

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN TEKNIK *LINEAR*
QUADRATIC REGULATOR PADA POWER CONTROL CDMA**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

Tulus Basuki Widagdo

NIM. 0210630119-63

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2009

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN TEKNIK *LINEAR*
QUADRATIC REGULATOR PADA *POWER CONTROL* CDMA**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

Tulus Basuki Widagdo

NIM. 0210630119-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rusmi Ambarwati, ST., MT
Nip. 19720204 200003 2 002

Ir. Erfan Achmad Dahlan
NIP. 19530714 198203 1 003

repository.ub.ac.id

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN TEKNIK *LINEAR*
QUADRATIC REGULATOR PADA *POWER CONTROL CDMA***

Disusun Oleh:

Tulus Basuki Widagdo

NIM. 0210630119-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 23 Juni 2009

Majelis Penguji

Ir. Wahyu Adi P. MSc.
NIP. 19600518 198802 1 001

Dwi Fadila K. ST., MT.
NIP. 19720630 200003 1 002

Rudy Yuwono ST., MSc.
NIP. 19710615 199802 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Heru Nurwasito, Ir., Mkom.
NIP. 19650402 199002 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul **“Analisis Pengaruh Penggunaan Teknik *Linear Quadratic Regulator* Pada Power Control CDMA”** yang diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Sholawat dan salam semoga tetap tercurah atas Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa Sallam*, keluarga, sahabat, dan pengikut Beliau hingga akhir zaman.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Ayahanda (*Allahummagh fir lahu warhamhu wa 'aafihi wa'fu anhu*) Ibunda, Kakak dan segenap keluarga tercinta.
2. Bapak Ir. Heru Nurwasito., M.Kom. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Rudy Yuwono, ST, MSc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Ibu Ir. Endah Budi P. MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Dan Keahlian Teknik Telekomunikasi.
5. Ibu Rusmi Ambarwati, ST., MT dan Bapak Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan telaten dan sabar telah membimbing selama pelaksanaan penulisan laporan skripsi.
6. Galih Kusumo, Heru Setiyawan dan seluruh rekan-rekan Teknik Elektro khususnya angkatan 2002.
7. Serta Saudara-saudariku di Forum Studi Islam Malang yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu baik secara moril maupun spiritual.
8. Dan dindaku tercinta, Ainul Luthfiah, dukungan dan doamu menjadi penyemangat menyelesaikan skripsi ini.

Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu demi satu, yang dalam kapasitas masing-masing, begitu banyak membantu penulis menyelesaikan skripsi

ini. Semoga Allah SWT menjadikannya sebagai amal sholeh yang ikhlas dan membalasnya dengan kebaikan yang besar.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan sehingga saran dan kritik membangun diperlukan. Akhirnya, semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, khususnya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Malang, Mei 2009

Penulis



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu
Yang menciptakan”
(Al-‘Alaaq: 1)

RINGKASAN

Tulus Basuki Widagdo, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2009, Analisis Pengaruh Penggunaan Teknik *Linear Quadratic Regulator* Pada *Power Control* CDMA, Dosen Pembimbing: Rusmi Ambarwati, ST., MT. dan Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.

Dalam sistem CDMA dikenal proses power control (kontrol daya) yang bekerja mengatu daya pancar baik uplink maupun downlink. Power control sangat dipelukan dalam sistem CDMA karena dalam sistem ini setiap user menggunakan fekuensi yang sama sehingga saling menginterferensi satu sama lain. Dalam makalah ini dibahas pengaturan daya pancar uplink dengan menggunakan teknik Linear Quadratic Regulator (LQR) dengan mengasumsi nilai CIR awal dan Pathloss masing-masing user dengan Distribusi Gauss.

Dalam simulasi pada yang telah dilakukan, didapatkan nilai CIR yang masih dalam batas threshold yakni 7 dB dengan standar deviasi yang diijinkan adalah maksimum sebesar 2.5 dB atau dalam prrosentase perbandingan adalah 35,71% hanya pada user 1 dan 2. Sedangkan pada user 3 sampai dengan user 16 didapatkan nilai CIR diluar batas threshold dan deviasi, sehingga nilai outage probability-nya tidak sesuai yang diharapkan yaitu dalam range mendekati threshold yaitu zero outage probability (0%) atau maksimum 35,71%. Hal ini disesbabkan estimasi pergerakan user menggunakan distribusi gauss memiliki kecepatan perpindahan yang sangat ekstrem, yang berakibat pada tingginya pathloss.

Secara umum teknik Linear Quadratic Regulator (LQR) dalam penggunaannya untuk pengaturan daya pancar dalam sistem CDMA dengan simulasi yang telah dilakukan tidak sesuai dengan target yaitu nilai CIR sebesar 7 dB dengan deviasi 2,5 dB atau outage probability maksimum 35,71%. Disebabkan nilai pathloss setiap user bernilai tinggi.

Kata Kunci: *CIR, LQR, Indeks Performansi, Pathloss, Outage Probability.*

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN ii

KATA PENGANTAR iv

RINGKASAN vii

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR GAMBAR xii

DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Ruang Lingkup 2

1.4 Tujuan 2

1.5 Sistematika Penulisan 3

1.6 Kontribusi 3

BAB II DASAR TEORI POWER CONTROL SISTEM SELULAR CDMA

2.1 *Power Control* Dalam Sistem CDMA 4

 2.1.1 Gambaran umum 4

 2.1.2 *Near-Far Effect* 6

2.2 Parameter-Parameter Kinerja Sistem CDMA 6

 2.2.1 *Carrier to Interference Ratio (CIR)* 6

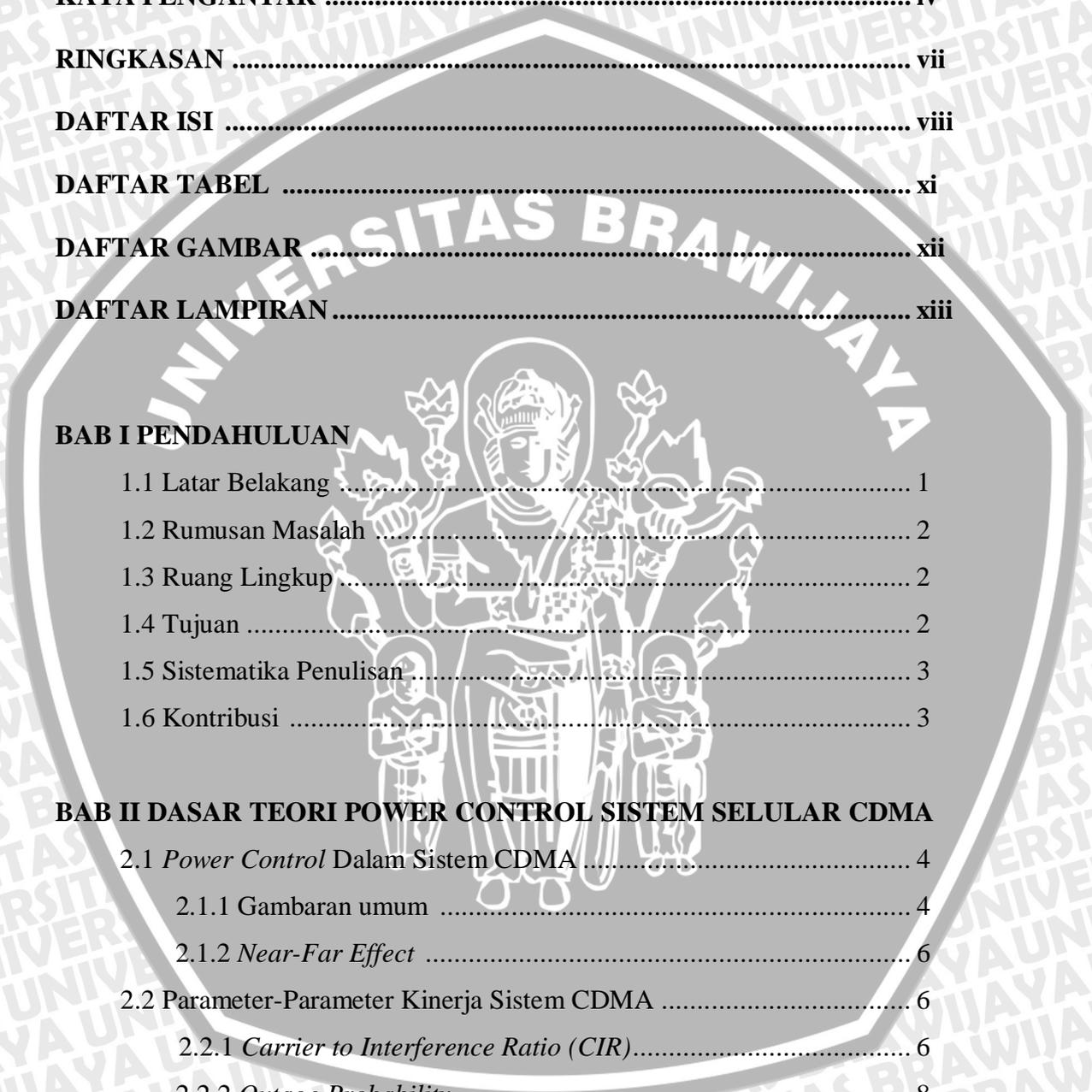
 2.2.2 *Outage Probability* 8

2.3 Sistem Sel Tunggal 8

2.4 Algoritma Dalam Power Control CDMA 9

 2.4.1 *Open-Loop Power Control* 9

 2.4.2 *Closed-Loop Power Control* 10



2.5 Pathloss.....	12
2.6 Linear Quadratic Regulator	12
2.6.1 Gambaran Umum.....	12
2.7 Discrete-time LQR	13
2.8 Feedback Controller Regulator.....	14
2.8.1 Gain (Riccati Equation).....	14
2.9 Indeks Performansi Sistem.....	14
2.10 Pemodelan Sistem.....	15
2.11 Posisi Parameter kinerja CDMA dalam Teknik Linear Quadratic ...	17

BAB III METODOLOGI

3.1 Kajian Pustaka	19
3.2 Metode Pengambilan Data	19
3.3 Pembatasan Variabel data	19
3.4 Diagram Alir	20
3.4.1 Diagram Alir penyelesaian Tugas Akhir.....	20
3.4.2 Diagram Alir Perhitungan indeks performansi.....	21
3.4.3 Diagram alir Simulasi.....	22
3.5 Analisis Data.....	23

BAB IV ANALISIS PENERAPAN TEKNIK LINEAR QUADRATIC REGULATOR

4.1 Pemodelan Sistem	24
4.2 Perhitungan Nilai Indeks Performansi Sistem.....	25
4.2.1 CIR Target dan Error CIR	25
4.2.2 Feedback Controller	26
4.2.3 Perhitungan Daya Pancar Optimal.....	27
4.2.4 Algoritma Power Control.....	28
4.3 Simulasi	28
4.3.1 Menghitung Pathloss	29
4.3.2 Menghitung Nilai Carrier To Interference Ratio (CIR).....	35
4.3.3 Outage Probability	37

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 40

5.2 Saran 40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Posisi awal jarak setiap *user* dari BTS 30

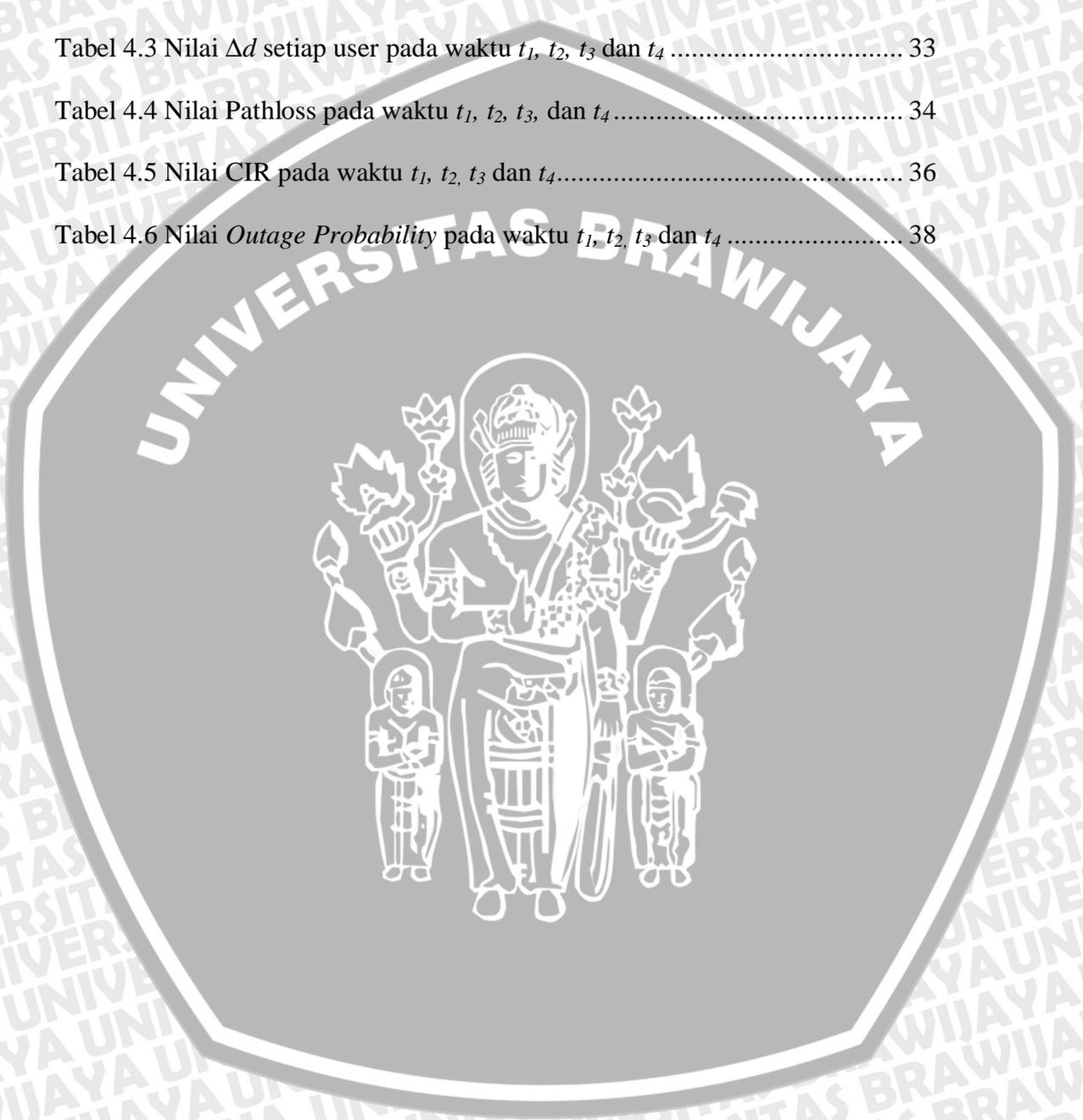
Tabel 4.2 Jarak setiap user dari BTS pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 32

Tabel 4.3 Nilai Δd setiap user pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 33

Tabel 4.4 Nilai Pathloss pada waktu t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4 34

Tabel 4.5 Nilai CIR pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 36

Tabel 4.6 Nilai *Outage Probability* pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem sebelum ada <i>power control</i>	5
Gambar 2.2 Sistem setelah ada <i>power control</i>	5
Gambar 2.3 Kanal <i>Uplink</i> dalam suatu sel tunggal	9
Gambar 2.4. Skema <i>closed-loop Power control</i> ,	10
Gambar 2.5. <i>Inner (fast) closed-loop power control</i>	11
Gambar 2.6 Sistem dinamik diskrit	13
Gambar 2.7 Model sistem <i>Power Control CDMA</i>	15
Gambar 3.1 Diagram Alir penyelesaian Tugas Akhir	20
Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan indeks performansi	21
Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi	22
Gambar 4.1 <i>Inner (fast) closed-loop power control</i>	25
Gambar 4.2 Konfigurasi sel Tunggal	29
Gambar 4.3 Grafik Nilai CIR pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4	37
Gambar 4.4 Grafik Nilai <i>outage pobaility</i> pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Daftar Singkatan 41

Lampiran B Listing Program dengan Matlab versi 6.5..... 42



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem *direct sequence-code division multiple access* (DS-CDMA), kebutuhan terhadap *power control* merupakan hal yang harus mendapat perhatian. Masalah *power control* ini timbul akibat adanya interferensi multiuser. Semua *mobile station* dalam sistem CDMA mengirim data menggunakan bandwidth yang sama pada waktu yang sama dan karenanya semua *mobile station* saling menginterferensi satu sama lain. Akibatnya, sinyal yang diterima oleh *base station* dari sebuah *mobile station* yang dekat dengan *base station* akan jauh lebih kuat daripada sinyal yang diterima dari *mobile station* lain yang terletak pada perbatasan sel. Hal ini sangat mempengaruhi kualitas sistem CDMA. Agar mendapat kualitas yang optimum, maka level daya yang diterima *base station* dari setiap pelanggan harus sama. Hal ini diwujudkan dengan mengatur level daya yang dipancarkan oleh *mobile station* menggunakan teknik *power control* (Gatot, 2004:91).

Dalam sistem selular CDMA terdapat dua teknik *power control*, yaitu *closed-loop power control* dan *open-loop power control*. *Closed-loop power control* menggunakan estimasi daya yang diterima pada *base station* untuk memerintahkan setiap *mobile station* mengubah daya pancarnya. Sedangkan *open-loop power control* menggunakan pengukuran daya yang diterima oleh masing-masing *mobile station* melalui kanal *forward* untuk mengendalikan daya pancar *mobile station* pada kanal *reverse*. Teknik *Closed-loop power control* memudahkan mengestimasi daya pancar karena adanya umpan balik dari penerima sebagai referensi (Gatot, 2004:113).

Linear Quadratic Regulator merupakan salah satu teknik optimasi yang umum digunakan dalam desain sistem kontrol (Kwakernaak, 1972). *Linear Quadratic regulator* atau disingkat LQR, dapat digunakan untuk mengatur daya pancar dari *Mobile* ke *Base station*. Dengan metode ini diharapkan dapat memperkecil nilai

outage Probability yang merupakan salah satu acuan QoS sistem. Karena semakin kecil nilai *outage probability*, maka QoS sistem tersebut semakin baik.

Pada skripsi ini akan dibahas tentang power control menggunakan teknik *linear quadratic regulator* untuk kanal *uplink* pada sistem selular CDMA. Pada transmisi *uplink*, sinyal yang diterima BS dari MS melewati kanal-kanal yang berbeda-beda sehingga daya sinyal setiap pelanggan yang diterima BS tidak sama. Maka *power control* pada kanal *uplink* menjadi penting.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, penulisan skripsi ini akan dititikberatkan pada Bagaimana pengaruh teknik *Linear Quadratic Regulator* terhadap nilai *outage Probability* sistem selular CDMA.

1.3 Ruang Lingkup

Dari rumusan masalah yang ada, ruang lingkup penulisan skripsi ini akan dibatasi pada:

1. Penggunaan *Linear Quadratic Regulator* pada teknik *Closed-Loop power control* CDMA pada kanal *uplink*.
2. Parameter kinerja *outage probability* menjadi acuan QoS sistem.
3. Menggunakan Distribusi Gauss untuk estimasi nilai SIR.
4. Analisis pada konfigurasi sel tunggal (*single-cell configuration*).

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh teknik *Linear Quadratic Regulator* pada *Closed-loop power control* terhadap nilai *outage probability* pada sistem selular CDMA.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Skripsi ini agar didapat hasil yang diinginkan sesuai dengan sasaran, maka digunakan sistematika penulisan meliputi:

1. Bab I Pendahuluan, memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, sistematika penulisan dan kontribusi.
2. Bab II membahas dasar teori *power control* sistem selular CDMA, bab ini menjelaskan tentang *power control* dalam system CDMA, *near-far effect*, parameter kinerja *power control* dalam sistem CDMA, algoritma dalam *power control* dan *pathloss*, konsep *Linear Quadratic Regulator* (LQR), meliputi macam-macam teknik dalam LQR, *feedback controller* dan indeks performansi sistem.
3. Bab III membahas metodologi penulisan
4. Bab IV membahas analisis penerapan teknik *linear quadratic regulator* dalam *power control* pada sistem CDMA.
5. Bab V Penutup, memuat kesimpulan dan saran.

1.6 Kontribusi

Dengan penulisan Skripsi ini diharapkan dapat membantu dalam:

- Mengetahui pengaruh teknik *Linear Quadratic Regulator* pada *Closed-loop power control* terhadap sistem selular CDMA.
- Memberikan alternatif dalam membandingkan kinerja *power control*.

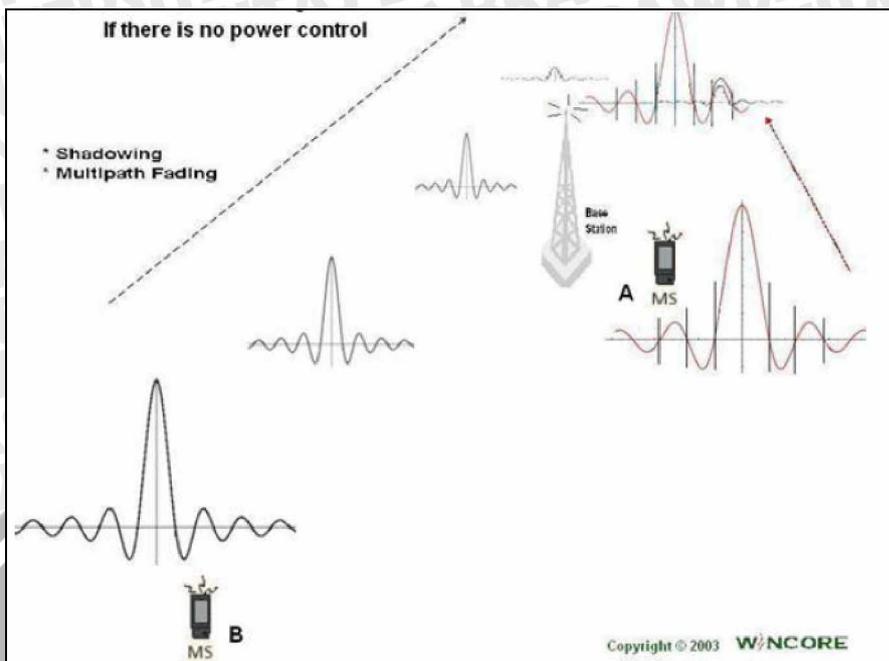
BAB II DASAR TEORI

2.1 Power Control Dalam Sistem CDMA

2.1.1 Gambaran Umum

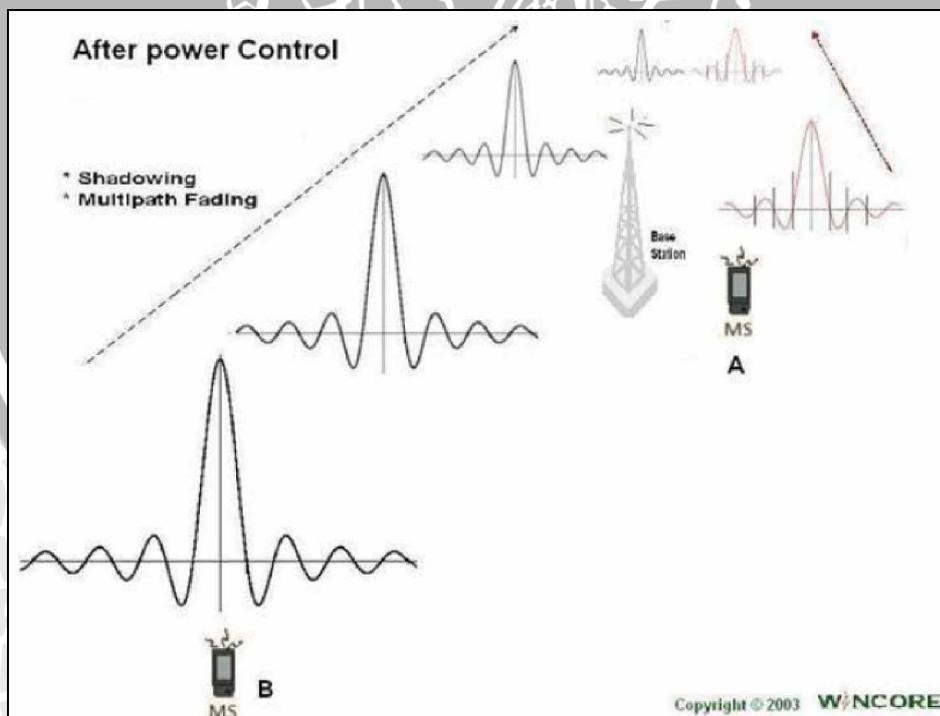
Dalam sistem *direct sequence-code division multiple access* (DS-CDMA), kebutuhan terhadap *power control* merupakan hal yang harus mendapat perhatian. Penggunaan *power control* pada CDMA akan menawarkan kapasitas yang besar dibandingkan pada FDMA dan TDMA. Masalah *power control* ini timbul akibat adanya interferensi multiuser. Semua *mobile station* dalam sistem CDMA mengirim data menggunakan bandwidth yang sama pada waktu yang sama dan karenanya semua *mobile station* saling menginterferensi satu sama lain. Akibat mekanisme propagansi, sinyal yang diterima oleh *base station* dari sebuah *mobile station* yang dekat dengan *base station* akan jauh lebih kuat daripada sinyal yang diterima dari *mobile station* lain yang terletak pada perbatasan sel (lihat Gambar 2.1). Hal ini sangat mempengaruhi kualitas dan kapasitas sistem CDMA. Agar mendapat kualitas dan kapasitas yang optimum, maka level daya yang diterima *base station* dari setiap pelanggan harus sama. Hal ini diwujudkan dengan mengatur level daya yang dipancarkan oleh *mobile station* menggunakan teknik *power control* (lihat Gambar 2.2). Maka dari itu, mekanisme *power control* merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan sistem selular CDMA.

Power control meliputi beberapa teknik dan algoritma yang digunakan untuk mengatur daya yang dipancarkan dari *Base Station* (BS) dan *Mobile Station* (MS). Terdapat dua jenis teknik *power control* dalam CDMA, yaitu *open-loop power control* dan *closed-loop power control* yang dapat digunakan baik pada kanal *up-link* maupun kanal *down-link*. Di dalam pembahasan dalam bab-bab berikutnya akan difokuskan pada pembahasan *closed-loop power control* CDMA pada kanal *up-link* (Mudesir, 2004).



Gambar 2.1 Sistem sebelum ada *power control*

Sumber: Abdurrazak Mudesir, 2004



Gambar 2.2 Sistem setelah ada *power control*

Sumber: Abdurrazak Mudesir, 2004

2.1.2 Near-Far Effect

Near-Far Effect atau Efek *near-far* atau disebut juga interferensi *near-far* terjadi karena adanya perbedaan jarak ke base station antara user yang satu dengan user yang lain. Sinyal yang diterima oleh base station dari user yang dekat lebih kuat daripada sinyal yang diterima dari user yang lebih jauh. Ini terjadi pada sistem CDMA, akibat adanya interferensi multiuser. Semua mobile station dalam sistem CDMA mengirim data menggunakan bandwidth yang sama pada waktu yang sama dan karenanya semua *mobile station* saling menginterferensi satu sama lain. Akibat mekanisme propagansi, sinyal yang diterima oleh *base station* dari sebuah *mobile station* yang dekat dengan base station akan jauh lebih kuat daripada sinyal yang diterima dari *mobile station* lain yang terletak pada perbatasan sel (Gatot, 2004:92).

Permasalahan ini dapat diatasi dengan power control. Tujuan dari power control adalah menyamakan level daya pancar setiap user sehingga user yang berada pada jarak terjauh dari base dapat menerima sinyal sama baiknya dengan user yang berada lebih dekat dengan base.

2.2 Parameter-Parameter Kinerja Sistem CDMA

2.2.1 Carrier to Interference Ratio (CIR)

Rasio energi bit terhadap kerapatan noise E_b/N_o merupakan parameter yang penting dalam sistem komunikasi digital, termasuk sistem CDMA. E_b/N_o dapat diinterpretasikan sebagai rasio sinyal terhadap noise setelah korelasi pada penerima.

Kebutuhan minimum E_b/N_o untuk mendapatkan kualitas komunikasi yang memadai adalah sekitar 7 dB. Nilai E_b/N_o ini juga mengimplikasikan probabilitas kesalahan bit (*bit error probability*, BEP) sama dengan atau lebih besar dari pada 10^{-3} , tanpa tergantung pada teknik modulasi atau *code sequence* tertentu. Nilai BEP sebesar 10^{-3} cukup memadai untuk transmisi suara digital (Lee, 1998:1132).

Kinerja diukur dengan probabilitas *outage*, yang didefinisikan sebagai probabilitas bahwa rasio dari daya *mobile station* referensi terhadap interferensi *multi user* (CIR/*Carrier to Interference Ratio*) lebih kecil dari yang ditargetkan.

Pada kasus sistem selular, pada sejumlah N_c sel yang menginterferensi sel asal dan penerapan *power control* yang baik, nilai *CIR* dapat dihitung menggunakan (Abdurrazak, 2004):

$$\frac{C}{I}(t_{n+1}) = \frac{Pt^i(t_n) P_g}{Pl^i(t_{n+1}) \xi \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^M Pt^j(t_n) Pl^j(t_{n+1})} \quad (2.1)$$

Dengan:

Pt^i : Daya Pancar Optimal pada user ke- i (dBm)

Pl^i : *Pathloss* pada user ke- i (dBm)

Pt^j : Daya Pancar Optimal pada user ke- j (dBm)

Pl^j : *Pathloss* pada user ke- j (dBm)

P_g : Spesifikasi *UTRA* Untuk CDMA = 12 dB

ξ : faktor *orthogonal* = 0,3

Nilai *CIR* estimasi dalam sistem CDMA untuk analisis sistem sel tunggal dapat diperoleh melalui berbagai macam metode. Dalam pembahasan pada bab selanjutnya, untuk perhitungan nilai *CIR* estimasi menggunakan metode *Gauss Distribution* (distribusi Gauss). Mengestimasi nilai *CIR* estimasi menggunakan distribusi *Gauss* yaitu, (Van Bramer, tanpa tahun).

$$f(m) = Ae^{-\frac{1}{2}(m-\mu/\sigma)^2} \quad (2.2)$$

Dengan, parameter *mean* (μ), simpangan baku (σ) dan *amplitude* (A /nilai *CIR* target), dan $e = 2,718$. Dari perhitungan ini akan didapatkan nilai *CIR* estimasi yang akan menjadi salah satu parameter dalam perhitungan nilai Indeks performansi sistem yaitu x .

2.2.2 Outage Probability

Outage probability merupakan parameter berikutnya yang menjadi tolok ukur kinerja power control dalam sistem CDMA. *Outage probability* adalah prosentase

perbandingan antara nilai CIR yang terjadi dalam simulasi (lapangan) dengan nilai CIR target (*threshold*) yaitu sebesar 7 dB. Nilai *Outage Probability* yang semakin mendekati nilai nol persen (0 % / *zero mean outage probability*) menunjukkan sistem semakin baik, yang artinya bahwa nilai CIR mendekati nilai *threshold*, yaitu sebesar 7 dB (Abdurrazak, 2004).

Persamaan yang digunakan adalah:

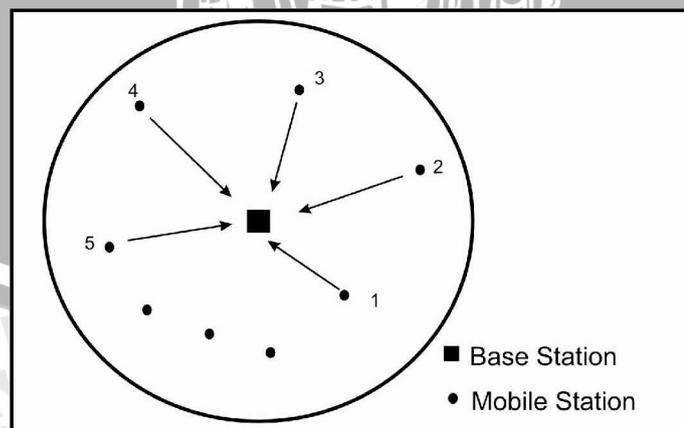
$$\text{Outage Probability} = \left| \frac{\text{CIR}_t - \text{CIR}}{\text{CIR}_t} \right| \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan:

CIR_t : CIR target yaitu sebesar 7 dB

2.3 Sistem Sel Tunggal

Suatu sel tunggal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3, merupakan wilayah berupa sebuah area lingkaran dengan *base station* yang diasumsikan menempati pusat lingkaran, dan *N* mobile station bergerak mengelilinginya. Untuk keperluan analisis, diambil satu mobile station referensi sehingga terdapat *N-1* interferer. Dalam sistem sel tunggal tidak terdapat sel penginterferensi sehingga penginterensi hanya terjadi dari user lain dan *noise* sistem saja.



Gambar 2.3. Kanal *Uplink* dalam suatu sel tunggal

Sumber: Gatot, 2004

2.4 Algoritma Dalam Power Control CDMA

Dalam sistem selular CDMA terdapat dua teknik *power control*, yaitu *closed-loop power control* dan *open-loop power control*. *Closed-loop power control* menggunakan estimasi daya yang diterima pada *base station* untuk memerintahkan setiap *mobile station* mengubah daya pancarnya. Sedangkan *open-loop power control* menggunakan pengukuran daya yang diterima oleh masing-masing *mobile station* melalui kanal *forward* untuk mengendalikan daya pancar *mobile station* pada kanal *reverse*. Teknik *Closed-loop power control* memudahkan mengestimasi daya pancar karena adanya umpan balik dari penerima sebagai referensi. Oleh karena itu, pada pembahasan selanjutnya akan digunakan teknik *closed-loop power control* dalam analisisnya.

2.4.1 Open-Loop Power Control

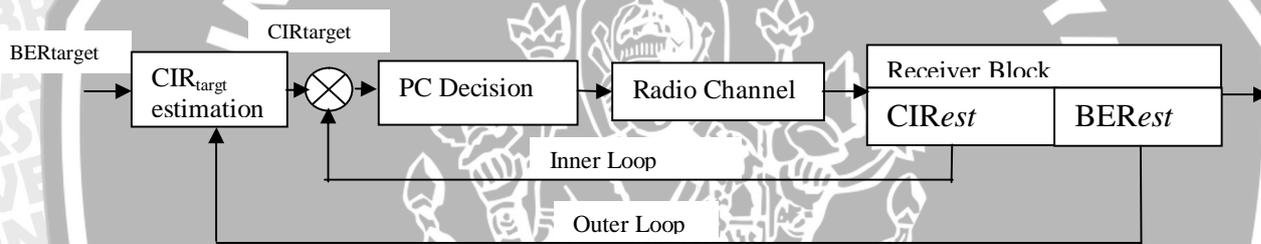
Open-Loop Power Control (OLPC) memiliki dua fungsi utama, yaitu menyesuaikan daya pancar *mobile station* dan mengkompensasi variasi tiba-tiba yang besar dalam redaman *pathloss*. *Mobile station* menentukan suatu estimasi *pathloss* antara *base station* dan *mobile station*, yang memberikan suatu estimasi kasar dari *propagation loss* untuk tiap *mobile station*. Semakin kecil daya yang diterima, semakin besar *loss* propagasi, dan sebaliknya.

Dalam teknik *open-loop power control*, *mobile station* mengestimasi keadaan kanal pada kanal *downlink* dan menggunakannya sebagai suatu estimasi dari kanal *uplink*. Teknik OLPC ini menghasilkan estimasi dari daya yang diterima pada *mobile station* dengan merata-ratakan jumlah dari kuadrat *output* penerima. Kanal dianggap mengalami *frequency selective multipath fading* dengan *log-normal shadowing*. Kanal *frequency-selective time-variant* dimodelkan sebagai suatu *delay-line* dengan jarak antar tap T_c (durasi *chip*), dan koefisien tap $\{z_i(t)\}$ yang merupakan proses random *Gaussian* dengan *mean nol*, *complex-valued*, stasioner, dan *mutually independent* (Gatot, 2004:128).

2.4.2 Closed-Loop Power Control

Penggunaan teknik *direct-sequence spread spectrum* untuk sistem CDMA memerlukan penggunaan beberapa bentuk dari *adaptive power control*. *Power control* menyediakan cara untuk menyamakan level daya yang diterima pada *base station* untuk semua *mobile station* yang berada di dalam wilayah cakupan *base station* tersebut.

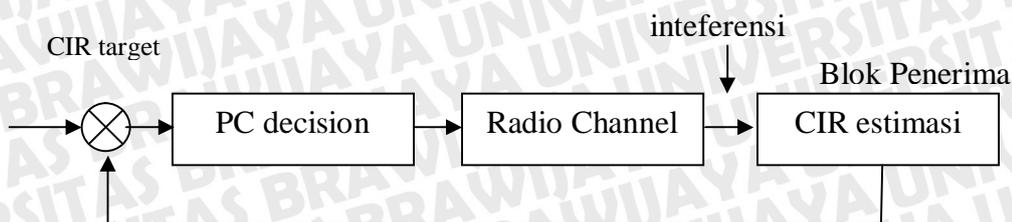
Algoritma *closed-loop power control* (CLPC) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4, menggunakan estimasi daya yang diterima pada *base station* untuk menginstruksikan setiap *mobile station* agar masing-masing mengubah level daya pancarnya. Mekanisme CLPC dapat secara efektif mengkompensasi variasi kanal yang cepat akibat multipath fading dalam sistem terestrial, dimana delay proses dan propagasi lebih kecil dibandingkan waktu korelasi dari kanal.



Gambar 2.4 Skema *closed-loop Power control*

Sumber: Nuaymi, 1998

Algoritma *closed-loop power control* terbagi menjadi dua teknik, yaitu *inner (fast) closed-loop power control* dan *outer closed-loop power control*. *Inner (fast) closed-loop power control* (ditunjukkan Gambar 2.5) mengatur daya yang ditransmisikan dengan tujuan untuk mempertahankan nilai CIR sesuai dengan yang diinginkan. CIR yang ditargetkan sesuai dengan nilai BER yang diterima. Sedangkan *outer closed-loop power control* menentukan target CIR sesuai dengan *Radio Resource Control Layer*, dengan maksud untuk disesuaikan dengan nilai BER yang diinginkan.



Gambar 2.5 Inner (fast) closed-loop power control

Sumber: Nuaymi, 1998

Base station mengukur *CIR* yang diterima atau yang diestimasi dalam sistem dalam periode $1,25\text{ ms}$, kemudian membandingkannya dengan *CIR* referensi atau target. Berdasarkan informasi tersebut, *base station* memutuskan apakah daya pancar mobile perlu dinaikkan atau diturunkan, proses ini terjadi sebagaimana pada Gambar 2.5 adalah pada bagian *PC Decision (Power Control Decision)*. Pada bagian inilah akan diambil keputusan bahwa seorang *user* harus menaikkan atau menurunkan daya pancarnya. Kemudian Bit-bit perintah *power control* dipancarkan pada kanal *forward* setiap $1,25\text{ ms}$ pada kanal radio (Radio Channel) dengan frekuensi pengiriman = 800 Hz . Dalam penyesuaian daya pancar *mobile station* merupakan suatu parameter sistem yang dapat bernilai $1,25$, $0,5$, atau 1 dB . *Power control* memiliki ketidaksempurnaan yang dinyatakan standar deviasi. Tipikal standar deviasi untuk *power control error (PCE)* akibat *closed-loop* adalah sekitar $1,5$ sampai $2,5\text{ dB}$ (Gatot, 2004).

Untuk pembahasan bab berikutnya digunakan teknik *inner (fast) closed loop power control* dengan *CIR* sebagai parameter kualitasnya.

2.5 Pathloss

Perhitungan *pathloss* digunakan untuk mengetahui daya yang hilang saat transmisi yang terjadi karena faktor jarak dari base ke mobile. Pathloss merupakan salah satu parameter dalam perhitungan nilai *CIR*. Nilai pathloss bergantung pada jenis media perantara yang digunakan dan lingkungannya. Dalam kasus ini, digunakan perhitungan model *COST 231* untuk model *groundwave propagation indoor* dengan asumsi *losses* karena dinding dan lantai diabaikan, yaitu:

$$PL(dB) = 37 + 30\log(d) \quad (2.4)$$

Jika terjadi pergerakan user dan dengan jumlah user yang banyak, maka perhitungan model *COST 231* menjadi:

$$PL(dB) = 37 + 30 \log(\Delta d) \tag{2.5}$$

Dengan Δd adalah perubahan jarak mobile station dengan BTS (Abdurrazak, 2004).

2.6 Linear Quadratic Regulator

2.6.1 Gambaran Umum

Di dalam terminologi umum teknik *Linear Quadratic* berarti pengaturan atau pengendalian terhadap suatu proses (seperti satu reaktor kimia) dengan menggunakan suatu algoritma matematis untuk mengoptimalkan proses suatu fungsi. Fungsi ini sering digambarkan sebagai suatu penjumlahan dari penyimpangan pengukuran-pengukuran kunci dari nilai-nilai yang diinginkan. Pada hakekatnya algoritma ini oleh penemunya digunakan untuk mengendalikan atau memperkecil penyimpangan yang tak diinginkan.

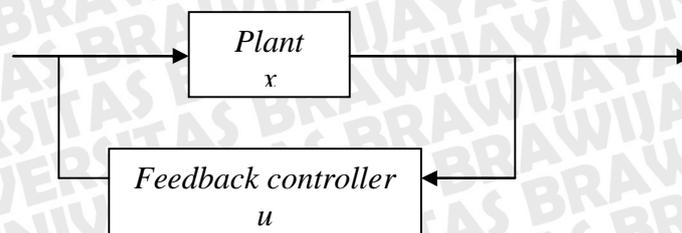
Pada intinya, algoritma LQR merupakan teknik untuk mengoptimasi sebuah sistem agar menjadi lebih efisien karena teknik ini dikenal memiliki iterasi yang pendek. Algoritma LQR merupakan teknik alternatif dari sekian banyak metode optimasi sistem.

Tujuan utamanya adalah mendapatkan nilai indeks performansi yang diinginkan (optimal). Terdapat dua jenis teknik dalam LQR yaitu *Continuous-time LQR* untuk sistem linier waktu kontinu dan *Discrete-time LQR* untuk sistem linier waktu diskrit. Dalam teknik ini perlu mencari nilai *feedback control* yang tepat agar nilai indeks performansi optimal tercapai.

2.7 Discrete-time LQR

Discrete-time LQR adalah teknik dalam LQR yang digunakan untuk sistem waktu diskrit. Jika diketahui sebuah sistem dinamik dengan persamaan:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$



Gambar 2.6 Sistem dinamik diskrit

Dengan A dan B adalah diskrit dan mempunyai indeks performansi:

$$J = \sum_{n=0}^{\infty} \{x'(n)Qx(n) + u'(n)Ru(n)\} \quad (2.6)$$

Dengan matrik Q dan R adalah nilai bobot yang diberikan untuk sistem tersebut, dan untuk standar dalam fungsi interferensi. Permasalahan pengendalian optimal adalah menemukan fungsi pengendalian u (*feedback controller*), dengan mengoptimalkan indeks performansi.

2.8 Feedback Controller Regulator

Agar tercapai nilai CIR mendekati atau sama dengan *threshold* (7 dB) maka diperlukan nilai optimal dari *feedback controller* (u). *Feedback controller* sendiri merupakan hasil perkalian antara gain matrik (G) dengan masukan sistem ($x_i(n)$). Gain matrik dapat ditemukan dengan menggunakan aljabar *Riccati* (*Riccati Equation*). Jika gain matrik yang benar telah ditentukan, dalam kondisi *steady-state*, $S_i(n)$ akan mendekati *threshold* CIR, yaitu 7 dB.

Untuk menemukan kontrol *feedback* (u) optimal untuk representasi *state-space*, kontrol *Linear Quadratic* telah didefinisikan yaitu,

$$u = -Gx \quad (2.7)$$

2.8.1 Gain (Riccati Equation)

Gain matrik (G) adalah matrik penguatan yang terjadi dalam sistem akibat interferensi yang terjadi dalam sistem. Gain matrik tersebut akan dimasukkan dalam *feedback controller* untuk dijadikan nilai pembanding pada sinyal masukan agar didapatkan nilai CIR yang semakin mendekati *threshold*. Gain matrik, G , ditemukan dengan menggunakan metode perhitungan *Riccati* (*Riccati equation*).

Untuk waktu diskrit disebut dengan *dare/discrete algebraic Riccati equation*, yang persamaannya sebagaimana pada persamaan (2.8):

$$\text{Ric}(X) = A^T X + XA - XBB^T X + Q = 0 \quad (2.8)$$

Sedangkan gain matrik didapatkan melalui,

$$G = B^T X \quad (2.9)$$

X adalah matrik solusi dari *Riccati Equation* untuk dapat mengetahui besar Gain dalam sistem. Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa gain digunakan untuk dapat menemukan *feedback controller*, u (Mudesir, 2004).

2.9 Indeks Performansi Sistem

Indeks performansi sistem merupakan nilai indeks sebuah sistem yang diinginkan mencapai nilai optimal dalam sebuah sistem. Dengan tercapainya nilai kontrol *feedback* (u), akan berakibat pada optimalnya nilai indeks performansi sesuai dengan nilai optimal yang telah ditetapkan. Indeks performansi dapat berupa nilai minimal ataupun maksimal dari sebuah besaran yang ditetapkan sebagai parameter satuan indeks performansi.

Indeks performansi dalam LQR pada waktu kontinyu (*continuous-time*) adalah sebagaimana persamaan (2.10):

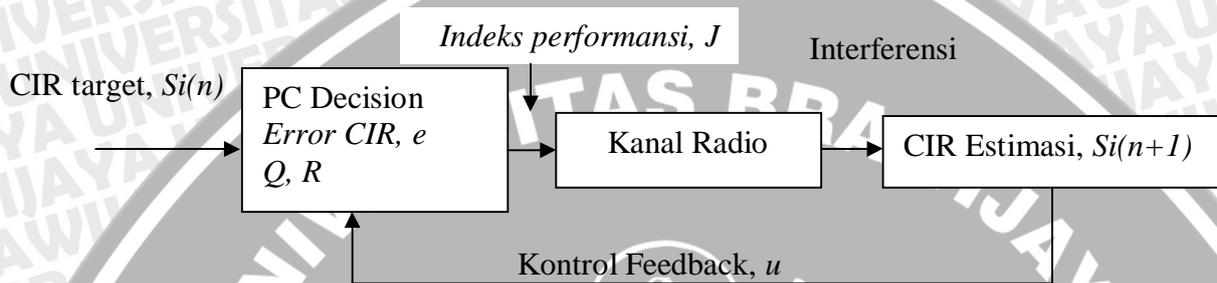
$$J = \sum_{n=0}^{\infty} \{x'(n)Qx(n) + u'(n)Ru(n)\} \quad (2.10)$$

Q dan R merupakan nilai bobot yang diberikan untuk sistem tersebut, dan untuk standar dalam fungsi interferensi nilai Q adalah $\begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$. Sedangkan nilai R dapat diperoleh dengan perhitungan metode *Asymtotically fast Convergence*. (El-Osery, 2000)

Jika nilai J telah sesuai dengan batas yang dikehendaki (*threshold*)/ optimal, maka proses iterasi dalam sistem bisa dihentikan, karena target telah tercapai.

2.10 Pemodelan Sistem

Sebelum teknik LQR digunakan dalam pengoptimasian sistem, diperlukan pemodelan sebuah sistem CDMA yang akan dioptimasi. Dalam sistem CDMA, pemodelan disesuaikan dengan skema *Inner (fast) closed-loop power control* yang telah dijelaskan pada subbab 2.4.2 bahwa yang menjadi parameternya dalam sistem adalah CIR Target, CIR estimasi, Interferensi dan kontrol feedback. Sistem dalam CDMA dapat digambarkan sebagaimana Gambar 2.7



Gambar 2.7 Model sistem *Power Control* CDMA

$S_i(n)$ merupakan nilai CIR target yang menjadi acuan dalam sistem yaitu sebesar 7 desibel. Dalam blok *PC Decision (Power Control Decision)* dilakukan proses menemukan sinyal kontrol (u) yang akan dipancarkan pada kanal Radio (*Radio Channel*) untuk diterima setiap user. Pada kanal radio inilah terdapat interferensi yang akan mempengaruhi nilai CIR dalam sistem, dan nilai CIR dalam sistem berubah, $S_i(n+1)$. Nilai u yang didapatkan dan nilai CIR target yang dimiliki merupakan parameter dalam perhitungan LQR untuk dapat menemukan daya pancar optimal dalam sistem.

Secara matematis dalam metode LQR, setiap *mobile station* ke *base station* digambarkan sebagai bagian yang terpisah yang dijelaskan persamaan (2.11):

$$S_i(n+1) = S_i(n) + u_i(n) \tag{2.11}$$

Dengan,

$$u_i(n) = I_i(n) / \phi_i(n)$$

$S_i(n)$ didefinisikan sebagai perbandingan daya yang dipancarkan dengan total interferensi sistem, $p_i(n)/\phi_i(n)$, $I_i(n)$ adalah masukan pada setiap subsistem dan

hanya tergantung pada total interferensi yang dihasilkan oleh pengguna lain dan noise pada sistem.

Tujuannya sekarang adalah membuat setiap $S_i(n)$ mendekati nilai *threshold* CIR, yaitu sebesar 7 dB. Parameter x dalam sistem ini merupakan definisi dari nilai CIR dengan *error* ($e_i(n)$) yang terjadi, yaitu $e_i(n) = S_i(n) - 7$ dB dengan maksud untuk menyatakan setiap subsistem dalam model *state-space* yang akan memudahkan sistem sesuai dengan yang diinginkan, maka x dapat didefinisikan sebagaimana persamaan (2.12) (El-Osery,2000).

$$x_i(n) \text{ didefinisikan menjadi } \begin{bmatrix} e_i(n) \\ S_i(n) \end{bmatrix}.$$

2.11 Posisi Parameter kinerja CDMA dalam Teknik Linear Quadratic

Parameter dalam sistem CDMA merupakan elemen yang menjadi masukan dalam teknik *Linear Quadratic*, yaitu elemen $x_i(n)$ dan $u_i(n)$. Hubungan dalam formulasi indeks performansi sebagaimana persamaan (2.10) adalah,

$$J = \sum_{n=0}^{\infty} \{x'(n)Qx(n) + u'(n)Ru(n)\} \text{ dengan,}$$

$$x_i(n) = \begin{bmatrix} e_i(n) \\ S_i(n) \end{bmatrix}, \text{ dan}$$

$$u_i(n) = -Gx_i(n),$$

Contoh perhitungan indeks performansi dalam sebuah sistem:

Diketahui nilai CIR ($S_i(n)$) dalam sebuah sistem adalah 6,9 dB maka *error* CIR-nya adalah,

$$\begin{aligned} e_i(n) &= \gamma - S_i(n) \\ &= (7 - 6,9) \text{ dB} \\ &= 0,1 \text{ dB} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} x_i(n) &= \begin{bmatrix} e_i(n) \\ S_i(n) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0,1 \\ 6,9 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Feedback controller ($u(n)$) ditemukan dengan metode *Riccati Equation* sebagaimana pada bagian 2.8.1. Misalkan didapatkan $u(n) = -8,095$

Dengan $Q = \begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, dan $R = 0,1$. (El-Osery, 2000),

maka:

$$\begin{aligned} J &= \sum_{n=0}^{\infty} \{x'(n)Qx(n) + u'(n)Ru(n)\} \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ [0,1 \quad 6,9] \begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 \\ 6,9 \end{bmatrix} + (-8,095) 0,1 (-8,095) \right\} \\ &= 2 + 6,553 \\ &= 8,553 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dalam pembahasan ditentukan bahwa nilai indeks performansi adalah daya pancar maksimal dari masing-masing user dalam sistem.

Parameter CIR yang telah disebutkan pada subbab 2.2 akan menjadi masukan dalam teknik *Linear Quadratic*. Parameter $x_i(n)$ dalam indeks performansi secara riil adalah representasi nilai CIR ($S_i(n)$) dengan *error* CIR ($e_i(n)$) dari sistem selular CDMA. Didefinisikan dalam bentuk matrik karena merupakan syarat sebagai masukan dalam perhitungan indeks performansi. Sedangkan $u_i(n)$ secara riil merupakan umpan balik kepada sistem. Untuk parameter Q dan R adalah nilai bobot yang ingin di berikan dalam indeks performansi yang telah disesuaikan untuk model selular (El-Osery, A.2000).

$x_i(n)$ dalam perhitungan indeks performansi dikalikan dengan Q , kemudian $u_i(n)$ yang merupakan nilai kontrol *feedback* dikalikan dengan parameter R . Parameter Q dan R merupakan matrik parameter standar fungsi interferensi. $x'(n)Qx(n)$ merupakan bobot dalam akurasi kontrol, sedangkan $u'(n)Ru(n)$ merupakan nilai usaha kontrol. Dari perhitunagn indeks performansi diharapkan didapat nilai optimal untuk daya pancar (El-Osery, A.2000).

BAB III METODOLOGI

Skripsi ini merupakan kajian analisis penerapan teknik *linear quadratic regulator* dalam *power control* pada sistem CDMA. Metode ilmiah yang digunakan dalam penulisan skripsi adalah sebagai berikut:

3.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka mengacu pada teori pendukung mengenai *power control* pada sistem CDMA dan mengenai teknik kontrol *Linear Quadratic Regulator* (LQR). Tujuan yang hendak dicapai dalam skripsi ini adalah menganalisis pengaruh penggunaan Teknik *Linear Quadratic Regulator* pada *Power Control* sistem selular CDMA.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data-data yang didapat dari kajian skripsi ini adalah data yang diperoleh dari:

- Simulasi dan perhitungan nilai *pathloss* dengan menggunakan distribusi Gauss
- Buku teks, untuk mengetahui estimasi nilai SIR

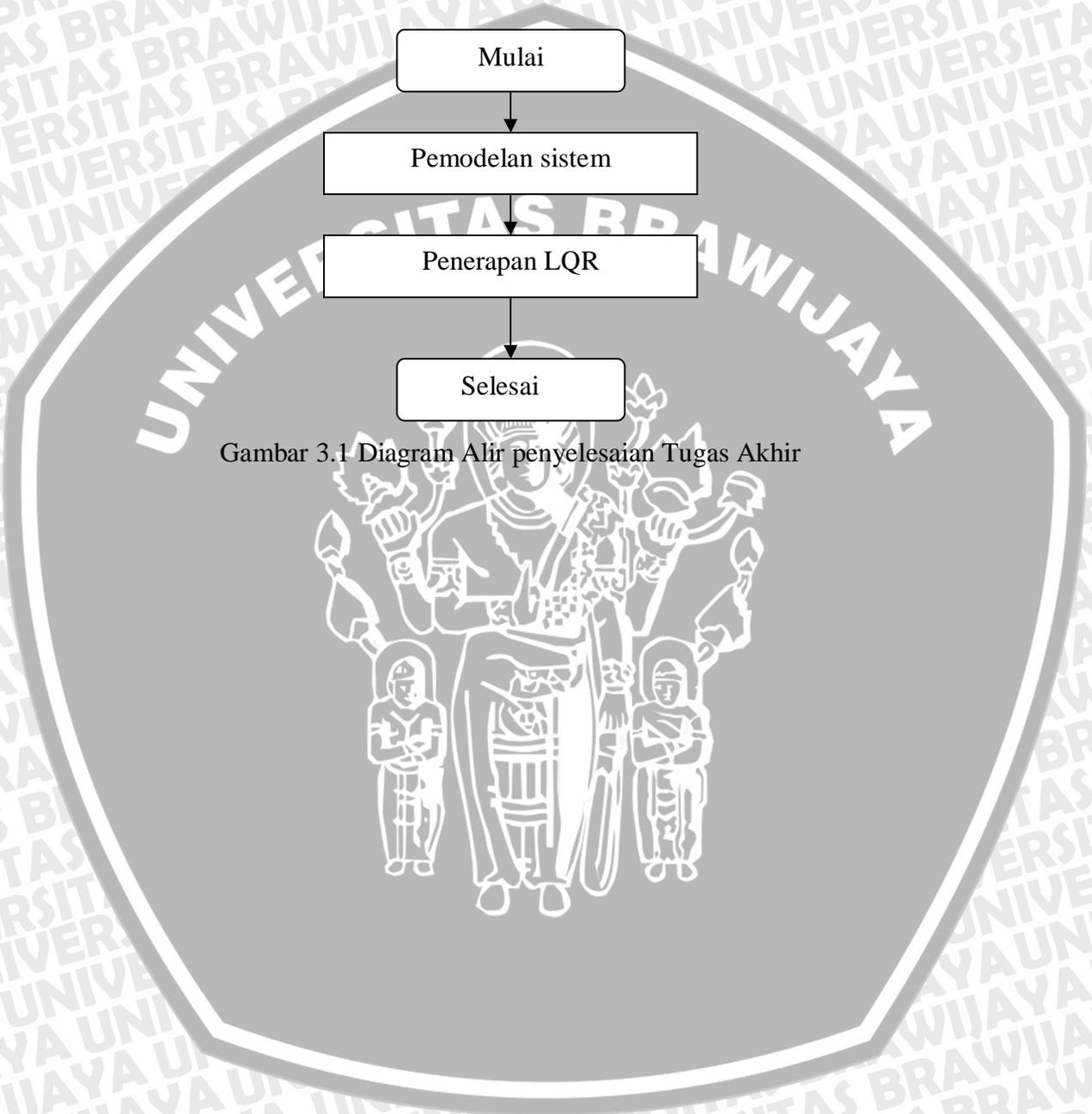
3.3 Pembatasan Variabel data

Pembatasan variabel dibutuhkan agar pembahasan tidak keluar dari permasalahan yang dikemukakan. Beberapa batasan dalam pembahasan skripsi ini adalah:

- *Power control* CDMA pada sistem *closed loop* dan pada kanal *uplink*
- Perhitungan *pathloss* menggunakan kondisi *pathloss* dengan *model indoor COST 231*
- Estimasi nilai SIR menggunakan metode *Gauss Distribution*
- Simulasi menggunakan *single-cell configuration*
- Nilai bobot Q dan R merupakan nilai standar pada *single cell configuration*.

3.4 Diagram Alir

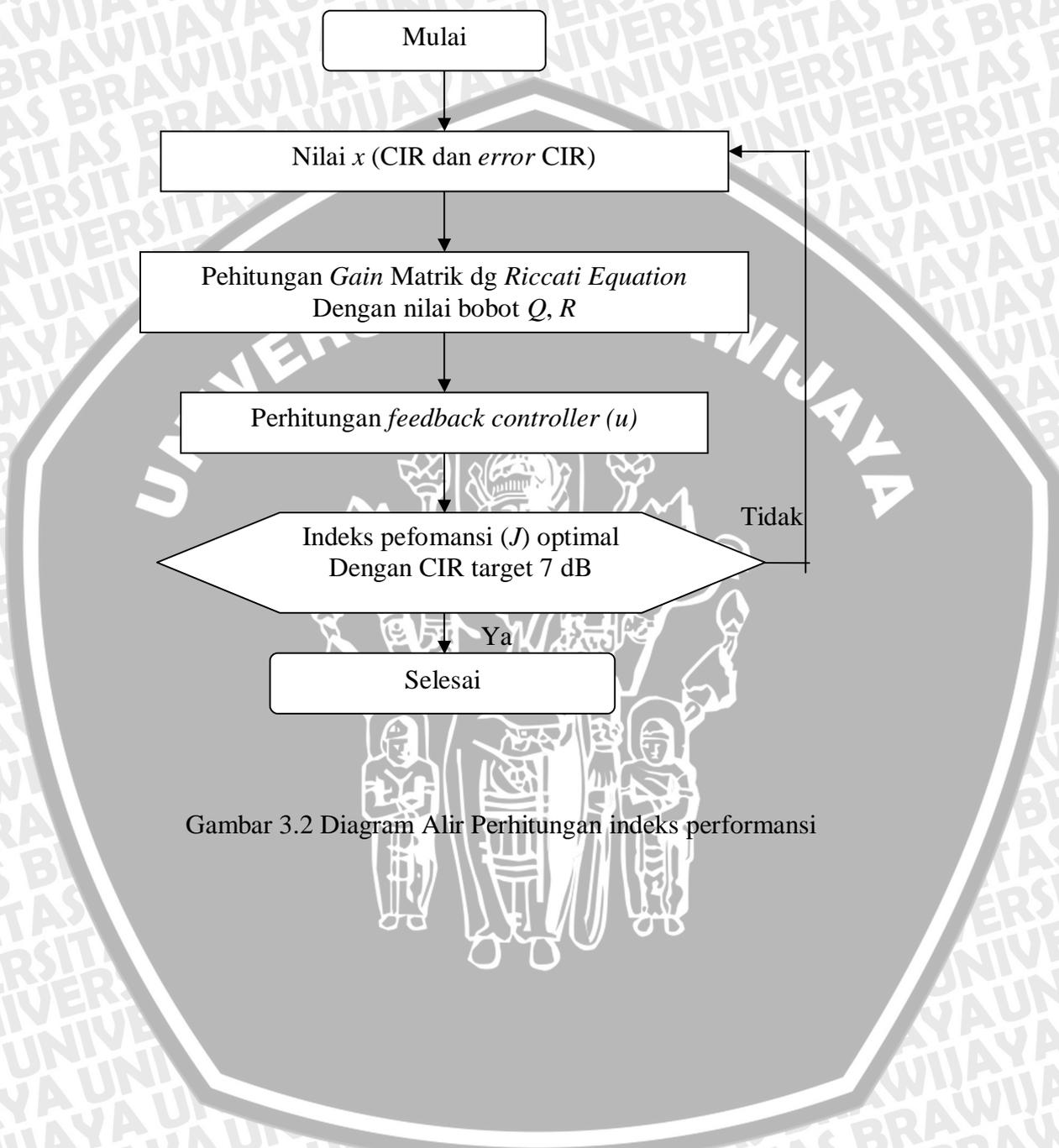
3.4.1 Diagram Alir penyelesaian Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir penyelesaian Tugas Akhir

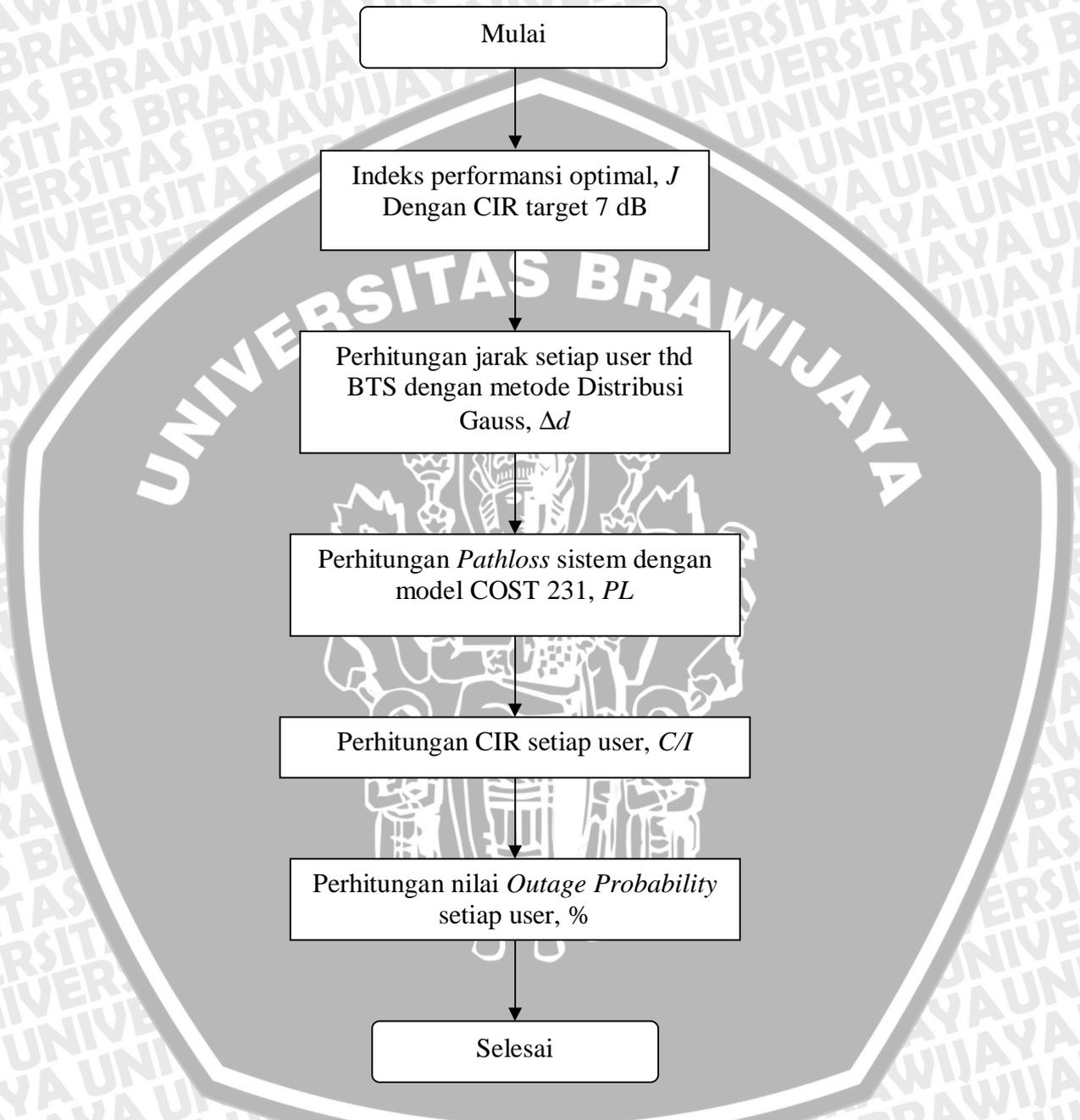


3.4.2 Diagram Alir Perhitungan indeks performansi



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan indeks performansi

3.4.3 Diagram alir Simulasi pengaruh indeks performansi optimal terhadap nilai CIR dan *Outage Probability*



Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi

3.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan perhitungan matematis beberapa nilai parameter yang diperoleh dari pengambilan data sesuai persamaan-persamaan yang tercantum dalam dasar teori. Kemudian dibandingkan dengan persamaan yang telah ditentukan. Analisis meliputi:

- Analisis *Pathloss* untuk *single-cell*
- Analisis *Carrier to Interference* (CIR)



BAB IV

ANALISIS PENERAPAN TEKNIK *LINEAR QUADRATIC REGULATOR* DALAM *POWER CONTROL* PADA SISTEM CDMA

4.1 Pemodelan Sistem

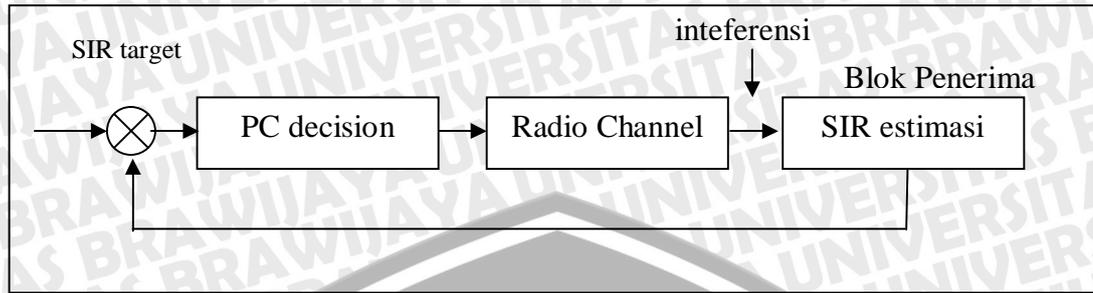
Sebelum teknik LQR digunakan dalam pengoptimasian sistem, diperlukan pemodelan sebuah sistem CDMA yang akan dioptimasi. Dalam metode LQR, setiap *mobile station* ke *base station* digambarkan sebagai bagian yang terpisah yang dijelaskan persamaan (4.1):

$$S_i(n+1) = S_i(n) + u_i(n) \quad (4.1)$$

Dengan,

$$u_i(n) = I_i(n) / \varphi_i(n)$$

$S_i(n)$ didefinisikan sebagai perbandingan daya yang dipancarkan dengan total interferensi sistem, $p_i(n)/\varphi_i(n)$, $I_i(n)$ adalah masukan pada setiap subsistem dan hanya tergantung pada total interferensi yang dihasilkan oleh pengguna lain dan noise pada sistem. Tujuannya sekarang adalah membuat setiap $S_i(n)$ mendekati nilai *threshold CIR*, γ^* . Untuk mencegah *error steady-state*, sebuah keadaan baru, yang merupakan integrasi dari error, $e_i(n) = S_i(n) - \gamma^*$ dengan maksud untuk menyatakan setiap subsistem dalam model *state-space* yang akan memudahkan sistem sesuai dengan yang diinginkan. $x_i(n)$ didefinisikan menjadi $\begin{bmatrix} e_i \\ S_1 \end{bmatrix}$. Proses ini merupakan teknik *Inner (fast) closed-loop power control* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Inner (fast) closed-loop power control

Sumber: Nuaymi, 1998

Menggunakan persamaan (4.1), setiap subsistem dapat dinyatakan sebagai bentuk sistem orde dua sebagaimana persamaan (4.2): (Mudesir, 2004)

$$x_i(n+1) = \begin{bmatrix} e_i(n+1) \\ S_i(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x_i(n) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_i(n) \quad (4.2)$$

4.2 Perhitungan Nilai Indeks Performansi Sistem

Indeks performansi dalam sistem yang akan dianalisis adalah daya pancar dari user dalam sistem CDMA. Indeks performansi menunjukkan besarnya daya yang harus dipancarkan dari masing-masing user agar target nilai *Carrier to Interferrece* tercapai yaitu 7 dB.

4.2.1 CIR Target dan Error CIR

Parameter x dalam perhitungan indeks performansi adalah nilai CIR dan error CIR. Sebagaimana telah disebutkan pada Bab II bahwa nilai x adalah,

$$x_i(n) = \begin{bmatrix} e_i(n) \\ S_i(n) \end{bmatrix}$$

maka, untuk mendapatkan nilai indeks performansi yang optimal nilai x yang dimasukkan sebagai referensi dalam menemukan indeks performansi yang optimal adalah, $S_i(n) = 7$ dan $e_i(n) = 0$, sehingga

$$x_i(n) = \begin{bmatrix} 0 \\ 7 \end{bmatrix}$$

4.2.2 Feedback Controller

Parameter berikutnya adalah *feedback controller* (u) yang berperan memberikan umpan balik pada masukan sistem untuk dapat mencapai target. *Feedback controller* didapatkan dengan cara menemukan terlebih dahulu *Gain* matrik. *Gain* matrik (G) adalah matrik penguatan yang terjadi dalam sistem akibat interferensi yang terjadi dalam sistem. *Gain* matrik tersebut akan dimasukkan dalam *feedback controller* untuk dijadikan nilai pembanding pada sinyal masukan agar didapatkan nilai CIR yang semakin mendekati *threshold*. *Gain* matrik, G , ditemukan dengan menggunakan metode perhitungan *Riccati* (*Riccati equation*). Untuk waktu kontinu disebut dengan *care/continuous algebraic Riccati equation*, yang formulanya sebagaimana pada persamaan (2.8), yaitu:

$$Ric(X) = A^T X + XA - XBB^T X + Q = 0$$

Sedangkan *gain* matrik didapatkan melalui,

$$G = B^T X$$

(4.4)

X adalah matrik solusi dari *Riccati Equation* untuk dapat mengetahui besar *Gain* dalam sistem. (Mudesir, 2004)

Ditentukan nilai Q , R , A , dan B sebagai berikut: (El-Osery, 2000)

$$Q = \begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, R = 0,1 \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ dan } N=0 \text{ (default value/diabaikan)}$$

Maka, dengan menggunakan perintah *care* dalam *Matlab* didapatkan nilai X (matrik solusi *Riccati*) adalah

$$X = \begin{bmatrix} 52.8839 & 5.5296 \end{bmatrix}$$

$$5.5296 \quad 1.1564$$

Dan dengan memasukkan nilai matrik X dalam persamaan (4.4) didapatkan Gain matriknya adalah,

$$G = B^T X$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 52,8839 & 5,5269 \\ 5,5296 & 1,1564 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 5,5296 & 1,1564 \end{bmatrix}$$

Jika gain yang benar telah ditentukan, kondisi *steady-state*, $S_i(n)$, akan mendekati *threshold* CIR.

Kemudian, untuk menemukan kontrol *feedback* optimal untuk representasi *state-space* diberikan di atas, kontrol *Linear Quadratic* yang telah didefinisikan sebelumnya yaitu,.

$$u = -Gx$$

Maka, nilai u adalah

$$u = -\begin{bmatrix} 5,5296 & 1,1564 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 7 \end{bmatrix} = -8,095$$

4.2.3 Perhitungan Daya Pancar Optimal

Indeks performansi yang dihasilkan dari sistem ini adalah daya pancar optimal (P) yang diharapkan dapat mencapai target nilai CIR sebesar 7 dB. Indeks performansi sebagaimana persamaan (2.10), yaitu

$$J = \sum_{n=0}^{\infty} \{x'(n)Qx(n) + u'(n)Ru(n)\}$$

Dengan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya yaitu $x_i(n) = \begin{bmatrix} 0 \\ 7 \end{bmatrix}$,

$$Q = \begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad u = -8,095 \quad \text{dan} \quad R = 0,1$$

Maka,

$$J = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ [0 \quad 7] \begin{bmatrix} 200 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 7 \end{bmatrix} + (-8,095) \cdot 0,1 \cdot (-8,095) \right\}$$

$$= 0 + 6,553$$

$$= 6,553$$

Didapatkan indeks performansi atau daya pancar optimal (P_i) yang diinginkan adalah sebesar 6,553 dB. Artinya setiap user diharapkan dapat menjadikan daya pancarnya sebesar 6,553 dB.

4.2.4 Algoritma Power Control

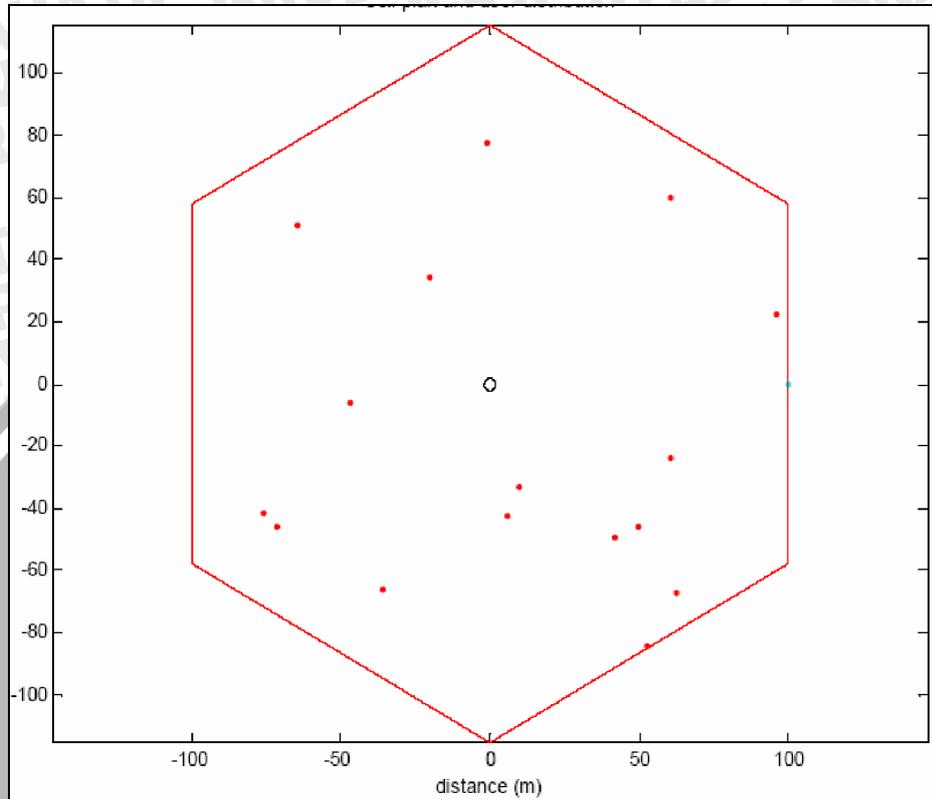
Setelah didapatkan nilai daya pancar optimal untuk setiap *user* dalam sistem maka, *Base Station* memberikan perintah berupa algoritma *power control* yang mengatur daya yang dipancarkan *user* agar tetap sebagaimana referensi, yaitu sebesar 6,553 watt. Algoritma tersebut berupa perintah dari *Base Station* untuk menambah atau mengurangi besar daya pancar masing-masing *user* yang ada dalam sistem dengan mengirimkan TPC (*Transmit power control*) *command* setiap 10 - 15 ms. Mekanisme sebagai berikut: (Nuaymi,L.2002)

- if $P_i > P_t$ TPC *command* to transmit is "0", artinya *mobile station i* diminta untuk mengurangi daya pancarnya.
- if $P_i < P_t$ TPC *command* to transmit is "1", artinya *mobile station i* diminta untuk menambah daya pancarnya.

4.3 Simulasi

Simulasi ini untuk menguji pengaruh teknik *LQR* terhadap *outage probability* dalam sebuah sistem selular CDMA. Konfigurasi sel adalah *single-cell configuration* (konfigurasi sel tunggal) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2, dengan jumlah user = 16, radius sel (r) = 100 m dan simulasi dilakukan pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 yang masing-masing dijeda 10 ms. t_1 adalah posisi setiap *user* yang telah ditentukan dengan distribusi gauss, t_2 adalah posisi user setelah 10

ms dari posisi ketika t_1 dan t_3 adalah posisi user setelah 10 ms dari posisi ketika t_2 , demikian seterusnya sampai t_4 .



Gambar 4.2 Konfigurasi sel Tunggal

Sumber: Abdurrazak Mudesir, 2004

Dari daya pancar optimal yang didapatkan dengan metode LQR kemudian diasumsikan setiap user berada dalam posisi acak, disimulasikan dengan menggunakan distribusi Gauss. Dengan demikian dapat diketahui besar *pathloss* masing-masing user. Setelah seluruh user diketahui nilai *pathloss*nya, dapat diketahui pula nilai CIR masing-masing user dan nilai *outage probability*nya.

4.3.1 Menghitung *Pathloss*

Perhitungan *pathloss* digunakan untuk mengetahui daya yang hilang saat transmisi yang terjadi karena faktor jarak dari base ke mobile. *Pathloss* merupakan salah satu parameter dalam perhitungan nilai CIR. Nilai *pathloss* bergantung pada jenis media perantara yang digunakan dan lingkungannya. Dalam kasus ini, digunakan perhitungan model *COST 231* untuk untuk model

groundwave propagation indoor dengan asumsi *losses* karena dinding dan lantai diabaikan, yaitu:

$$PL(dB) = 37 + 30 \log(\Delta d)$$

Dengan Δd adalah perubahan jarak mobile station dengan BTS yang didapatkan melalui asumsi menggunakan distribusi gauss dengan parameter *mean* (μ) = 0, simpangan baku (σ) = 9, 10, 11 dan 12 untuk waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 , *amplitude* (A) = 100, dan $e = 2,718$. asumsi posisi awal setiap user adalah dengan $\sigma = 8$.

Untuk *user* (m) 1

$$\sigma_0 = 8$$

$$d(m) = Ae^{-\frac{1}{2}(m-\mu/\sigma)^2}$$

$$d(1) = 100 \cdot 2,718^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1-0}{8}\right)^2}$$

= 99,2 meter

Untuk posisi awal, jarak semua *user* dari BTS adalah tersebut dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Posisi awal jarak setiap *user* dari BTS

<i>User</i>	<i>d (meter)</i>
1	99,2
2	96,9
3	93,2
4	88,2
5	82,3
6	75,5
7	68,2
8	60,6
9	53,1
10	45,8
11	38,9

12	32,5
13	26,7
14	21,7
15	17,2
16	13,5

Untuk perhitungan $\sigma = 9, 10, 11, 12$ adalah sebagai berikut:

Untuk user 1

$$\sigma_1 = 9$$

$$d(1)_9 = 100.2,718 \cdot \frac{1(1-0)^2}{2 \left(\frac{1}{9}\right)}$$

$$= 99,4 \text{ meter}$$

$$\sigma_2 = 10$$

$$d(1)_{10} = 100.2,718 \cdot \frac{1(1-0)^2}{2 \left(\frac{1}{10}\right)}$$

$$= 99,6 \text{ meter}$$

$$\sigma_3 = 11$$

$$d(1)_{11} = 100.2,718 \cdot \frac{1(1-0)^2}{2 \left(\frac{1}{11}\right)}$$

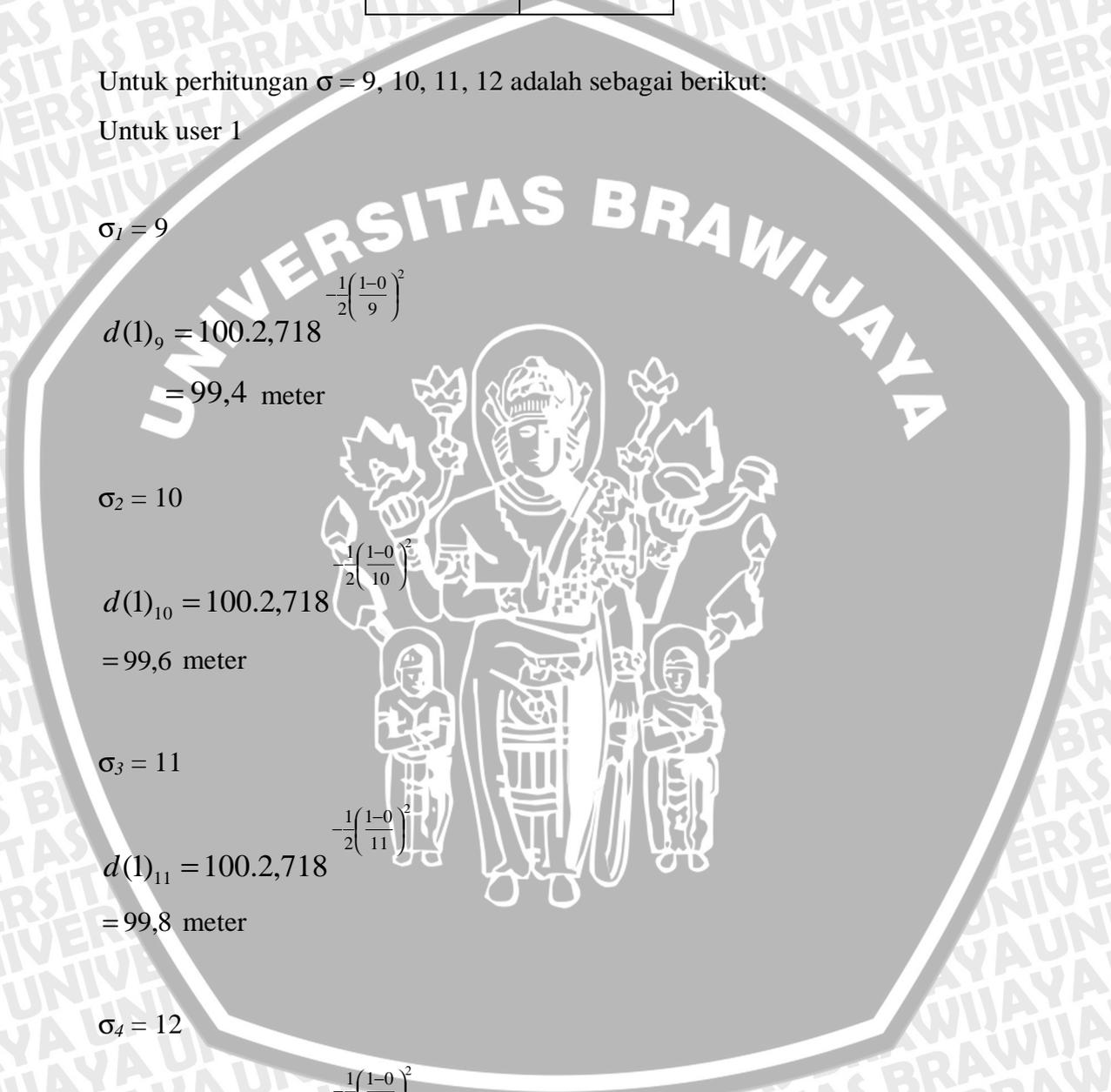
$$= 99,8 \text{ meter}$$

$$\sigma_4 = 12$$

$$d(1)_{12} = 100.2,718 \cdot \frac{1(1-0)^2}{2 \left(\frac{1}{12}\right)}$$

$$= 100 \text{ meter}$$

Untuk nilai d (meter) yang lain dapat dilihat dalam Tabel 4.3 berikut,



Tabel 4.3 Jarak setiap user pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4

User	$d(m)_9$	$d(m)_{10}$	$d(m)_{11}$	$d(m)_{12}$
1	99,4	99,6	99,8	100
2	97,6	98	98,4	98,6
3	94,6	95,6	96,3	96,9
4	90,6	92,3	93,6	94,6
5	85,7	88,3	90,2	91,7
6	80	83,5	86,2	88,3
7	73,9	78,3	81,7	84,4
8	67,4	72,6	76,7	80
9	60,7	66,7	71,6	75,5
10	53,9	60,6	66,2	70,7
11	47,4	54,6	60,6	65,7
12	41,1	48,7	55,2	60,6
13	35,2	42,9	49,7	55,6
14	29,8	37,5	44,5	50,6
15	24,9	32,5	39,5	45,8
16	20,6	27,8	34,7	41,1

Kemudian dapat dilakukan perhitungan Δd sebagai berikut,

Untuk Δd_1

$$\begin{aligned}\Delta d_1 &= |d(1)_9 - d(1)_0| \\ &= |99,4 - 99,2| \\ &= 0,2 \text{ meter}\end{aligned}$$

Untuk Δd_2

$$\begin{aligned}\Delta d_2 &= |d(1)_{10} - d(1)_9| \\ &= |99,6 - 99,4| \\ &= 0,2 \text{ meter}\end{aligned}$$

Untuk Δd_3

$$\begin{aligned} \Delta d_3 &= |d(I)_{11} - d(I)_{10}| \\ &= |99,8 - 99,6| \\ &= 0,2 \text{ meter} \end{aligned}$$

Untuk Δd_4

$$\begin{aligned} \Delta d_4 &= |d(I)_{12} - d(I)_{11}| \\ &= |100 - 99,8| \\ &= 0,2 \text{ meter} \end{aligned}$$

Untuk nilai Δd (meter) yang lain dapat dilihat dalam tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Nilai Δd setiap user pada waktu t_1, t_2, t_3 dan t_4

User	Δd_1	Δd_2	Δd_3	Δd_4
1	0,2	0,2	0,2	0,2
2	0,7	0,4	0,4	0,2
3	1,2	1	0,7	0,6
4	2,4	1,7	1,3	1
5	3,4	2,6	1,9	1,5
6	4,5	3,5	2,7	2,1
7	5,7	4,4	3,4	2,7
8	7,4	5,2	4,1	3,3
9	7,6	6	4,9	3,9
10	8,1	6,7	5,6	4,5
11	8,5	7,2	6	5,1
12	8,6	7,6	6,5	5,4
13	8,5	7,7	6,8	5,9
14	8,6	7,7	7	6,1
15	7,7	7,6	7	6,3
16	7,1	7,2	6,9	6,4

Dari nilai Δd yang didapatkan di atas maka dapat ditentukan nilai pathloss setiap user dalam sistem. Dengan menggunakan persamaan (2.5) dapat dihitung nilai pathloss sebagai berikut,

Untuk t_1

$$\begin{aligned} \text{PL } t_1 &= 37 + 30 \log \Delta d_1 \\ &= 37 + 30 \log 0,2 \\ &= 16,03 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Untuk t_2

$$\begin{aligned} \text{PL } t_2 &= 37 + 30 \log \Delta d_2 \\ &= 37 + 30 \log 0,1 \\ &= 16,03 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Untuk t_3

$$\begin{aligned} \text{PL } t_3 &= 37 + 30 \log \Delta d_3 \\ &= 37 + 30 \log 0,1 \\ &= 16,03 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Untuk t_4

$$\begin{aligned} \text{PL } t_4 &= 37 + 30 \log \Delta d_4 \\ &= 37 + 30 \log 0,1 \\ &= 16,03 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai pathloss (dBm) pada waktu t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4 dalam Tabel 4.5:

Tabel 4.5 Nilai Pathloss pada waktu t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4

User	PL t_1	PL t_2	PL t_3	PL t_4
1	16,03	16,03	16,03	16,03
2	32,35	25,06	25,06	16,03
3	39,38	37	32,35	30,34
4	48,4	43,91	40,42	37

5	52,94	49,45	45,36	42,28
6	56,6	53,32	49,94	46,67
7	59,68	56,3	52,94	49,94
8	63,08	58,48	55,38	52,56
9	63,42	60,34	57,71	54,73
10	64,25	61,78	59,45	56,6
11	64,88	62,72	60,34	58,23
12	65,03	63,42	61,39	58,97
13	64,88	63,59	61,98	60,13
14	65,03	63,59	62,35	60,56
15	63,59	63,42	62,35	60,98
16	62,54	62,72	62,17	61,18

Sumber: perhitungan

4.3.2 Menghitung Nilai Carrier To Interference Ratio (CIR)

Carrier to interference ratio (CIR) sebagaimana telah dijelaskan pada Bab II sebelumnya didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.1) dengan thermal noise diabaikan:

$$\frac{C}{I}(t_{n+1}) = \frac{Pt^i(t_n)Pg}{Pl^i(t_{n+1}) \xi \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^M \frac{Pt^j(t_n)}{Pl^j(t_{n+1})}}$$

Dengan,

- Pt^i : Daya Pancar pada user ke- i (dBm)
- Pl^i : Pathloss pada user ke- i (dBm)
- Pt^j : Daya Pancar pada user ke- j (dBm)
- Pl^j : Pathloss pada user ke- j (dBm)
- Pg : Spesifikasi UTRA Untuk CDMA = 12 dB
- ξ : faktor orthogonal = 0,3

Untuk user 1 pada waktu t_1 didapatkan,

$$J = Pt = 6,553 \text{ watt} = 38,164 \text{ dBm.}$$

$$\frac{C}{I}(t_1) = \frac{38,164}{16,03} \cdot 12$$

$$= 0,3 \left\{ \left(\frac{38,164}{32,35} \right) + \left(\frac{38,164}{35,58} \right) + \left(\frac{38,164}{48,4} \right) + \left(\frac{38,164}{52,94} \right) + \left(\frac{38,164}{56,6} \right) + \left(\frac{38,164}{59,6} \right) + \left(\frac{38,164}{63,08} \right) + \left(\frac{38,164}{63,42} \right) \right.$$

$$\left. + \left(\frac{38,164}{64,25} \right) + \left(\frac{38,164}{64,88} \right) + \left(\frac{38,164}{65,03} \right) + \left(\frac{38,164}{64,88} \right) + \left(\frac{38,164}{65,03} \right) + \left(\frac{38,164}{65,03} \right) + \left(\frac{38,164}{63,59} \right) + \left(\frac{38,164}{62,54} \right) \right\}$$

$$= 9,23 \text{ dB}$$

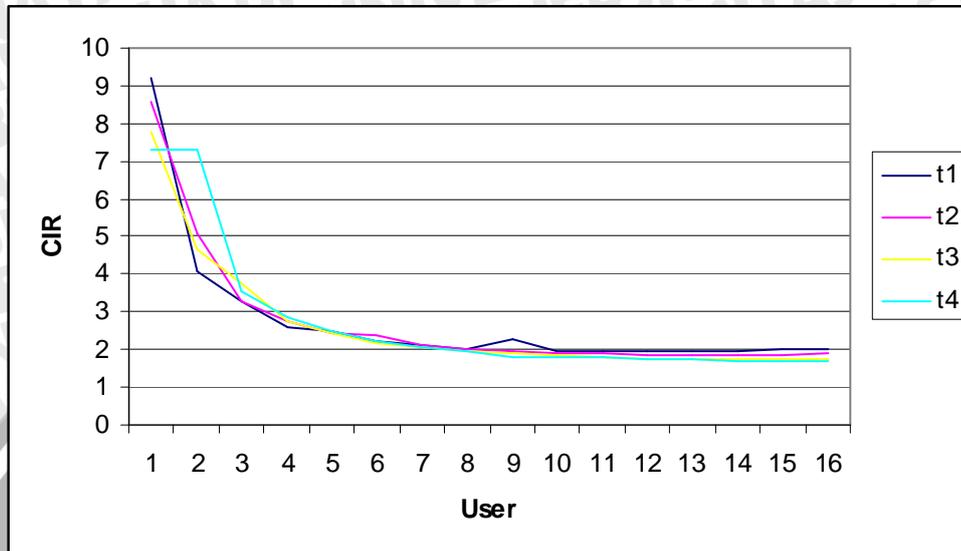
Didapatkan nilai CIR setiap user pada waktu t_1, t_2, t_3 dan t_4 ditunjukkan dalam Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 nilai CIR pada waktu t_1, t_2, t_3 dan t_4

user	t_1	t_2	t_3	t_4
1	9,23	8,55	7,77	7,29
2	4,1	5,06	4,68	7,29
3	3,3	3,3	3,74	3,55
4	2,6	2,75	2,75	2,86
5	2,47	2,41	2,43	2,47
6	2,23	2,38	2,19	2,24
7	2,12	2,09	2,07	2,07
8	2	2,02	1,98	1,98
9	2,25	1,95	1,89	1,82
10	1,97	1,92	1,83	1,81
11	1,95	1,89	1,79	1,78
12	1,95	1,86	1,77	1,76
13	1,95	1,86	1,77	1,73
14	1,95	1,86	1,73	1,7
15	1,99	1,86	1,73	1,7
16	2,03	1,89	1,73	1,67

Sumber: perhitungan

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan grafik nilai CIR pada msing-masing user pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4



Gambar 4.3 Grafik Nilai CIR pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4

Sumber: perhitungan

4.3.4 Outage Probability

Outage probability sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya, merupakan prosentase perbandingan antara nilai CIR yang terjadi dalam simulasi (lapangan) dengan nilai CIR target (*threshold*) yaitu sebesar 7 dB.

Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Outage Probability} = \left| \frac{CIR_t - CIR}{CIR_t} \right| \times 100\%$$

Untuk *user* 1 pada waktu t_1 didapatkan,

$$\begin{aligned} \text{Outage Probability } t_1(\%) &= \left| \frac{7 - 9,23}{7} \right| \times 100\% \\ &= 31,86\% \end{aligned}$$

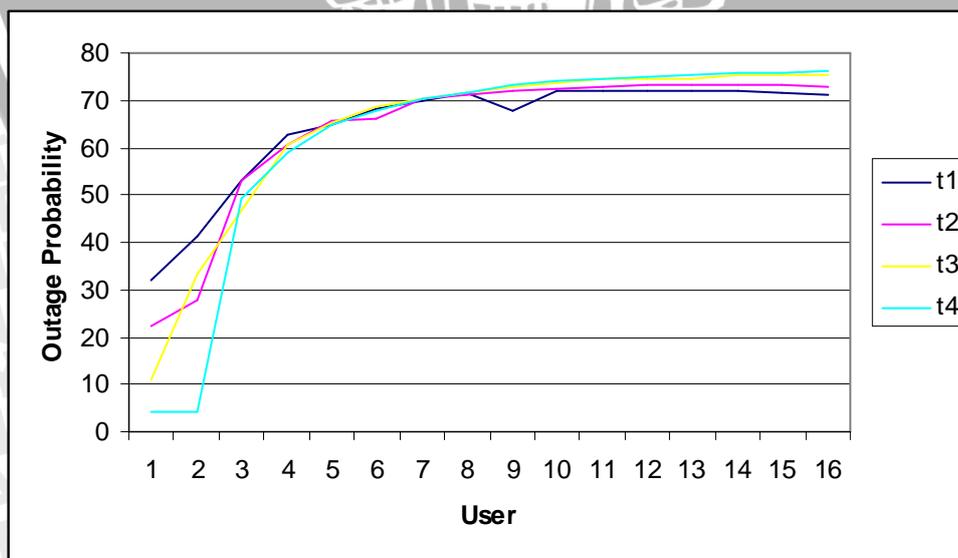
Maka dengan nilai CIR setiap *user* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4 didapatkan nilai *outage probability* pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 dalam Tabel 4.5:

Tabel 4.5 Nilai *Outage Probability* pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4

User	t_1 (%)	t_2 (%)	t_3 (%)	t_4 (%)
1	31,86	22,14	11	4,14
2	41,4	27,7	33,14	4,14
3	52,86	52,86	46,57	49,28
4	62,86	60,7	60,7	59,14
5	64,71	65,57	65,28	64,71
6	68,14	66	68,71	68
7	69,71	70,14	70,43	70,43
8	71,43	71,14	71,71	71,71
9	67,86	72,14	73	73,28
10	71,86	72,57	73,86	74,14
11	72,14	73	74,43	74,57
12	72,14	73,43	74,71	74,86
13	72,14	73,43	74,71	75,28
14	72,14	73,43	75,28	75,71
15	71,57	73,43	75,28	75,71
16	71	73	75,28	76,14

Sumber: perhitungan

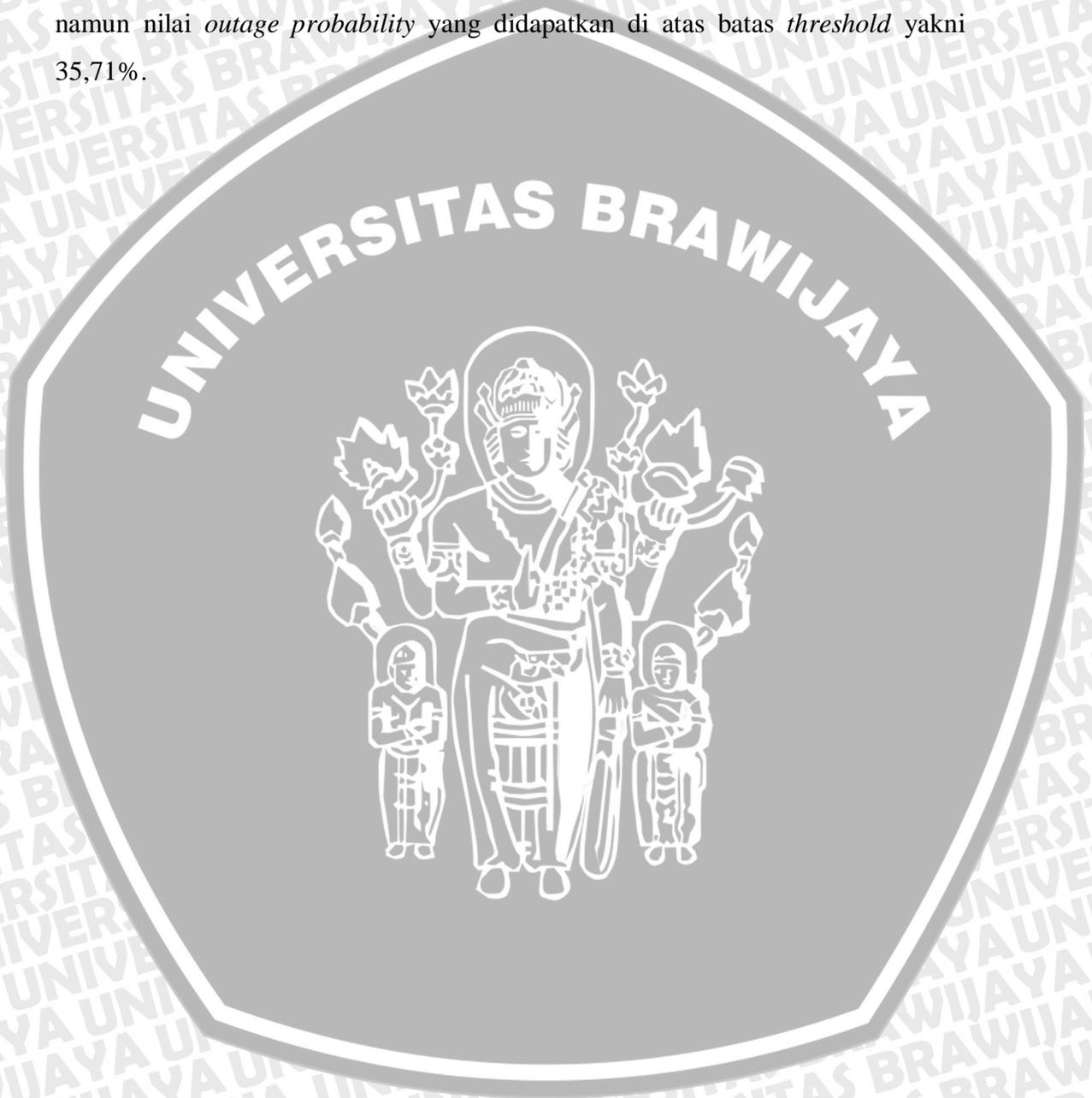
Pada Gambar 4.4 ditunjukkan Grafik Nilai *outage pobability* pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 :



Gambar 4.4 Grafik Nilai *outage pobaility* pada waktu t_1 , t_2 , t_3 dan t_4

Sumber: perhitungan

Sebagaimana dijelaskan pada Bab sebelumnya bahwa teknik *LQR* sebenarnya diharapkan dapat memperoleh nilai *outage probability* yang mencapai nilai 0% atau *zero mean probability*. Namun dalam simulasi ini hal tersebut tidak tercapai, namun nilai *outage probability* yang didapatkan di atas batas *threshold* yakni 35,71%.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penggunaan teknik *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dalam *power control* pada sistem CDMA diharapkan dapat menghasilkan nilai *outage probability* mendekati nol persen (0%), karena teknik ini dikenal memiliki proses iterasi yang lebih pendek daripada teknik optimasi yang lainnya.

Dalam simulasi pada yang telah dilakukan, didapatkan nilai CIR yang masih dalam batas *threshold* yakni 7 dB dengan standar deviasi yang diijinkan adalah maksimum sebesar 2.5 dB atau dalam perbandingan adalah 35,71% hanya pada user 1 dan 2. Sedangkan pada user 3 sampai dengan user 16 didapatkan nilai CIR diluar batas *threshold* dan deviasi, sehingga nilai *outage probability*-nya tidak sesuai yang diharapkan yaitu dalam *range* mendekati *threshold* yaitu *zero outage probability* (0%) atau maksimum 35,71%. Hal ini disebabkan estimasi pergerakan user menggunakan distribusi gauss memiliki kecepatan perpindahan yang sangat ekstrem, yang berakibat pada tingginya *pathloss*.

Jadi, secara umum teknik *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dalam penggunaannya untuk pengaturan daya pancar dalam sistem CDMA dengan simulasi yang telah dilakukan tidak sesuai dengan target yaitu nilai CIR sebesar 7 dB dengan deviasi 2,5 dB atau *outage probability* maksimum 35,71%. Disebabkan nilai *pathloss* setiap user bernilai tinggi.

5.2 Saran

Dari hasil analisis dan kesimpulan yang diambil, maka diajukan saran sebagai berikut:

1. Simulasi yang telah dilakukan masih belum mewakili secara keseluruhan untuk kondisi nyata di lapangan. Maka hendaknya pengambilan *sample* untuk nilai *SIR* dan *Pathloss* asli di lapangan, dan

2. Penentuan bobot untuk nilai Q dan R dipikirkan dengan mandiri sesuai dengan kondisi di lapangan secara real/nyata.



DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, B.D.O., and, Moore, J.B., *Optimal Control Linear Quadratic Methods*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall,1989
- Bramer, S.E. Van . *Properties of a Gaussian Distribution*. Department of Chemistry,Widener University,Chester, PA 19013
- El-Osery, A., and Abdallah, C. *Distributed Power Control in CDMA Cellular Systems*. IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 42, No. 4, August 2000
- Jäntti, R., and Kim, S-L. *Second-Order Power Control with Asymptotically Fast Convergence*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, VOL. 18, no. 3, March 2000
- Lee, J.S., and, Miller, L.E., *CDMA Systems engineering Handbook*, British Library, 1998.
- Mudesir, Abdurrazak. *Power Control Algorithm In CDMA System*. International University Bremen. 2004
- Nuaymi, L. *A Power Control Algorithm for 3G WCDMA System*. 2002
<http://www.ing.unipi.it/ew2002/proceedings/177.pdf>
- Santoso, G., *Sistem Selular CDMA*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.