

ANALISIS UNJUK KERJA MULTI BAND CELL PADA GSM DUAL BAND

Budihardja Murtianta, Andreas Ardian Febrianto,

Rosalia Widya Pratiwi

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer – UKSW

Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

INTISARI

Hierarchical Cell Structure (HCS) merupakan aplikasi yang digunakan oleh *provider* pada jaringan *GSM Dual Band* dengan memprioritaskan *band* 1800 dalam pemilihan sel. *Multi Band Cell (MBC)* merupakan aplikasi terbaru yang memiliki perbedaan dengan *HCS* yakni dalam hal kapasitas jaringan dan jumlah *Cell Identified (CI)*. *MBC* bertujuan untuk menambah kapasitas jaringan yang digunakan sebagai kanal trafik telekomunikasi. Tulisan ini bertujuan untuk meneliti unjuk kerja *GSM Dual Band* dengan aplikasi *MBC*. Dari hasil penelitian diperoleh nilai *TCH Congestion rate* kurang dari 2%, *Call Set-up Success Rate* pada rentang 93%-98%, *Call Drop Rate* pada rentang 0,13% hingga 0,5%, *Handover Success Rate* pada rentang 97% hingga 100%, *Rx Qual* pada rentang 0 hingga 4 dan *SQI* pada rentang 19 hingga 27. Sedangkan *Rx Level* pada rentang -65 dBm hingga -86 dBm.

Kata Kunci: *Key Performance Indicator, Hierarchical Cell Structure, Multi Band Cell, GSM Dual Band.*

1. PENDAHULUAN

Keterbatasan *bandwidth* pada *band* 900 (*GSM 900*) dan meningkatnya kebutuhan akan jasa telekomunikasi, mengakibatkan adanya penambahan *bandwidth* yakni *band* 1800 (*DCS 1800*) yang dilakukan oleh penyelenggara jasa telekomunikasi (*provider*). *DCS 1800* memiliki *bandwidth* tiga kali lebih banyak dibandingkan *GSM 900*, sehingga penambahan *bandwidth DCS 1800* merupakan

solusi yang tepat. Kombinasi antara *GSM 900* dan *DCS 1800* disebut sebagai *GSM Dual Band*.

Adanya perbedaan *path loss* antara *GSM 900* dengan *DCS 1800* berakibat pada perbedaan kuat isyarat yang diterima oleh *Mobile Station (MS)*. *Base Station Controller (BSC)* berperan dalam pemilihan sel yang tepat digunakan oleh *MS* dalam berkomunikasi, yakni sel yang memiliki kuat isyarat pada aras yang tinggi. Sehingga apabila tidak ada sistem yang mengatur dalam penempatan sel, maka *DCS 1800* tidak berfungsi maksimal, karena kuat isyaratnya lebih rendah dibandingkan *GSM 900*.

Hierarchical Cell Structure (HCS) merupakan aplikasi yang digunakan oleh *provider* dengan memprioritaskan *band 1800* dalam pemilihan sel. [10] Kekurangan yang dimiliki oleh *HCS* adalah adanya *blocking* yang masih tinggi, karena jumlah kanal yang terbatas. Oleh karena itu, untuk mengurangi *blocking* maka penambahan jumlah kanal merupakan solusi yang paling tepat. *Multi Band Cell (MBC)* merupakan aplikasi terbaru yang memiliki perbedaan dengan *HCS* yakni terhadap kapasitas jaringan dan jumlah *Cell Identified (CI)*. *MBC* bertujuan untuk menambah kapasitas jaringan yang digunakan sebagai kanal trafik telekomunikasi, sedangkan perubahan *CI* memberikan keuntungan terhadap *BSC* dalam pengontrolan dan pemilihan sel dan *MS* dalam melakukan pengukuran kuat isyarat terhadap kandidat *handover*. Penulisan ini bertujuan untuk meneliti unjuk kerja *GSM Dual Band* dengan aplikasi *MBC* berdasar pada parameter *Call Set-up Success Rate*, *Call Drop Rate*, *Handover Success Rate*, *Traffic Channel Congestion Rate*, *Rx Level*, *Rx Quality*, dan *SQI*.

2. METODE PENELITIAN

Kondisi Daerah yang Diteliti

Pada penelitian dilakukan pengukuran terhadap unjuk kerja *MBC* dan *HCS* pada area padat trafik telekomunikasi. Penelitian ini dilakukan di area padat trafik di Semarang yaitu area Simpang Lima dan Tugu Muda. Area tersebut disebut sebagai area padat trafik karena memiliki permintaan panggilan yang lebih tinggi dibandingkan area lainnya, sehingga kedua area tersebut dicakup oleh dua jaringan seluler yaitu *GSM 900* dan *DCS 1800*.

Metode Pengumpulan Data melalui *Drive Test*

Dalam peninjauan unjuk kerja jaringan, parameter yang diukur melalui *drive test* antara lain *Rx Level*, *Rx Quality* dan *SQI*.

Rx Level

Rx Level yaitu kuat isyarat dari isyarat termodulasi yang terukur oleh *MS*. *Rx Level* yang diukur adalah *Rx Level* dari *serving cell* dan *neighbor cells* untuk melihat kandidat *handover*. *Rx Level* merupakan salah satu dari parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas jaringan, yang ditetapkan oleh *ETSI* (*European Telecommunications Standards Institute*) pada *GSM Technical Specification 05.08*. Standar yang ditetapkan oleh *ETSI* tersebut disesuaikan oleh tiap *provider*, sehingga setiap *provider* memiliki standar tersendiri yang tetap mengacu pada standar *ETSI*. Rentang nilai *Rx Level* menurut standar PT.XL Axiata Tbk ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rentang *Rx Level*.

RxLev (dBm)	Simbol Warna	Keterangan
-120 hingga -100	Merah	Sangat Buruk
-100 hingga -90	Oranye	Buruk
- 90 hingga -80	Kuning	Cukup
-80 hingga -70	Hijau muda	Baik
-70 hingga -10	Hijau tua	Sangat Baik

C/I (Carrier to Interference Ratio)

Interferensi yang terjadi pada frekuensi yang sama disebut sebagai *co-channel interference*. Parameter *C/I* merupakan rasio perbandingan antara daya isyarat termodulasi *MS* dengan daya isyarat termodulasi *MS* lain yang mengakses frekuensi yang sama. Standar *C/I* yang ditetapkan oleh *ETSI* adalah $>9\text{dB}$, yaitu selisih kuat isyarat yang diterima oleh *MS* dengan isyarat lain minimal 9dB .

Rx Quality

Rx Quality merupakan tingkat kualitas isyarat dari isyarat termodulasi yang diterima *MS*, yang merupakan konversi nilai *BER* (*Bit Error Rate*). *Rx Quality* merupakan salah satu dari parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas jaringan radio, yang ditetapkan oleh *ETSI*, yang terdapat pada *GSM Technical*

Specification 05.08. Rentang nilai *Rx Qual* menurut standar *ETSI* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rentang *Rx Quality* menurut Standar *ETSI*.

Level <i>RxQual</i>	<i>BER</i> (%)
0	$BER < 0.1$
1	$0,26 < BER < 0,3$
2	$0,51 < BER < 0,64$
3	$1,0 < BER < 1,3$
4	$1,9 < BER < 2,7$
5	$3,8 < BER < 5,4$
6	$7,6 < BER < 11,0$
7	$BER > 15$

Berdasarkan standar tersebut, rentang nilai *Rx Qual* menurut standar PT.XL Axiata Tbk ditunjukkan pada Tabel 3.

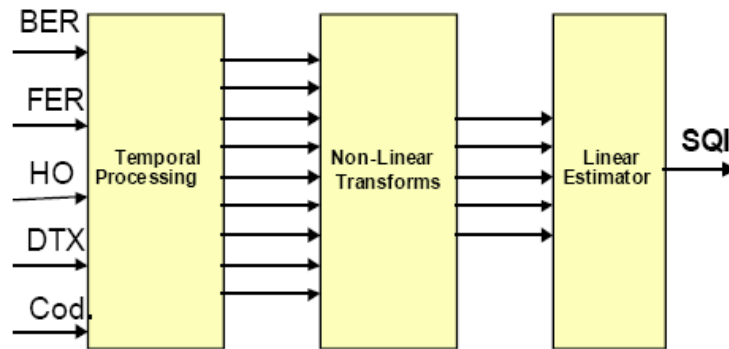
Tabel 3. Rentang *Rx Quality* menurut Standar PT.XL Axiata Tbk.

Level <i>RxQual</i>	Simbol Warna	Keterangan
0-2	Hijau	Baik
2-4	Kuning	Cukup Baik
4-6	Orange	Buruk
6-7	Merah	Sangat Buruk

SQI

SQI (*Speech Quality Index*) merupakan taksiran kualitas pembicaraan yang dirasakan oleh pendengar. Tidak seperti *Rx Level* dan *Rx Quality* yang termasuk dalam parameter yang ditetapkan oleh *ETSI* dalam *GSM Technical Specification* 05.08, *SQI* merupakan parameter yang terdapat pada *software TEMS Investigation*. Kualitas pembicaraan yang terukur dalam *SQI* mencakup kualitas jaringan, sehingga konversi untuk mendapatkan *SQI* lebih kompleks daripada *Rx Qual* karena mencakup beberapa aspek meliputi *BER* (*Bit Error Rate*), *FER* (*Frame Erasure Rate*), *HO* (*Handover Events*), *DTx* (*Discontinuous Transmission*) dan *codec* yang

diproses sedemikian rupa dalam *software Tems Investigation* menghasilkan parameter *SQI* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pembentukan *SQI*.

Rentang nilai *SQI* menurut standar PT.XL Axiata Tbk ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rentang *SQI*.

<i>SQI</i>	Warna	Keterangan
-20 hingga 0	Merah	Buruk
0 hingga 18	Kuning	Medium
18 hingga 30	Hijau	Baik

Band yang Menangani Panggilan

Untuk mengetahui *band* yang menangani panggilan, maka dengan data *drive test* yang diambil dapat diketahui melalui penomoran *BTS* dan sektor-sektornya. Penomoran ini diambil dari *CI (Cell Identified)* yang merupakan bagian dari *CGI (Cell Global Identity)*. Perbandingan list kandidat *handover* dan *band* yang melayani *MS* antara *GSM Dual Band* dengan aplikasi *HCS* dengan *GSM Dual Band* dengan aplikasi *MBC* akan diambil berdasarkan titik-titik sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penamaan sektor yang menangani area yang diukur pada *GSM Dual Band* dengan aplikasi *HCS* dan *MBC* ditunjukkan pada Tabel 5.



(a)

(b)

Gambar 2. Titik-Titik Sampel yang Diambil (a) Simpang Lima dan (b) Tugu Muda.

Tabel 5. Penamaan Sektor pada *GSM Dual Band* dengan aplikasi *HCS*.

CI	Keterangan	
	HCS	MBC
22061	Band 900 Sektor 1 area T	Band 900 dan Band 1800 Sektor 1 area T
22062	Band 900 Sektor 2 area T	Band 900 dan Band 1800 Sektor 2 area T
22063	Band 900 Sektor 3 area T	Band 900 dan Band 1800 Sektor 3 area T
56497	Band 1800 Sektor 1 area T	-
56498	Band 1800 Sektor 2 area T	-
56499	Band 1800 Sektor 3 area T	-
22151	Band 900 Sektor 1 area S	Band 900 dan Band 1800 Sektor 1 area S
22152	Band 900 Sektor 2 area S	Band 900 dan Band 1800 Sektor 2 area S
22153	Band 900 Sektor 3 area S	Band 900 dan Band 1800 Sektor 3 area S
56767	Band 1800 Sektor 1 area S	-
56768	Band 1800 Sektor 2 area S	-
56769	Band 1800 Sektor 3 area S	-

Keterangan:

T = Tugu Muda dan S = Simpang Lima

Metode Pengumpulan Data melalui Database BSC

Untuk memperoleh jumlah kanal *MBC* dan *HCS* maka diperlukan data jumlah kanal yang diperoleh melalui *database BSC* pada *BTS* di area Tugu Muda dan Simpang Lima. *KPI* dalam peninjauan unjuk kerja meliputi *Call Set-up Success Rate*, *Call Drop Rate*, *Handover Success Rate*, *Traffic Channel Congestion Rate* diperoleh melalui *database BSC*. Selain itu diperoleh data intenditas trafik pada jam sibuk untuk menganalisis penggunaan kanal trafik pada jam sibuk.

Metode Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari *database BSC* diolah menggunakan *pivot table* yang terdapat pada *Microsoft Excel*. Sedangkan data yang diambil melalui *drive test* berupa *logfile* diolah dengan *software TEMS Investigation*.

3. HASIL PENELITIAN DAN ANALISISNYA

Perbandingan Kapasitas Jaringan antara *MBC* dengan *HCS*

Perbedaan antara *GSM Dual Band* dengan aplikasi *HCS* dengan *GSM Dual Band* dengan aplikasi *MBC* adalah adanya penambahan kapasitas jaringan telekomunikasi tanpa adanya penambahan lebar pita.

Tabel 6. Kapasitas Jaringan Telekomunikasi di *BTS* Simpang Lima pada *GSM Dual Band* dengan Aplikasi *HCS* dan *MBC*.

Sektor	Simpang Lima				Tugu Muda			
	<i>HCS</i>		<i>MBC</i>		<i>HCS</i>		<i>MBC</i>	
	900	1800	900	1800	900	1800	900	1800
1	27	27	27	32	28	28	26	32
2	27	27	25	32	27	28	25	32
3	27	27	27	32	27	28	27	32

Berdasarkan Tabel 6 kenaikan kapasitas jaringan berada pada rentang 3,57 % hingga 9,25 %. Penambahan kapasitas tanpa penambahan lebar pita dapat diperoleh

karena *TDMA (Time Division Multiple Access)* yang digunakan oleh jaringan *GSM*. Pada sistem *TDMA* ini, pada satu frekuensi pembawa terdapat 8 slot waktu yang digunakan sebagai kanal, sehingga 8 *MS* dapat mengakses frekuensi yang sama dengan adanya perbedaan slot waktu.

BTS Tugu Muda sektor 1 memiliki efektifitas trafik sebesar 24,008 % hingga 38,39 %, sektor 2 sebesar 42,071 % hingga 64,19 %, dan sektor 3 sebesar 74,35 % hingga 98,49 %. *BTS* Simpang Lima sektor 1 memiliki efektifitas trafik sebesar 27,44 % hingga 45,76 %, sektor 2 sebesar 40,165 % hingga 56,36 %, dan sektor 3 sebesar 40,68 % hingga 56,074 %. Berdasarkan data tersebut sel yang memiliki efektifitas kanal terbesar adalah sektor 3 di *BTS* Tugu Muda dan sektor 2 di *BTS* Simpang Lima.

Perubahan Sel dan Jumlah Kandidat Sel *Handover*

Perbedaan *GSM Dual Band* dengan *MBC* dengan *GSM Dual Band* dengan *HCS* terhadap prioritas *band* yang menangani panggilan, *GSM Dual Band* dengan *HCS* memprioritaskan *band* 1800 untuk menangani panggilan, sedangkan *GSM Dual Band* dengan *MBC* tidak memprioritaskan *band* manapun.

Tabel 7. Perubahan *Cell Identified* pada titik sampel antara *GSM Dual Band* dengan Aplikasi *HCS* dengan *GSM Dual Band* dengan Aplikasi *MBC*.

Titik Sampel	Simpang Lima		Tugu Muda	
	<i>HCS</i>	<i>MBC</i>	<i>HCS</i>	<i>MBC</i>
1	56767	22151	56497	22061
2	56768	22152	56498	22062
3	56768	22152	56498	22062
4	56769	22153	56499	22063
5	-	-	56499	22063

Tabel 7 menunjukkan bahwa dengan adanya aplikasi *MBC* terjadi perubahan *Cell Identified*, bilamana *MBC* memiliki satu *Cell Identified* pada 2 *band* sekaligus, sedangkan pada *GSM Dual Band* dengan Aplikasi *HCS* terdapat *Cell Identified* untuk masing-masing *band*.

Penggabungan *Cell Identified* pada *band* 900 dan 1800 dapat mengurangi beban *BSC* pada saat dilakukan proses *handover* karena jumlah sel menjadi

berkurang separuh. Selain itu penggabungan *Cell Identified* dapat mengurangi kandidat *handover* sebesar 50 %. Pengurangan kandidat *handover* dapat berpengaruh terhadap pengukuran kuat isyarat sel tetangga yang diukur oleh *MS* pada saat dilakukan proses *handover*, sehingga pengukuran dapat lebih akurat karena pengukuran dapat lebih lama dilakukan.

Analisis unjuk kerja MBC

Rx Level

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat isyarat tergolong baik dalam rentang -74 dBm hingga -82 dBm pada sektor 2 di *BTS* Simpang Lima dan -65 dBm hingga -86 dBm pada sektor 3 di *BTS* Tugu Muda. Sebagian besar area pengamatan *MS* memiliki kuat isyarat yang cukup untuk melakukan komunikasi dengan *BTS* dengan rentang terburuk -90 dBm hingga -80 dBm. *Rx Level* merupakan penjumlahan antara kuat isyarat termodulasi dengan interferensi. Pada hasil penelitian sebagian besar *C/I* berkisar di atas 9 dB, sehingga kuat isyarat termodulasi masih dominan dibandingkan interferensi.

Rx Qual

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas isyarat tergolong baik dalam pada level 0 hingga 4 dengan rentang *BER* 0,28 % hingga 0,65 % pada sektor 2 di *BTS* Simpang Lima dan 0,26 % hingga 0,53 % pada sektor 3 di *BTS* Tugu Muda. *Rx Qual* menunjukkan kualitas isyarat dengan nilai *Rx Qual* paling baik pada level 0 hingga 2 dengan *BER* 0 hingga 0,57 %. Sebagian besar area *MS* memiliki kualitas isyarat yang baik pada saat melakukan komunikasi dengan *BTS*.

SQI

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas isyarat yang langsung dirasakan oleh pendengar tergolong dalam level yang baik, karena di sebagian besar area Simpang Lima *SQI* yang terukur dalam rentang terbaik 19 hingga 27 pada sektor 2 di *BTS* Simpang Lima dan dalam level yang baik dalam rentang 24 hingga 28 pada sektor 3 di *BTS* Tugu Muda, bilamana nilai *SQI* dipengaruhi oleh dominasi jumlah *handover* yang sukses dilaksanakan sebesar 100 %.

Call Set-up Success Rate

Call Set-up Success Rate (CSSR) merupakan persentase perbandingan antara panggilan yang terlayani oleh kanal *SDCCH* dengan permintaan panggilan (*call attempt*). Sebelum dialokasikan *TCH*, *MS* dihandle oleh *SDCCH* selama proses pensinyalan. Setelah terdapat *TCH* yang akan dialokasikan ke *MS*, *BTS* mengirimkan *time slot* dan *TCH* yang harus diakses oleh *MS* tersebut.

CSSR yang dimiliki oleh PT.XL Axiata Tbk Semarang dalam rentang 95 % hingga 98 % pada *BTS* Tugu Muda dan 93,62 % hingga 98 % pada *BTS* Simpang Lima, sedangkan *CSSR* yang ideal adalah sebesar 100%. Kegagalan *Call Set-up* dapat terjadi karena *blocked call* pada *SDCCH* dan lemahnya kuat isyarat baik *downlink* maupun *uplink* sehingga *BTS* dan *MS* tidak terhubung dengan baik. Berdasarkan hasil penelitian *blocked call SDCCH* sebesar 0,001 % hingga 0 %, sedangkan penyebab kegagalan *call set-up* karena lemahnya *Rx Level* tidak dapat terdeteksi. Dengan demikian, dimungkinkan penyebab kegagalan *call set-up* didominasi oleh lemahnya *Rx Level* karena persentase *blocked call SDCCH* yang rendah.

TCH Congestion Rate

TCH Congestion Rate merupakan jumlah panggilan yang ditolak (*blocked call*) dibandingkan dengan jumlah permintaan untuk mengakses *TCH* yang terjadi saat jam sibuk. Persentase *blocked call* atau *TCH Congestion Rate* yang diijinkan oleh Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika dalam bab IV pasal 17 ayat 1 adalah sebesar 10%. Sedangkan Persentase *blocked call* atau *GOS* yang diijinkan oleh *ITU (International Telecommunication Union)* dalam *ITU-R F.757-3* yaitu maksimum *GOS* untuk jaringan *GSM* sebesar 2% per sektor.

Blocked call MBC yang dimiliki oleh PT.XL Axiata Tbk Semarang dalam rentang 0,02 % hingga 1% pada sektor 1 dan 2 *BTS* Tugu Muda dan 1,53 % hingga 3,29 % pada sektor 3 *BTS* Tugu Muda. Terjadinya *blocked call* sebesar 1,53 % hingga 3,29 % disertai dengan efektifitas trafik sebesar 74 % hingga 98 %. Sedangkan *blocked call* yang terjadi di *BTS* Simpang Lima sebesar 0 % hingga 0,6 %. Dengan demikian, di sebagian besar area pengamatan terjadinya *blocked call* masih berada di atas standar *ITU*. *Multi Band Cell* menggunakan kanal *SDCCH*, *BCCH*, *CBCH* pada *band* 1800 sebagai kanal *TCH*. *SDCCH* merupakan kanal yang penting karena digunakan sebagai penghubung *MS* dengan *TCH* serta berperan

dalam pengiriman SMS. Namun dengan adanya pengurangan SDCCH tidak berakibat terjadinya *blocked call* pada SDCCH. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh persentase *blocked call SDCCH* sebesar 0,001 % hingga 0 %.

Call Drop Rate

Call Drop Rate (CDR) merupakan persentase perbandingan antara *dropped call* dengan panggilan yang terlayani. *Dropped call* adalah suatu kondisi bilamana pembicaraan yang sedang berlangsung terputus sebelum *user* berniat mengakhiri pembicaraan. Hal tersebut mengakibatkan ketidaknyamanan *user* saat berkomunikasi.

CDR yang dimiliki oleh PT.XL Axiata Tbk Semarang pada BTS Tugu Muda dalam rentang 0,17 % hingga 0,5 %, sedangkan pada BTS Simpang Lima dalam rentang 0,13 % hingga 0,28 %. Standar *dropped call* berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika dalam bab IV pasal 18 ayat 1 adalah sebesar 5 %. Dengan demikian PT.XL Axiata Tbk Semarang memiliki unjuk kerja yang bagus dalam *Call Drop Rate* karena berada di atas standar yang ditentukan. Berdasarkan hasil penelitian di area pengamatan, *dropped call* yang disebabkan oleh buruknya *Rx Level* memiliki nilai pada rentang 6,50 % hingga 57,25 %, sedangkan *dropped call* yang disebabkan oleh buruknya *Rx Qual* memiliki nilai pada rentang 5,26% hingga 50,63 %.

Handover Success Rate

Handover Success Rate (HSR) merupakan persentase jumlah *handover* yang berhasil terjadi dibandingkan permintaan *handover*. Saat melakukan panggilan dan dengan adanya mobilitas *user*, MS berpindah dari suatu sel ke sel yang lain, oleh karena itu diperlukan *handover* agar panggilan tidak terputus (*dropped call*). Sama halnya dengan CSSR, idealnya HSR sebesar 100%. HSR yang dimiliki oleh PT.XL Axiata Tbk Semarang dalam rentang 92 % hingga 100 %.

4. KESIMPULAN

1. *GSM Dual Band* dengan aplikasi *MBC* meningkatkan kapasitas jaringan sebesar 3,57 % hingga 9,25 % dan mengurangi kandidat *handover* sebesar 50 %.
2. Sel yang memiliki efektifitas kanal terbesar adalah sektor 3 di *BTS* Tugu Muda dan sektor 2 di *BTS* Simpang Lima, sehingga pada kedua area tersebut memiliki tingkat kepadatan trafik terbesar dibandingkan dengan area lain yang dicakup oleh *BTS* Tugu Muda dan Simpang Lima.
3. *GSM Dual Band* dengan aplikasi *MBC* di PT.XL Axiata Tbk Semarang memiliki unjuk kerja yang tergolong baik berdasarkan standar *ITU* pada *TCH Congestion rate* dalam rentang 0,2 % hingga 0 %, *Call Set-up Success Rate* dalam rentang 95 % hingga 98 %, *Call Drop Rate* dalam rentang 0,15 % hingga 0,2 %, *Handover Success Rate* dalam rentang 92 % hingga 100 %, *Rx Qual* yang tergolong baik berdasarkan standar PT.XL Axiata Tbk Semarang dalam rentang 0 hingga 4 dan *SQI* yang tergolong baik berdasarkan standar PT.XL Axiata Tbk Semarang dalam rentang 19 hingga 27. Sedangkan *Rx Level* berada pada level yang cukup baik pada rentang -65 dBm hingga -86 dBm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akawa, Yoshihiko, *Introduction to Digital Mobile Communication*, 1997, United States: Wiley Interscience.
- [2] Stallng, William, *Komunikasi dan Jaringan Nirkabel*, 2007, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [3] Ziemer, R.E.& W.H.Tranter . *Principle of Communication Systems, Modulation and Noise*. England: John Wiley and Sons.
- [4] Maral, G, *VSAT Networks*, England: John Wiley and Sons.
- [5] Sunomo, *Pengantar Sistem Komunikasi Nirkabel*, 2004, Jakarta: PT. Gramedia Widiasarana Indonesia.
- [6] Nokia Network Oy 2002. 2002. *GSM Air Interface & Network Planning*.
- [7] Ericsson Radio System AB 2000. 2000. *User Description, Hierarchical Cell Structures*.
- [8] Ericsson Radio System AB 2000. 2003. *User Description, Multi Band Cell*.