mengatur parameter pada pemancar secara keseluruhan, yang ada pada task bar (hexagonal design – manage template – HSDPA urban 3 sector), parameter masukan diantaranya yaitu, jumlah sektoral dan sudutnya, radius sel, jenis antena, dan pengaturan pada sel.
- 4) menentukan batas daerah cakupan atau plotting pada peta, kemudian akan terbentuk beberapa sel yang dengan daerah cakupan hexagonal bersusun.
- 5) menambahkan sejumlah pemancar sesuai dengan hasil pendimensian jaringan, dengan menekan tombol pada task bar (New transmitter or station), kemudian tempatkan pada posisi yang diinginkan.
- 6) membuat peta trafik dengan mengarahkan kursor pada jendela explorer, kemudian bagian Geo, klik kanan pada bagian trafik buat environment map.
- 7) membuat simulasi dengan mengarahkan kursor pada jendela explorer bagian Data, klik kanan pada UMTS simulations, pilih new, kemudian centang pada source map, peta trafik yang sudah dibuat, klik Ok untuk memproses.
- 8) membuat prediksi daerah cakupan dilakukan dengan mengarahkan kursor pada jendela explorer bagian Data pilih Predictions. Terdapat beberapa pilihan prediksi yang dapat diproses pada U-net. Pada tugas akhir ini hanya dibuat beberapa prediksi saja, diantaranya adalah prediksi cakupan tingkatan kuat sinyal, prediksi cakupan sinyal pilot, prediksi cakupan daya pada kanal HS-SCCH, prediksi cakupan daya pada kanal HS-PDSCH, dan prediksi cakupan laju data pada RLC.

4. Analisis dan Pembahasan

Daerah Perencanaan

Pada tugas akhir ini daerah perencanaan yang dipilih adalah kota Semarang pada tahun 2014, tepatnya pada kecamatan kota Semarang Selatan, dan kecamatan kota Semarang Tengah. data mengenai jumlah penduduk, luas wilayah, dan asumsi jumlah pengguna (45 % dari jumlah penduduk), seperti pada tabel berikut.

Tabel 8. Data masukan untuk perencanaan

Kecamatan	Luas (km ²)	Jumlah penduduk (2014)	Jumlah pengguna (jml.penduduk x 45 %)
Semarang Tengah	5,35356022	71710	32270
Semarang Selatan	6,1456801	86570	38957
Jumlah	11,499240	158280	71227

4.1 Pendimensionan Jaringan Perencanaan Trafik

Asumsi perencanaan trafik untuk layanan suara, dengan jumlah 400 menit, 90% panggilan terjadi pada hari kerja (C_p), (sisanya (C_s), 10% pada saat libur), jumlah hari kerja (t_h), 21 hari tiap bulan, kemudian 10% panggilan terjadi pada jam sibuk, selanjutnya di cari rata-rata pemakaian pada jam sibuk (penggunaan per menit tiap bulan) sebagai berikut.

penggunaan tiap menit tiap jam sibuk (u_s) = $C_a \times C_p \times \frac{C_s}{t_h} = 400 \times 0,9 \times \frac{0,10}{21} = 1,71$

Kemudian dibagi dengan 60, sehingga didapat 0,0286 E, misalkan rata-rata waktu panggilan (t_p), 120 detik, maka BHCA adalah,

$$BHCA = u_s \times \frac{3600}{t_p} = 0,0286 \times \frac{3600}{120} = 0,86$$

Hal itu berarti pengguna melakukan panggilan rata-rata pada jam sibuk (M_c), sebanyak 0,86 kali.

$$M_c = BHCA \times \frac{td}{3600} = 0,86 \times \frac{120}{3600} = 0,0286 E.$$

Asumsi perencanaan trafik untuk layanan data, seperti pada tabel 9.

Tabel 9. Asumsi perencanaan layanan data

Layanan Packet Switch	Distribusi Layanan (%)	Durasi (s)	Penetrasi layanan (%)	BHCA	BW (kbps)	(Offered bit quantity) OBOQ (kbit)
PS64K	20	60	40	0,8	64	246
PS128K	15	50	20	0,75	128	144
PS384K	10	40	10	0,65	384	100
HSDPA	25	20	50	0,7	1200	2100

Asumsi trafik untuk layanan suara data layanan data secara keseluruhan adalah sebagai berikut pada tabel 10.

Tabel 10. Asumsi perencanaan trafik keseluruhan

Layanan	Uplink	Downlink	GoS (%)
AMR12,2k	0,02 E	0,02 E	2
CS64k	0,001 E	0,001 E	2
PS64k	90 kbit	246 kbit	-
PS128k	-	144 kbit	-
PS384	-	100 kbit	-
HSDPA	-	2100 kbit	-

Pendimensionan Antar Muka Udara

Perhitungan antar muka udara bertujuan untuk menghitung nilai MAPL dan jari-jari sel. Dengan mengacu pada

Tabel 11. perhitungan link budget WCDMA

	UL	DL	Rumus
Max. TCH Transmit Power(dBm)	21	31	A
Cable loss Tx(dB)	-	3	B
Body loss Tx(dB)	-	-	C
Antenna gain Tx(dBi)	-	18	D
EIRP(dBm)	21	46	E = A-B-C+D
Antenna gain Rx(dBi)	18	-	F
Cable loss Rx(dB)	3	-	G
Body loss Rx(dB)	-	-	H
Node B Noise figure(dB)	4,6	7	I
Required Eb/No(dB)	3,6	5,3	J
Receiver sensitivity(dBm)	-177,74	-113,64	K= -174+10Log(service rate)+noise figure+J
Actual load	0,5	0,75	L
Interference margin(dB)	3,01	8,55	M
SHO gain over fast-fading(dB)	-	-	N
Fast-fading margin(dB)	-	-	O
Min Signal Reception Strength(dBm)	-132,73	-105,09	P= K-F+H+M-N+O
Penetration loss(dB)	10	10	Q
Slow-fading standard deviation(dB)	8	8	R
Area coverage probability	0,98		S
Slow-fading margin(dB)	11,59	11,59	T
Maximum Allowable Path loss/MAPL (dB)	132,14	129,5	U = E-P-Q-T

Setelah nilai MAPL didapatkan, kemudian mencari jari-jari sel yaitu dengan menggunakan rumus model propagasi seperti pada persamaan 19 dan 20. Nilai MAPL diasumsikan sebagai nilai path loss,

selanjutnya mencari nilai jarak antara pemancar dan penerima (d). asumsi untuk tinggi pemancar adalah 30 m, dan tinggi penerima 1,5 m, sehingga didapatkan hasil seperti pada .

Tabel 12. Nilai MAPL dan jari-jari sel

	MAPL (dB)	Jari-jari sel untuk model propagasi	
		SPM (km)	COST-231 (km)
WCDMA	129,5	0,65	0,62
WCDMA+HSDPA	126,65	0,54	0,5

Pada proses selanjutnya model propagasi yang digunakan adalah SPM. Dari pendimensian jaringan didapat data yang digunakan untuk perencanaan jaringan menggunakan U-Net, diantaranya yaitu jumlah Node B, 14 buah, jari-jari sel 0,65 km

Konfigurasi Node B

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } CE_{A-DCH} &= \frac{\text{jumlah pengguna} \times \text{throughput sel}}{\text{throughput pengguna} \times 3600} \times \\ &A - DCH_{DL} \times (r_{HS} + \text{trafik burst HSDPA}) \times \\ &(r_{HS} + \text{laju retransmisi}) \\ \text{Jumlah } CE_{A-DCH} &= \frac{1696 \times 2100}{520 \times 3600} \times 1 \times (0,54 + 25\%) \times \\ &(0,54 + 10\%) \\ &= 2,72 \text{ CE} \approx 3 \text{ CE} \end{aligned}$$

Sehingga dari perhitungan diatas, diperlukan tambahan 3 CE pada sisi downlink Node B.

Konfigurasi I_{ub}

$$\begin{aligned} DCH &= n \times v \times (1 + SHO) \times a \times p_{ov} \times f_t \\ &= 424 \times 520 \times (1 + 40\%) \times 1 \times \\ &1,23 \times 1,265 \\ &= 480.278,19 \text{ kbps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ub_{Layanan}} &= DCH + CCH \\ &= 480.278,19 + 356,4 \\ &= 480.634,5984 \text{ kbps} \\ &= 1.160.953,136 \text{ cps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{Iub} &= N_C + N_D + A + \text{sync} \\ &= 160 + 160 + 160 + 10 \\ &= 490 \text{ cps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ub_{total}} &= L_{Iub.HS} + S_{Iub} + O\&M \\ &= 1.160.953,136 + 490 + 150 \\ &= 1.162.083,136 \text{ cps} \\ &= 481,1024 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Kapasitas suatu transmisi yang digunakan dinyatakan dalam E₁, dimana satu E₁ sama dengan 2,048 Mbps, sehingga jumlah tambahan E₁ yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Jumlah } E_1 = \frac{481,1024}{2,048} = 235 E_1$$

Konfigurasi RNC

Tahap terakhir pada pendimensian jaringan HSDPA adalah konfigurasi pada RNC, namun pada tahap ini penulis tidak membahasnya secara detail. Data-data yang telah didapat dari tahap sebelumnya digunakan untuk, menyesuaikan kemampuan yang dimiliki oleh RNC yang ada.

4.2 Perencanaan Jaringan HSDPA Menggunakan GENEX U-Net

Berdasarkan data perencanaan trafik, selanjutnya dibuat peta trafik dengan pengaturan seperti pada tabel 13.

Tabel 13. Pengaturan pada peta trafik

Service		Calls/ hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
Mobile Internet Access	PDA	0,65		12,5	12,5
Multimedia Messaging Service	Mobile Phone	0,8		30,75	30,75
Voice	Mobile Phone	0,82	120		
Video Conferencing	PDA	0,75	100	18	18
HSDPA	HSDPA terminal	0,23		11,25	87,5
HSDPA	Mobile Phone	0,23		11,25	87,5
HSDPA	PDA	0,23		11,25	87,5

Selanjutnya dari hasil simulasi akan didapatkan beberapa data hasil simulasi, namun disini penulis hanya mengamati perubahan jumlah sambungan HSDPA, terhadap jumlah jumlah Node B dan juga jumlah carrier. Sebelum melakukan simulasi, ditentukan dulu jumlah minimal sambungan HSDPA yang diinginkan, misalkan pada simulasi ini minimal dua sambungan HSDPA. Hasil simulasi awal tiap sel satu carrier didapatkan data seperti pada tabel 16

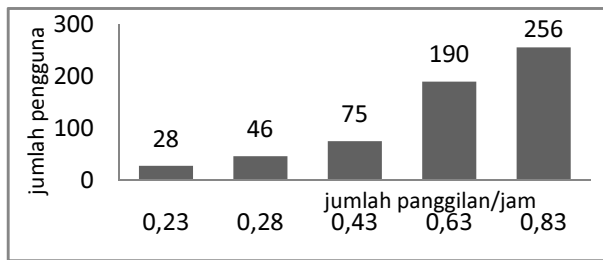
Tabel 16. Data hasil percobaan penambahan Node B dengan tiap sel satu carrier

Jumlah Site	Jumlah sambungan WCDMA	Jumlah sambungan HSDPA	Sambungan ditolak/ditunda	Jumlah semua sambungan
14	1423	7	2521	3947
15	1470	9	2486	3961
16	1508	14	2430	3943
17	1552	12	2389	3943
18	1639	14	2342	3984
19	1691	17	2275	3972
20	1728	17	2231	3966

Dari hasil simulasi pada tabel 16, penambahan jumlah site dengan satu carrier belum memenuhi target. Selanjutnya simulasi dengan penambahan Tabel 17. Data hasil percobaan penambahan Node B dengan tiap sel dua carrier

Jumlah Site	Jumlah sambungan WCDMA	Jumlah sambungan HSDPA	Sambungan ditolak/ditunda	Jumlah semua sambungan
14	2973	23	974	3958
15	3019	24	905	3934
16	3079	28	883	3974
17	3105	30	801	3916
18	3180	37	780	3986
19	3227	36	682	3992
20	3242	32	633	3888

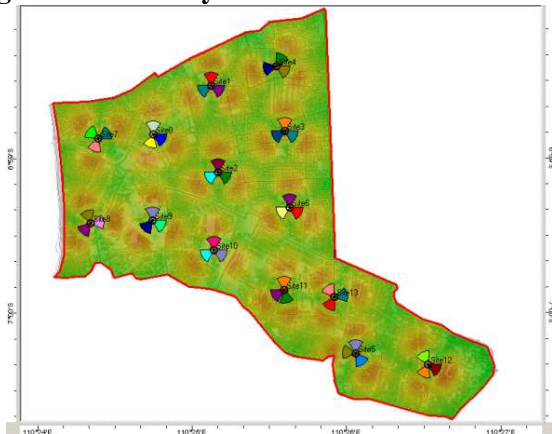
Dari simulasi kedua adalah simulasi jumlah panggilan per jam terhadap jumlah sambungan HSDPA, dalam simulasi ini digunakan 14 Node B, dengan menambah jumlah alokasi panggilan HSDPA per jam, didapatkan hasil simulasi seperti pada gambar 6.



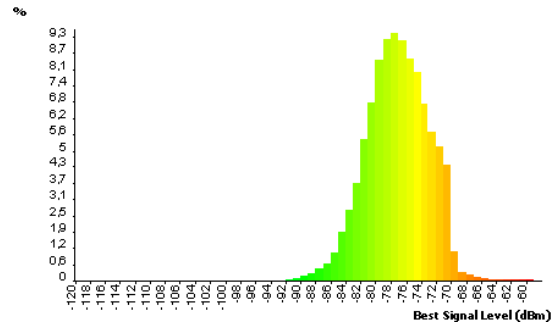
Gambar 6. Histogram jumlah pengguna HSDPA terhadap panggilan per jam

Tahap selanjutnya setelah simulasi adalah prediksi pada daerah cakupan.

Prediksi Daerah Cakupan Berdasarkan Tingkatan Kuat Sinyal



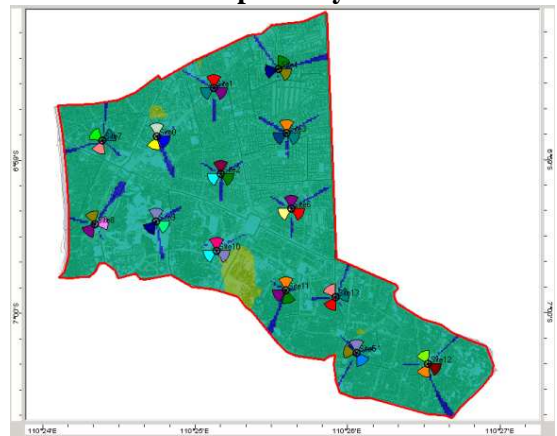
Gambar 7. Peta cakupan tingkatan kuat sinyal



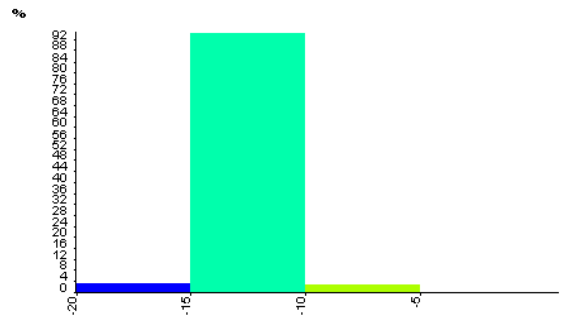
Gambar 8. Histogram prediksi cakupan tingkatan kuat sinyal

Dari gambar 7 dan 8, didapatkan persentase cakupan tingkat kuat sinyal rata-rata $-74,57$ dBm. Rekomendasi dari ETSI minimal kuat sinyal lebih dari -101 dBm.

Prediksi Daerah Cakupan Sinyal Pilot



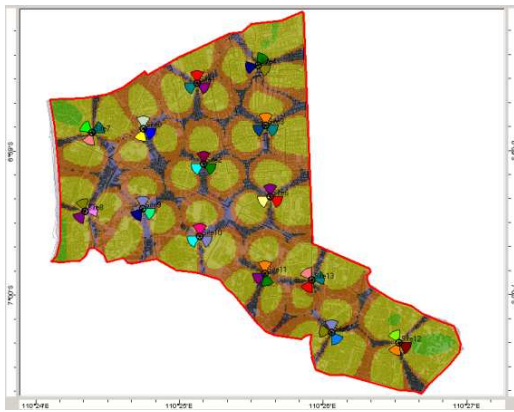
Gambar 9. Peta cakupan sinyal pilot



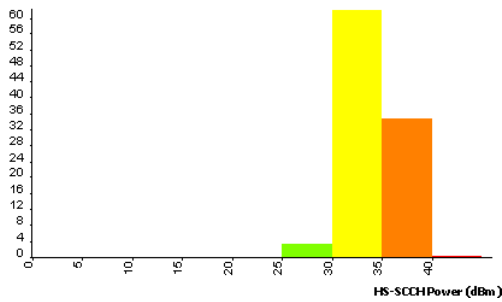
Gambar 10. Histogram prediksi daerah cakupan sinyal pilot

Dari gambar 9 dan 10, presentase sinyal pilot tertinggi 92 % berada pada rentang -15 sampai -10 dB. Rekomendasi dari ETSI minimal sinyal pilot lebih dari -20 dB.

Prediksi Daerah Cakupan Daya pada HS-SCCH



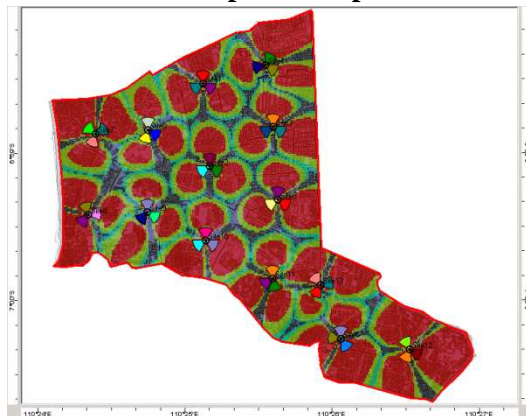
Gambar 11 Peta cakupan tingkatan daya HS-SCCH



Gambar 12. Histogram prediksi daerah cakupan daya HS-SCCH

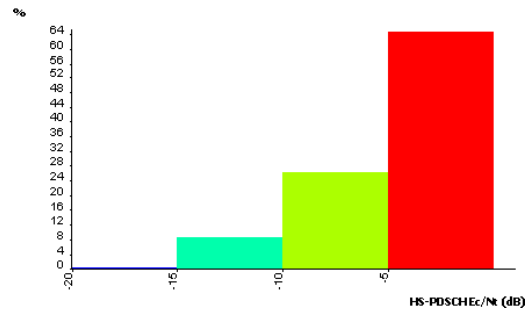
Pada gambar 12, persentase tertinggi cakupan daya HS-SCCH 60 % pada rentang 30 sampai 35 dBm, Hubungan antara nilai daya HS-SCCH dan faktor G dapat dilihat pada sub-bab pendimensionan kapasitas.

Prediksi Daerah Cakupan Gain pada HS-PDSCH



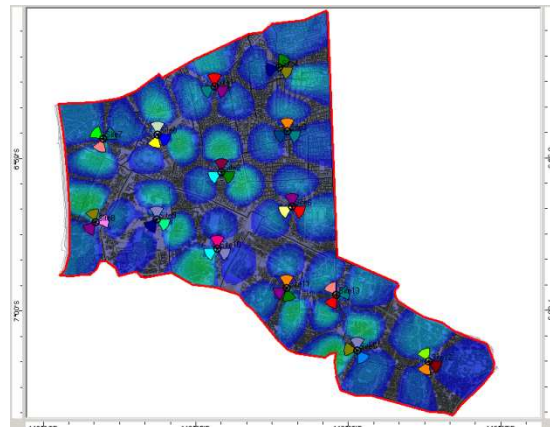
Gambar 13. Peta cakupan tingkatan daya pada HS-PDSCH

Pada gambar 4.15 menunjukkan persentase tertinggi yaitu 64 % pada daerah cakupan mempunyai gain yang dinyatakan dalam E_c/N_t , sebesar -5 sampai 0 dB pada kanal HS-PDSCH. Semakin besar pada gain HS-PDSCH maka semakin besar daya yang digunakan untuk transmisi.

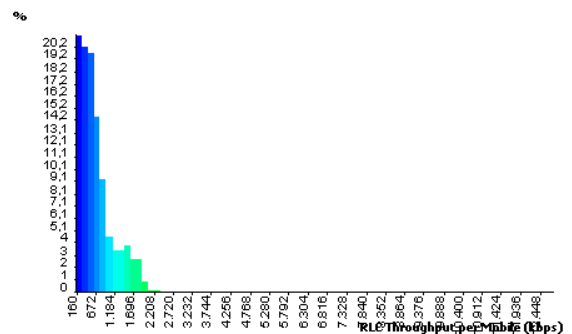


Gambar 14. Histogram prediksi daerah cakupan daya pada HS-PDSCH

Prediksi Daerah Cakupan HSDPA (RLC)



Gambar 15. Peta cakupan tingkatan laju data pada HSDPA (RLC)



Gambar 16. Histogram prediksi laju data pada daerah cakupan HSDPA

Pada gambar 16 menunjukkan bahwa, persentase tertinggi adalah 20,2 % pada daerah cakupan mempunyai throughput pada RLC sebesar 160 kbps. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi throughput pada RLC, diantaranya adalah jenis UE yang digunakan oleh pengguna.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Rekomendasi penambahan jumlah *Channel element* dan kapasitas I_{ub} pada jaringan HSDPA di kota Semarang adalah :
 - Jumlah channel element 3 CE

- Kapasitas I_{ub} 481,1024 Mbps dengan jumlah E_1 adalah 235.
- 2) Pada hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah sambungan layanan HSDPA dapat ditingkatkan dengan :
- menambah jumlah Node B
 - menambah jumlah carrier
 - menambah alokasi panggilan per jam
- 3) perangkat lunak GENEX U-Net dapat memberikan prediksi tentang daerah cakupan berdasarkan kuat sinyal, daerah cakupan sinyal pilot, daerah cakupan daya pada kanal HS-SCCH, daerah cakupan pada kanal HS-PDSCH, dan daerah cakupan laju data pada RLC.

5.2 Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk penelitian lanjutan dapat ditambahkan analisis mengenai mekanisme penjadwalan dan pengaruhnya terhadap kinerja jaringan HSDPA.
- 2) Perencanaan dapat di kembangkan dengan mengusung teknologi HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), dan HSPA (*High Speed Packet Access*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aircom International, *UMTS Applied planning for experience Radio Engineers*, Trainee Documents, April 2009.
- [2]. Al-Jawal, *Understanding UMTS*, Trainee Document.
- [3]. Apriyani, Yeni, *Evaluation Of Packet SchedulingG Algorithm To Support Video Streaming Application On High Speed Downlink Packet Acces (HSDPA) Network*, Tugas akhir, Institut Teknologi TELKOM, Bandung, 2008.
- [4]. Atoll, *User Manual RF Planning & Optimisation Software.2009*
- [5]. Blomeier, Stefan, *HSDPA Design Details & System Engineering*, Inacon GmbH, Germany, 2006.
- [6]. Dahlman, Erik, Stefan Parkvall, Johan Skold and Per Beming, *3G Evolution HSPA And LTE for Mobile Broadband*, Academic Press, London, United Kingdom, 2007.
- [7]. Heikilla, Tommi, *HSDPA Radio Network Planning*, PG Course in Radio Communications, Februari, 2006.
- [8]. Holma, Harri and Antti Toskala, *HSDPA/HSUPA for UMTS*, JohnWiley&Sons, England, 2006.
- [9]. Holma, Harri and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*, JohnWiley&Sons, England, 2004.
- [10]. Huawei, *User Manual GENEX U-Net RND Radio Network Dimensioning Software V200R002*, People's Republic of China, 2007.

- [11]. Huawei, *User Manual GENEX U-Net V200R003*, People's Republic of China, 2009.
- [12]. Huawei, *HSDPA RRM And Parameters, ISSUE 1.0*.
- [13]. Huawei, *Principles Of HSDPA*, GSM-to-UMTS Training Series, V1.0
- [14]. Huawei, *W-Radio Network Dimensioning Operation Guide, version 3.2*
- [15]. Kurniawan, Prima, *Perencanaan Ulang Site Outdoor Coverage System Jaringan Radio GSM 900 dan 1800 di Semarang*, Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [16]. Lamminmaki, Jyri, *HSDPA Planning Guide, v.1.1*, Nokia, 2005.

BIODATA



Mukhlisin Ali Akhmadi, lahir di Pati, 25 Mei 1984. Menempuh pendidikan di SDN I Trangkil hingga tahun 1997, SLTPN I Wedarijaksa hingga tahun 1999, SMUN 2 Pati hingga tahun 2003, dan Politeknik Negeri Semarang, jurusan teknik elektro hingga tahun 2006. Saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, dengan mengambil konsentrasi Elektronika Telekomunikasi.

Menyetujui dan Mengesahkan,

Pembimbing I

Imam Santoso, S.T., M.T.
NIP. 19701203 199702 1 001

Pembimbing II

Sukiswo, S.T., M.T.
NIP. 19690714 199702 1 001