

ANALISIS DAN SIMULASI VARIABLE-STEP POWER CONTROL DENGAN DIVERSITAS ANTENA MENGGUNAKAN ALGORITMA COMBINING SC, EGC, DAN MRC PADA SISTEM CDMA

Hesya Tri Marthian¹, Arfianto Fahmi², Nachwan Mufti³

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Dalam tugas akhir ini dilakukan pengamatan kinerja dari variable-step power control (VSPC) yang dikombinasikan dengan diversitas antena pada sistem CDMA. Power control pada sistem CDMA merupakan aspek yang sangat penting mengingat CDMA merupakan sistem yang dibatasi oleh interference dari user (interference-limited). Hal ini karena setiap user menempati frekuensi yang sama sehingga perbedaan antar user hanya menggunakan kode user yang disebut PN codes, sedangkan kode user tersebut tidak jarang mengalami korelasi silang. Berdasarkan pengamatan sebelumnya deep fade effect juga mempengaruhi kinerja dari sebuah power control pada sistem CDMA. Variable-step power control (VSPC) merupakan suatu algoritma power control yang menggunakan lebih dari satu bit PCC yang dirancang untuk mengatasi keterlambatan update level daya yang diinginkan (SIR) dengan cepat. Sedangkan teknik diversitas dirancang untuk mengatasi multipath fading yang dapat menyebabkan deep fade effect. Teknik diversitas yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu diversitas antena. Diversitas ini memanfaatkan penggunaan antena yang disusun berdasarkan perbedaan jarak elemen antar antena.

Evaluasi dilakukan dengan beberapa skenario simulasi, yaitu simulasi untuk kinerja variable-step power control (VSPC) tanpa diversitas, kinerja diversitas antena tanpa power control dan yang terakhir kinerja VSPC dikombinasikan dengan diversitas antena. Parameter yang menjadi tolak ukur pengukuran yakni SIR (Signal-to-interference), dan BER (Bit-error-rate), sedangkan faktor yang menjadi bahan pertimbangan yaitu fading rate user, level step-size pada power control dan jumlah user aktif.

Dari evaluasi hasil simulasi menunjukkan MRC memberikan kinerja diversitas antena yang terbaik. Sedangkan kinerja variable-step power control (VSPC) yang terbaik terlihat pada penggunaan level step-size 1 dB. Pengaruh jumlah user aktif akan mengubah interference yang dialami user yang diamati sehingga akan mengubah nilai SIR rata-rata user yang diamati tersebut. Dan yang terakhir fading rate user yang tinggi dapat teratasi dengan kombinasi dari diversitas antena dan VSPC.

Kata Kunci : Power Control, deep fade, diversitas antena, SC, EGC, MRC, VSPC

Telkom
University

Abstract

In this final task performance observation of variable-step power control (VSPC) which is combined with antenna diversity in CDMA systems. Power control in CDMA systems is a very important aspect considering that CDMA is the system which is limited by interference from the user (interference-limited). This is because each user occupies the same frequency so that the distinction between the user only uses the user code which is called PN codes, however the user codes are frequently experience cross correlation. Based on previous observations of a deep fade effect also affects the performance of power control in CDMA systems. Variable-step power control (VSPC) is a power control algorithm that uses more than one bit PCC which is designed to overcome the delay in updating the desired power level (SIR) faster. And diversity technique is designed to overcome the multipath fading that can cause deep fade effects. Diversity technique that used in this final task is antenna diversity. Antenna diversity takes advantage of the use of antennas which are arranged according to distances between the antenna elements.

The evaluation is done by some simulation scenarios, the simulation for the performance of variable-step power control (VSPC) without diversity, antenna diversity performance without power control and the last VSPC performance combined with antenna diversity. Parameters that become the benchmark measurement of SIR (Signal-to-interference), and BER (Bit-error-rate), and the factors which are taken into consideration are fading rate user, the level of the step-size power control and the number of active users.

From the evaluation of simulation shows that the performance of MRC algorithm provides the best performance of antenna diversity combining algorithm. The performance of variable-step power control (VSPC) is best seen in the use of the step-size level 1 dB. The influence of the number of active users changes the interference experienced by users who observed that would change the average SIR value - the average user is observed. The last, fading high user rates can be overcome with a combination of antenna diversity and VSPC.

Keywords : Power Control, deep fade, diversity antenna, SC, EGC, MRC, VSPC

BAB I Pendahuluan

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini berisi teori pendukung berupa sistem CDMA, *power control*, dan Teknik diversitas antena.

BAB III : PEMODELAN SISTEM DAN KANAL

Bab ini berisi tentang model sistem simulasi, parameter simulasi, prosedur simulasi yang meliputi model sistem *close-loop power control*, model sistem diversitas antena, model sistem *close-loop power control* dikombinasikan dengan diversitas antena dan *flowchart* proses simulasi.

BAB IV : ANALISIS HASIL SIMULASI

Bab ini berisi hasil analisis dan simulasi dari tugas akhir ini.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN



Telkom
University

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Karakteristik Kanal *wireless*

Pada sistem komunikasi seluler, fenomena *fading* seperti difraksi, shadowing, refleksi, dan scattering tidak dapat dihindari. Sinyal – sinyal yang diterima BS adalah kombinasi sinyal dengan amplitudo dan fasa yang berbeda, dimana superposisi sinyal – sinyal tersebut bisa bersifat konstruktif maupun destruktif, tergantung dari perbedaan fasa semua sinyal yang diterima. Dengan kata lain, sinyal yang ditransmisikan melalui gelombang radio akan mengalami fluktuasi akibat karakteristik mediumnya yang selalu berubah-ubah. Pada [7] Fluktuasi tersebut dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu

- a. *Large-scale fading*,
- b. *Small-scale fading (multipath)*.

2.1.1 *Large Scale Fading*

Large-scale fading menunjukkan fluktuasi redaman propagasi yang relatif konstan pada daerah yang luas dan interval waktu yang lama. Terdapat tiga macam mekanisme propagasi yang menghasilkan fluktuasi yaitu refleksi, difraksi, dan scattering. Refleksi muncul ketika gelombang radio mengenai benda rata dengan dimensi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang dari gelombang tersebut. Difraksi timbul jika antara pemancar dan penerima terhalang oleh benda dengan permukaan tajam (*sharp edge*). Peristiwa difraksi menimbulkan gelombang yang muncul di belakang benda penghalang tersebut dan perambatan gelombangnya menuju ke penerima. Munculnya gelombang semu ini disebut sebagai *shadowing*. *Scattering* timbul jika gelombang radio merambat melalui medium dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang sinyal. Permukaan medium tersebut biasanya kasar. Scattering menyebabkan gelombang tersebut akan dipantulkan ke berbagai arah.

2.1.2 *Small-Scale Fading*

Small-scale fading merupakan fluktuasi redaman propagasi pada daerah yang sempit dan interval waktu yang singkat. Model propagasi pada *small-scale* sangat penting untuk menjelaskan efek propagasi *multipath*. Ada dua macam perwujudan/bentuk propagasi *multipath* [7] :

BAB II Dasar Teori

- a. Fluktuasi amplitudo karena superposisi destruktif atau konstruktif dari jalur sinyal yang diterima.
- b. Dispersi waktu (*time spreading*) dari sinyal yang diterima karena perbedaan waktu kedatangan dari jalur yang berbeda.

2.1.2.1 *Time spreading signal*

Time Spreading signal mengamati fenomena *small scale fading* dari waktu transmisi antar simbol dan dispersi simbol yang ditransmisikan. Ketidak-samaan waktu sampai semua komponen *multipath* di penerima akan mengakibatkan timbulnya *multipath delay spread* (τ_m) yang didefinisikan sebagai perbedaan *delay* waktu antara kedatangan komponen pertama sinyal ($\tau = 0$) dan komponen terakhir sinyal ($\tau = \tau_m$). Jika τ_m lebih besar dari pada waktu simbol (T_{sym}), maka tidak semua komponen *multipath* sampai sebelum waktu simbol berakhir. Akibatnya sebagian komponen *multipath* akan mempengaruhi simbol berakhir. Akibatnya sebagian komponen *multipath* akan mempengaruhi simbol berikutnya. Fenomena ini disebut *Inter Symbol Interference (ISI)*. Distorsi akan terjadi pada simbol selanjutnya. Sebaliknya, jika τ_m jauh lebih kecil dibandingkan dengan T_{sym} , maka semua komponen *multipath* akan sampai di penerima sebelum simbol berakhir. Pada peristiwa ini tidak terjadi ISI. $\tau_m > T_{sym}$ disebut *frequency selective fading*, sementara jika $\tau_m \ll T_{sym}$ disebut *flat fading*.

Time Spreading signal juga dapat dilihat dari bandwidth koheren kanal (W_0). W_0 merupakan pengukuran secara statistik dari suatu range frekuensi di mana kanal dapat dianggap “flat”, yaitu kanal melewati semua komponen spectral dengan *gain* yang rata-rata tetap dan memiliki fasa *linear*. *Bandwidth* koheren berbanding terbalik dengan *delay spread*. Jadi *flat fading* terjadi jika $W_0 \gg W$ dan *frequency selective fading* terjadi jika $W_0 \ll W$, dimana W merupakan *bandwidth* sinyal.

2.1.2.2 *Time Varying of channel*

Time Varying of Channel (variasi waktu pada kanal) disebabkan oleh pergerakan antara pemancar dan penerima (jarak MS dan BS yang sedang berubah). Pada fluktuasi ini dikenal istilah *waktu koheren* (T_0) yang didefinisikan sebagai durasi waktu ketika respon kanal tidak bergantung pada waktu (*time invariant*). Jika waktu koheren kanal (T_0) jauh lebih kecil dibandingkan waktu durasi simbol (T_{sym}), disebut sebagai *fast fading*. Jika waktu koheren kanal lebih besar disbanding waktu durasi simbol, disebut sebagai kanal

BAB II Dasar Teori

slow fading. Mekanisme *fast fading* terjadi jika frekuensi *Doppler* lebih besar dibandingkan *bandwidth* kanal. Jika sebaliknya, frekuensi *Doppler* lebih kecil dibandingkan *bandwidth* kanal, terjadi mekanisme *slow fading*. Frekuensi *Doppler* (f_d) merupakan besaran yang menunjukkan kecepatan gerak *mobile station* relatif terhadap *base station*

2.2 Kanal fading Rayleigh

Rayleigh Fading merupakan jenis *fading* yang paling sering terjadi dalam kehidupan sehari-hari. *Rayleigh Fading* merupakan suatu model *fading* yang variasi sinyalnya terdistribusi *Rayleigh* dan digunakan untuk mendeskripsikan keadaan alami yang berubah terhadap waktu secara statistik pada *sampul* dari sebuah sinyal *flat fading*, atau *sampul* dari komponen sinyal *multipath* tunggal.

Persamaan matematis dari sinyal *multipath fading* terdistribusi Rayleigh yang diterima di penerima dapat diturunkan sebagai berikut [3]. Pertama, bentuk matematis dari sinyal yang dikirimkan adalah :

$$x(t) = s(t)e^{j(2\pi f_c t)} \tag{2.1}$$

Dengan $s(t)$ adalah sinyal baseband kompleks dengan *bandwidth* W , f_c adalah frekuensi *carrier*-nya ($f_c = c / \lambda$), dengan (c) adalah kecepatan cahaya, λ adalah panjang gelombang. Dari bentuk sinyal yang dikirim tersebut kemudian diturunkan persamaan matematis sinyal yang diterima di penerima dari L buah lintasan (*path*), yaitu :

$$y(t) = \sum_{l=1}^L C_l s(t - \tau_l) e^{j2\pi[(f_c + f_d \cos \psi_l)t - f_c \tau_l]} \tag{2.2}$$

Kanal *fading Rayleigh* termasuk kanal tipe *flat fading* sehingga persamaan (2.2) dapat ditulis menjadi :

$$y(t) = s(t - \tau_0) \left(\sum_{l=1}^L C_l e^{j\phi_l(t)} \right) e^{j2\pi f_c t} \tag{2.3}$$

Dengan :

$$\phi_l(t) = 2\pi(f_d \cos \psi_l t - f_c \tau_l) \tag{2.4}$$

Yang dapat dimodelkan sebagai variable acak yang independen dan terdistribusi *uniform* dalam rentang $[0, 2\pi]$ dan didefinisikan :

$$\tau_0 \in [\min \tau_l, \max \tau_l] \tag{2.5}$$

BAB II Dasar Teori

Ekspresi pertama dari persamaan (2.3) menunjukkan bahwa sinyal yang ditransmisikan mengalami *delay* sesuai dengan waktu propagasi. Sedangkan ekspresi kedua merupakan fluktuasi amplitudo, sebagai :

$$\beta(t) = \sum_{l=1}^L C_l e^{j\phi_l(t)} = \alpha(t) e^{j\phi(t)} \quad (2.6)$$

Jika jumlah lintasan (*path*) L sangat besar, maka berdasarkan Teori *Central limit*, maka $\beta(t)$ akan mendekati peubah acak kompleks yang terdistribusi Gaussian sehingga $\alpha(t)$ akan memiliki *probability density function* (pdf) tipe Rayleigh yang persamaan matematisnya adalah :

$$f(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right), \quad \alpha \geq 0 \quad (2.7)$$

Dengan :

$$2\sigma^2 = E[\alpha^2] \quad (2.8)$$

Mendefinisikan daya rata-rata dari sinyal yang diterima.

2.3 Doppler Spread

Doppler Spread merupakan suatu gejala yang dapat menggeser frekuensi *carrier* dari yang dipakai pada kanal radio sehingga dapat menurunkan performansi. Untuk kanal yang *multipath*, efek dari *Doppler* ini akan menyebabkan komponen-komponen sinyal yang datang mempunyai perbedaan frekuensi. Besarnya pergeseran ini bervariasi dengan pergeseran maksimumnya atau *Doppler spread* maksimum f_d , bergantung pada kecepatan kendaraan user dan juga pada frekuensi *carrier* yang digunakan. f_d ini juga biasa disebut sebagai bandwidth dari fading. Nilai f_d ini didefinisikan sebagai [7]:

$$f_d = \frac{v}{c} \cdot f_C \cos \theta \quad (2.9)$$

Dengan v adalah kecepatan kendaraan, f_C adalah frekuensi *carrier* yang digunakan, dan θ merupakan sudut yang terjadi antara arah kecepatan dan BS. Pada simulasi yang dilakukan pada tugas akhir ini, $\cos \theta$ diasumsikan berharga satu. Terlihat dari persamaan tersebut bahwa dengan semakin tingginya kecepatan kendaraan, maka akan membuka peluang pergeseran maksimum yang semakin besar. Begitu juga dengan menggunakan frekuensi *carrier* yang besar namun tanpa melakukan berbagai optimasi maka peluang penurunan *kinerja* pun semakin besar.

BAB II Dasar Teori

Doppler spread juga dapat menentukan cepat atau lambatnya *fading* relatif terhadap simbol yang ditransmisikan. Parameter untuk menentukan ini adalah waktu koheren T_0 , dengan respon impuls dari kanal adalah [7]:

$$T_0 \approx \frac{1}{2\pi f_D} \quad (2.11)$$

Dengan T_0 sebagai waktu koheren yakni durasi waktu ketika respon kanal tidak bergantung pada waktu (*time invariant*).

2.4 Konsep Spread Spectrum

Sistem CDMA dibuat berdasarkan teknologi *Spread Spectrum*. *Spread spectrum* merupakan teknik transmisi data *multiple user* dengan menggunakan *bandwidth* transmisi (W) yang jauh lebih besar dari *bandwidth* atau *rate* informasinya (R). Perbandingan antara W dengan R disebut dengan *processing gain* (PG) dengan persamaan :

$$PG = \frac{W}{R} \quad (2.12)$$

Disebut *Processing gain* karena nilai ini menguatkan rasio *signal-to-noise* (S/N) yang diterima sebesar nilai PG itu sendiri dengan persamaan :

$$(S/N)_0 = PG(S/N)_i \quad (2.13)$$

Konsep sistem *spread spectrum* ini dapat dilihat juga pada teorema *Shannon* untuk kapasitas sistem, yaitu [3]:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.14)$$

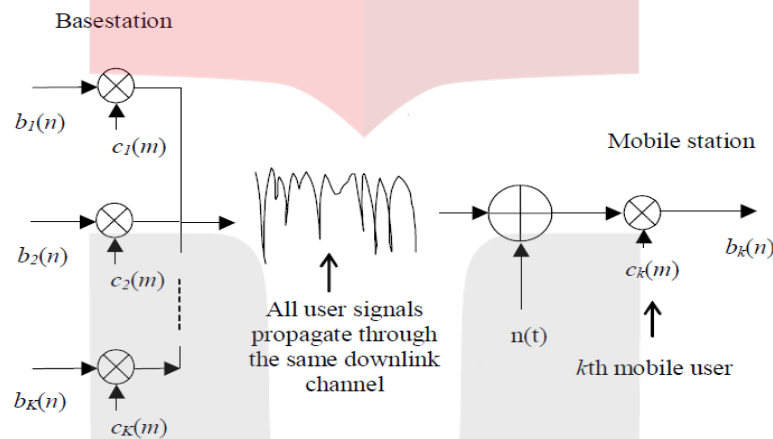
Dengan C adalah kapasitas kanal transmisi (*bps*), dan N adalah level noise (*watt*). Teknik spektrum tersebar yang paling banyak digunakan pada sistem selular bergerak adalah *direct sequence spread spectrum* (DS-SS) dimana sinyal informasi atau data biner dikalikan secara langsung dengan suatu pengkode berupa *spreading sequence* yang bersifat acak dan biasa disebut sebagai DS-CDMA (*Direct Spread-CDMA*). Pada DS-CDMA tiap user melakukan proses penyebaran (*spreading*) atau membagi simbol/bit data menjadi deretan kode yang unik [3]. Proses ini dilakukan dengan membagi rapat daya sinyal pada suatu *bandwidth* yang lebar dengan menggunakan sebuah deretan kode yang unik. Kode unik tersebut lebih dikenal dengan nama *chips*, dan hanya diketahui oleh pengirim dan penerima. Data yang telah disebar bisa dikembalikan ke bentuk aslinya pada penerima dengan melakukan korelasi antara data yang diterima dan kode unik *user*. Kode unik

BAB II Dasar Teori

tersebut bisa merupakan data yang *orthogonal* (hasil *cross correlation*-nya 0) atau data acak dengan nilai *cross correlation* yang rendah.

2.4.1 Model Kanal Downlink

Pada kanal *downlink*, sinyal dari setiap *user* dapat ditransmisikan secara sinkron oleh BS karena dikirim dari lokasi BS yang sama. Sinyal-sinyal tersebut akan melalui kanal *multipath* yang sama dan mengalami redaman propagasi serta *fading* secara simultan sehingga pada kanal *downlink spreading sequence orthogonal* dapat digunakan.



Gambar 2.1. Model Kanal *downlink*.

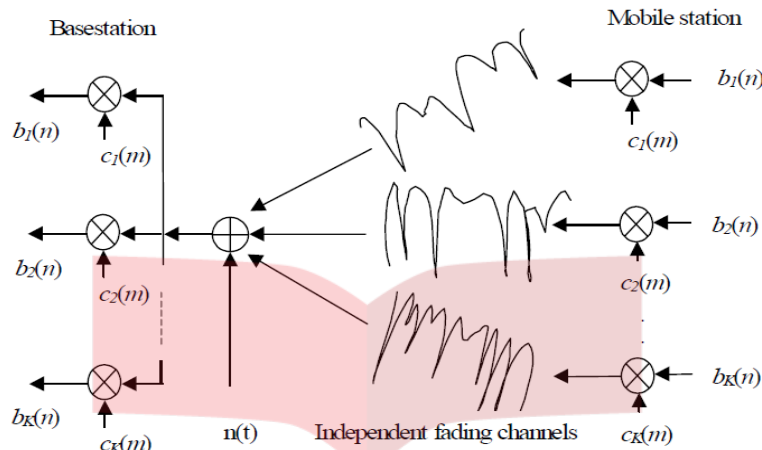
Data *user ke-k*, yaitu $b_k(n)$ disebar oleh *spreading sequence user ke-k* itu sendiri, yaitu $c_k(m)$. Semua data dari setiap *user* yang telah mengalami penyebaran dikirim dalam satu *carrier* melalui kanal *downlink* yang sama. Pada MS, sinyal yang diterima mengalami proses *despreading* untuk mendapat simbol yang dipancarkan oleh BS.

2.4.2 Model Kanal Uplink

Setiap *user* yang akan berkomunikasi ke BS melalui kanal *uplink* memancarkan sinyal dari lokasi yang berbeda-beda bahkan mungkin *user* tersebut bergerak dengan kecepatan atau percepatan tertentu sehingga sinyal yang diterima BS menjadi tidak sinkron. Hal ini menyebabkan kode orthogonal tidak dapat digunakan pada kanal *uplink* karena sifat ke-ortogonal-an kode nya tidak dapat dipertahankan. Pada BS, sinyal yang dikirim *user ke-k* akan dideteksi dengan melakukan korelasi silang antara sinyal yang diterima dengan kode dari *user ke-k* tersebut. Karena pada kanal *uplink* tidak dapat digunakan kode orthogonal, korelasi silang antara kode *user* yang diamati dengan *user* lain

BAB II Dasar Teori

tidak sama dengan nol sehingga *user* tersebut pasti mengalami MAI dari (total *user* - 1) *user* lainnya.



Gambar 2.2 Model kanal uplink.

Ditambah lagi level sinyal yang diterima di BS tidak sama untuk semua *user* karena masing-masing *user* memiliki variasi *fading* yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan *user* yang lebih dekat dengan BS akan lebih mendominasi karena level sinyal pancar *user* tersebut yang diterima oleh BS lebih besar daripada level sinyal pancar *user* lain yang berada jauh dari BS.

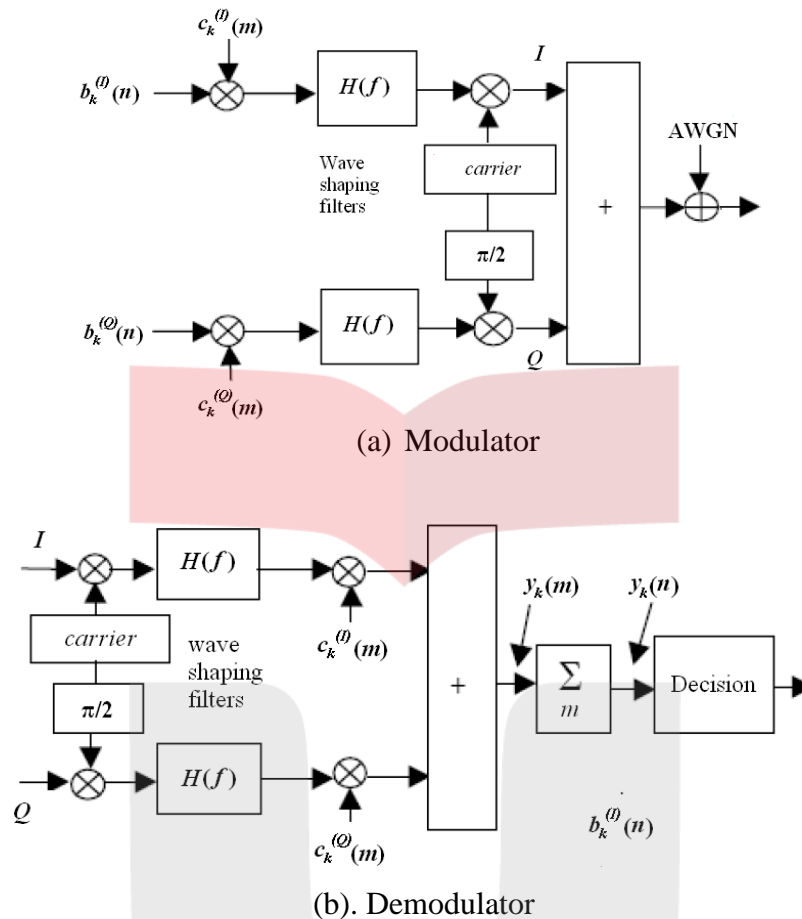
2.5 Model sinyal CDMA dengan modulasi QPSK

Kode yang digunakan untuk menebar sinyal yang dikirim oleh *user* merupakan *pseudorandom noise code* atau kode PN. Pengirim dan penerima sinyal dalam hal ini BS dan MS harus mempunyai kode PN yang sama agar informasi yang dikirim dapat diterjemahkan. Kode PN ini mempunyai sangat pendek yang telah disebutkan sebelumnya di atas, yaitu *chip*. Gambar 2.3 Menunjukkan model sistem transmisi CDMA dengan modulasi QPSK untuk transmitter dan receiver.

Simbol ke-*n* yang dikirim oleh *user* ke-*k* adalah : $b_k(n) = b_k^{(I)} + \mathbf{j}b_k^{(Q)}(n)$ ditebar oleh *spreading-sequence user* ke-*k* yaitu $c_k(m) = c_k^{(I)}(m) + \mathbf{j}c_k^{(Q)}(m)$, $m \in \{1,2,\dots,M\}$. Sinyal yang ditransmisikan akan mengalami *fading* dan AWGN, sehingga sinyal dari seluruh *k-user* yang diterima oleh BS dapat dimodelkan sebagai berikut [2]:

$$r(t) = \sum_k \beta_k(t)b_k c_k + \sigma_k n(t) \tag{2.15}$$

$\beta_k(t)$ adalah koefisien kanal *fading* dan $n(t)$ adalah *additive White Gaussian Noise* dengan standar deviasi σ_k . Agar simbol dapat dideteksi kembali oleh penerima maka digunakan *spreading-sequence* $c_k(m)$ yang sama seperti pada pengirim.



Gambar 2.3 Model sinyal sistem CDMA bermodulasi QPSK [2].

Spreading-sequence user tersebut merupakan deretan $c_k^{(I)} = \{ c_k^{(I)}(1), c_k^{(I)}(2), \dots, c_k^{(I)}(M) \}$ dan $c_k^{(Q)} = \{ c_k^{(Q)}(1), c_k^{(Q)}(2), \dots, c_k^{(Q)}(M) \}$. Deretan kode acak murni ini mempunyai sifat korelasi sinkron seperti berikut [2] :

$$\rho_{kj}(\tau) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M c_k(m) c_j^*(m) = \begin{cases} 1 & \text{Jika } k = j \text{ dan } \tau = 0, \\ -1/M & \text{Jika } k \neq j \end{cases} \quad (2.16)$$

Dalam simulasi, amplitudo dari *spreading-sequence* kuadratur dinormalisasi sehingga magnitudo dari bilangan kompleks-nya menjadi satu yang dinyatakan sebagai [2]

$$c_k(m) = \frac{1}{\sqrt{2}} c_k^{(I)}(m) + \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{j} c_k^{(Q)}(m) \quad (2.17)$$

Pada modulasi QPSK, urutan simbol yang ditransmisikan $b_k(n)$ dari *user* ke- k dapat dinyatakan sebagai [2] :

$$b_k(n) = A_k(n) e^{j\theta_{kn}}, n \in \{1, 2, \dots, B\} \quad (2.18)$$

Dimana $A_k(n)$ merupakan faktor skala amplitudo simbol, $\theta_{kn} \in \{ \pm \pi/4, \pm 3\pi/4 \}$ adalah modulasi fasa, dan B adalah jumlah simbol yang ditransmisikan. Jika $A_k(n) = 1$ (daya

BAB II Dasar Teori

pancar yang ternormalisasi menjadi 1), maka urutan simbol yang ditransmisikan pada level *chip* dengan indeks m adalah [2] :

$$b_k(m) = \frac{1}{\sqrt{2}} b_k^{(I)}(m) + \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{j} b_k^{(Q)}(m), m \in \{1, 2, \dots, MB\} \quad (2.19)$$

Dengan $b_k^{(I)}(m), b_k^{(Q)}(m) \in \{+1, -1\}$. Kemudian urutan simbol yang disebar pada level *chip* dan dimodulasi dengan frekuensi *carrier* kemudian ditransmisikan melalui kanal

2.6 Power control pada sistem CDMA

Algoritma *power control* dibagi menjadi tiga kategori [4], yaitu: algoritma *power control* berdasarkan *strength* (daya), berdasarkan SIR (*Signal to Interference Ratio*) dan berdasarkan SIR-dan-*strength*. Kinerja *power control* berdasar SIR lebih baik daripada *power control* berdasarkan *strength* [4]. Berdasarkan kuantisasi *step size*, *power control* dibagi menjadi dua kategori [4]: *fixed step size* dan *variabel step size*. Sedangkan algoritma *power control* berdasarkan ruang lingkungannya ada tiga jenis yaitu yaitu: *open-loop power control*, *closed-loop power control* dan *outer-loop power control*.

2.6.1 Open-loop Power control

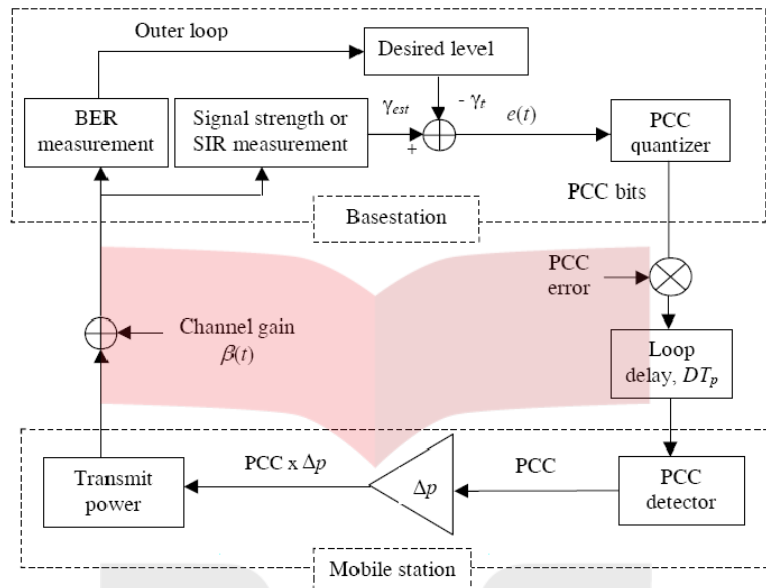
Open-loop power control adalah *power control* yang dilakukan oleh MS berdasarkan level sinyal yang diterima dari BS. Hal ini dapat terjadi mengingat sifat *large-scale propagation* yang timbal-balik sehingga *control* level sinyal ini dilakukan tanpa menggunakan *feedback*. *Power control* ini mempunyai dua fungsi utama yaitu menentukan level sinyal *initial* (awal) dan mengkompensasi variasi sinyal skala besar yang umumnya disebabkan oleh *pathloss*. Kegunaan utama dari *power control* ini adalah menghilangkan *near-far effect* sehingga level sinyal yang diterima BS dari semua MS cenderung sama.

2.6.2 Close-loop power control

Small-scale propagation memiliki karakteristik kanal masing-masing untuk *uplink* dan *downlink*nya. *Closed-loop power control* bertujuan untuk menghilangkan efek redaman dari *small-scale propagation*. Pada algoritma *close-loop*, sinyal *uplink* diestimasi oleh BS untuk kemudian dikirim kembali ke MS sehingga MS dapat mengatur level sinyal yang dikirimnya berdasarkan informasi yang diterima dari BS tersebut. Informasi *feedback* yang diberikan BS ini berasal dari estimasi BS tersebut yang dapat berbasis pada SIR yang diterima dari MS atau berdasar kuat sinyal yang diterima dari MS. Estimasi berdasarkan

BAB II Dasar Teori

SIR lebih dipilih dari pada berdasar kuat sinyal karena CDMA bersifat *interference limited* (dibatasi oleh interferensi sistem) [3].



Gambar 2.4 Skema *close-loop power control* pada *uplink* [2]

SIR tiap *user* diestimasi setiap satu *timeslot*, T_p , yang merupakan interval dari *power control* itu. SIR yang diestimasi direpresentasikan dengan γ_{est} dan dibandingkan dengan SIR target yang direpresentasikan dengan γ_t . Proses perbandingan ini dilakukan untuk menentukan apakah MS perlu menaikkan level sinyalnya atau justru menurunkannya. Hasil keputusan ini dikirim oleh BS kepada MS pada kanal *downlink* melalui *power control command* (PCC) yang merupakan representasi biner sehingga berupa bit-bit perintah. Namun pada saat ditransmisikan melalui kanal *downlink*, bit PCC mengalami *delay* atau *error*. Untuk *singlebit* PCC, bit perintah hanya memerintahkan untuk menaikkan atau menurunkan level sinyal sebesar *step-size* Δp atau ukuran *step-size* yang telah ditentukan. Untuk *multibit* PCC, bit perintah dapat memerintahkan untuk menaikkan atau menurunkan level sinyal dengan *step-size* yang lebih signifikan dan spesifik.

2.7 Kinerja Power control

Kinerja *power control* dievaluasi dalam parameter BER sebagai fungsi dari E_b/I_o . Fungsi E_b/I_o ini sebagai representasi dari fungsi *S/I* atau SIR dalam satuan bit, dengan hubungan sebagai berikut :

$$SIR = \frac{S}{I} = \frac{E_b \times R}{I_o \times W} = \frac{E_b}{I_o} \times \frac{1}{PG} \tag{2.20}$$

BAB II Dasar Teori

Dengan E_b adalah energy per bit, I_o adalah rapat spektral daya interferensi, R adalah *rate* informasi, W adalah *bandwidth* RF, dan PG adalah *processing gain*. Dari persamaan (2.20) dapat diketahui bahwa E_b/I_o dapat diterjemahkan sebagai nilai SIR per bit dan semakin tinggi nilai *processing gain* maka nilai S/I atau SIR yang dibutuhkan semakin rendah.

Saat *power control* bekerja dengan sempurna maka kinerja yang diperoleh adalah seperti kinerja AWGN yaitu kinerja maksimum yang sangat mustahil untuk diperoleh dalam kondisi riil. Kinerja AWGN untuk modulasi QPSK dapat ditulis sebagai :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{I_o}} \right) \quad (2.21)$$

Sedangkan jika suatu sistem CDMA tidak menggunakan *power control* maka kinerja yang diperoleh adalah kinerja *fading* yaitu bila sinyal melewati kanal AWGN dan kanal *fading Rayleigh*. Untuk kanal *fading Rayleigh* modulasi QPSK kinerja BER sebagai fungsi E_b/I_o dinyatakan sebagai :

$$BER = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma/2}{1+\gamma/2}} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_b/I_o}{1+E_b/I_o}} \right) \quad (2.22)$$

2.8 Teknik Diversitas

Diversitas merupakan suatu teknik untuk menggabungkan beberapa sinyal yang membawa informasi yang sama namun dikirim melalui kanal yang berbeda. Teknik diversitas sering kali digunakan untuk menambah performansi dari suatu link komunikasi *wireless*. Salah satunya untuk mengatasi kondisi *deep fade*, jika beberapa sinyal yang membawa informasi yang sama dan diterima melalui sejumlah kanal dengan *fading* yang independen, maka probabilitas sinyal-sinyal tersebut tidak mengalami *deep fade* akan bertambah. Teknik diversitas digolongkan menjadi beberapa macam, yaitu [6] :

- a. *Antenna Diversity / spacial Diversity*
- b. *Site Diversity*
- c. *Frequency Diversity*
- d. *Time Diversity*
- e. *Polarization Diversity*
- f. *Angle Diversity*

Pada *antenna diversity* atau biasa disebut *space diversity* atau *micro-diversity*, sinyal hasil yang didapatkan dari sinyal datang yang membawa informasi yang sama yang diperoleh dari antena penerima yang berbeda yang kemudian sinyal-sinyal tersebut

BAB II Dasar Teori

dikombinasikan. Pada *site diversity* atau sering disebut *Macro-diversity*, antena *receiver* terletak di tempat yang berbeda – beda. Contohnya, sinyal yang dipancarkan dari sebuah *cell* dapat diterima dari segala penjuru wilayah dari area *hexagonal* yang berada diluar *cell* tersebut. Kelebihan dari *site diversity* yaitu tidak hanya *multipath fading* yang independen tapi *shadowing* dan *path loss* juga tidak berkorelasi setiap *branch* (cabang). Pada *frequency diversity*, sinyal hasil diversitas didapatkan dari beberapa sinyal yang datang yang membawa informasi yang sama namun menggunakan frekuensi *carrier* yang berbeda yang kemudian sinyal-sinyal tersebut dikombinasikan. Pemisahan frekuensi dari beberapa frekuensi *carrier* yang berbeda harus melebihi *bandwidth* dari kanal tersebut.

Pada *time diversity*, beberapa *path* sinyal yang datang membawa informasi yang sama namun tiba pada *time slot* yang berbeda, yang kemudian sinyal-sinyal tersebut dikombinasikan. Perbedaan waktu kedatangan antara satu *path* sinyal dengan sinyal lainnya harus tidak saling berkorelasi. Pada *polarization diversity*, teknik ini memanfaatkan polarisasi yang berbeda-beda dari tiap *multipath fading* dari sinyal-sinyal yang berbeda. *Angle diversity* hampir sama dengan *antenna diversity*, namun *angle diversity* memanfaatkan sinyal *multipath* yang datang dari arah yang berbeda. Setidaknya satu dari semua sinyal yang diterima dapat digunakan.

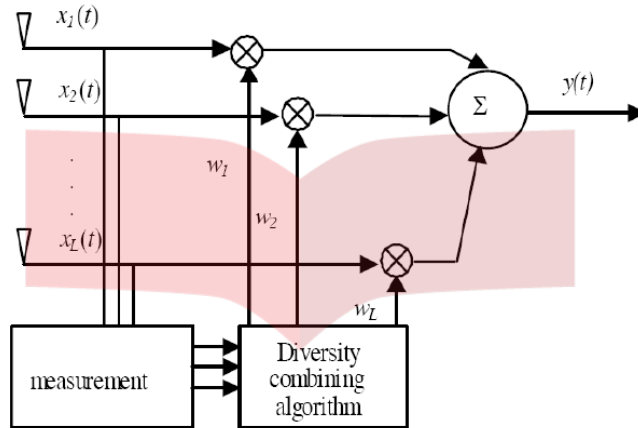
2.8.1 Antenna Diversity [2].

Teknik diversitas antena memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan pemisahan elemen antena (*branch*) dengan jarak tertentu. Pada [2] disebutkan bahwa jarak minimal antar *branch* sebesar 10λ . Misalkan *bandwidth* sistem CDMA yang digunakan sebesar 1,8 GHz maka panjang gelombang yang dihasilkan sebesar $\lambda = 16$ cm, sehingga pemisahan jarak antar *branch* sebesar minimal 1,6 m. Pemisahan jarak antar *branch* ini bertujuan untuk menurunkan nilai korelasi dari antar sinyal yang diterima, karena nilai korelasi ini mempengaruhi performansi dari teknik diversitas antena. Menurut [2], korelasi yang tinggi antar sinyal pada *branch* yang berbeda akan menghasilkan sinyal hasil diversitas antena yang buruk atau tidak jauh dari penerimaan sinyal tanpa diversitas antena.

Elemen antena (*branch*) disini diartikan sebagai sebuah antena utuh (yaitu sebuah antena omni-direksional). Pada penelitian tugas akhir ini tidak mempertimbangkan nilai korelasi dari sinyal yang diterima atau jarak antar *branch* benar - benar menghasilkan sinyal yang tidak saling berkorelasi (kondisi ideal). Sinyal yang diterima tidak saling berkorelasi namun memiliki *fading* yang berbeda. Sedangkan pada implementasi dalam

BAB II Dasar Teori

kondisi riil, diversitas antenna dalam sistem seluler hanya dapat diimplementasikan pada BS, yakni pada BTS. Hal ini karena kemudahannya dalam perancangannya dan aplikasinya dari pada implementasi pada MS. Pada sisi penerimaan di BS, diversitas digunakan untuk mendapatkan *gain* pada kanal *uplink*. Berikut ini adalah gambar sederhana dari diversitas antenna.



Gambar 2.5 Model diversitas antenna yang sederhana [2]

Keluaran hasil *combining* dari diversitas antenna $y(t)$ dapat dinyatakan sebagai berikut [2]:

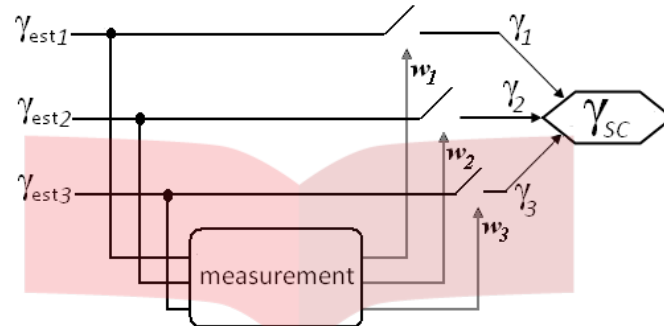
$$y(t) = \sum_{l=1}^L w_l x_l(t) \tag{2.23}$$

dimana $x_l(t)$ merupakan input setiap *branch* pada diversitas antenna γ_{est-l} , yang juga merupakan nilai SIR yang terukur di masing – masing *branch*. Sedangkan $w_l(t)$ adalah *weight factor* yang akan mempengaruhi nilai hasil *combining*. Dan L merupakan jumlah elemen antenna (*branch*) sebesar $L = 3$. Untuk mengkombinasikan sinyal di masing – masing *branch* pada proses diversitas diperlukan suatu algoritma khusus untuk penggabungan sinyal – sinyal. Nilai $w_l(t)$ akan berbeda untuk setiap algoritma *combining*. Adapun algoritma yang akan diteliti pada tugas akhir ini, yaitu *Selection Combining* (SC), *Equal Gain Combining* (EGC) dan *Maximal Ratio Combining* (MRC). Ketiga algoritma tersebut akan dibandingkan kinerjanya dan dikombinasikan dengan *power control* pada CDMA. Pada penelitian sebelumnya [2], diversitas antenna terbukti dapat menambah kinerja dari *power control*. Namun pada penelitian tersebut [2] *variable-step size* yang digunakan adalah $q = 4$ (yang menghasilkan sembilan nilai kuantisasi) yang akan dibandingkan dengan *fixed-step size* dan pada diversitas antenna hanya mengamati satu buah algoritma *combining* yaitu MRC saja. Dari [2] ditemukan bahwa pada kecepatan *user* yang rendah ($v < 60\text{km/jam}$), performansi dari *variable-step power control* sangat sempurna. Sedangkan pada kecepatan *user* tinggi ($v = 60 \text{ km/jam}$) tidak jauh berbeda dengan performansi dari *fixed-step power control*.

BAB II Dasar Teori

2.8.2. Algoritma *Selection Combining*

Algoritma *combining* yang paling sederhana dari ketiga algoritma tersebut yaitu algoritma *selection combining* (SC). Prinsip algoritma SC ini yakni hanya memilih sinyal yang memiliki SIR terbaik dan membuang sinyal-sinyal lainnya. Berikut adalah model dari algoritma SC :



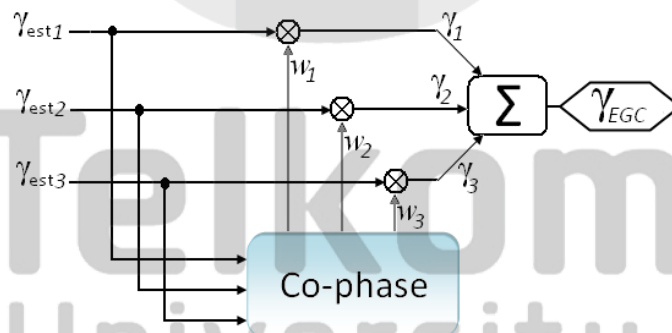
Gambar 2.6 Diagram blok *Selection Combining*

Dengan nilai w_l sebagai berikut :

$$w_l = \begin{cases} 1, & \text{untuk } \gamma_{est-l} = \max(\gamma_{est-l}), \text{ sehingga } \gamma_{SC} = \gamma_l = \gamma_{est-l} \\ 0, & \text{untuk } \gamma_{est-l} < \max(\gamma_{est-l}), \end{cases} \quad (2.24)$$

2.8.3 Algoritma *Equal Gain Combining*

Pada *equal gain combining* (EGC), prinsip kerjanya yaitu mengambil semua sinyal setelah disamakan terlebih dahulu fasanya (*cophased*). Jadi, sinyal yang masuk demodulator adalah superposisi dari sinyal-sinyal yang ditangkap semua antenna. Seperti pada diagram blok berikut :



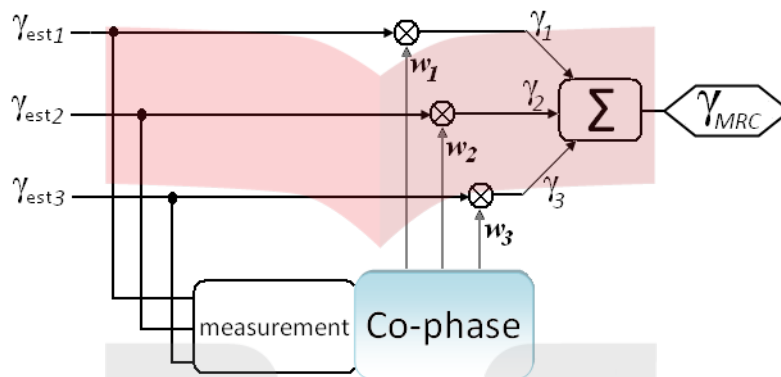
Gambar 2.7 Diagram blok *Equal Gain Combining*

Dengan $w_l = 1$ untuk semua γ_{est-l} , sehingga

$$\gamma_{EGC} = \sum_{l=1}^L \gamma_l, \text{ dengan } L = 3. \quad (2.25)$$

2.8.4 Algoritma *Maximal Ratio Combining*

Pada *Maximal Ratio Combining* (MRC), algoritma ini mengkombinasikan seluruh sinyal yang datang dari semua antenna seperti EGC, namun masing-masing sinyal datang dari semua antenna pada EGC, namun masing-masing sinyal datang tersebut akan dikalikan dengan *weight factor* w_l yang berbeda dari algoritma yang lain, nilai w_l ini merupakan akar kuadrat dari SIR-nya untuk masing-masing sinyal.



Gambar 2.8 Diagram blok *Maximal Ratio Combining*

Pada [5] menyatakan bahwa nilai *gain* yang dialami masing – masing *branch* antenna sebesar :

$$g_k = \frac{\sqrt{S_k}}{N_k} \tag{2.26}$$

Dengan g_k adalah *gain* masing – masing *branch* yang dapat didefinisikan sebagai *weight factor* masing – masing *branch* ke- l (w_l) dan N_k adalah *noise* setiap *branch* yang dapat disamakan sebagai definisi *interference* (I_l), dengan pendekatan definisi tersebut maka persamaan (2.25) dapat ditulis ulang menjadi :

$$w_l = \frac{\sqrt{S_l}}{I_l} \tag{2.27}$$

Dengan S_l merupakan level daya yang terukur pada tiap *branch* ke- l , I_l merupakan *interference* yang terukur tiap *branch* ke- l , dan SIR *output* MRC dinyatakan sebagai [2]:

$$\gamma_{MRC} = \sum_{l=1}^L \gamma_l, \text{ dengan } L = 3 \tag{2.28}$$

BAB I Pendahuluan

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini berisi teori pendukung berupa sistem CDMA, *power control*, dan Teknik diversitas antena.

BAB III : PEMODELAN SISTEM DAN KANAL

Bab ini berisi tentang model sistem simulasi, parameter simulasi, prosedur simulasi yang meliputi model sistem *close-loop power control*, model sistem diversitas antena, model sistem *close-loop power control* dikombinasikan dengan diversitas antena dan *flowchart* proses simulasi.

BAB IV : ANALISIS HASIL SIMULASI

Bab ini berisi hasil analisis dan simulasi dari tugas akhir ini.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN



Telkom
University

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Karakteristik Kanal *wireless*

Pada sistem komunikasi seluler, fenomena *fading* seperti difraksi, shadowing, refleksi, dan scattering tidak dapat dihindari. Sinyal – sinyal yang diterima BS adalah kombinasi sinyal dengan amplitudo dan fasa yang berbeda, dimana superposisi sinyal – sinyal tersebut bisa bersifat konstruktif maupun destruktif, tergantung dari perbedaan fasa semua sinyal yang diterima. Dengan kata lain, sinyal yang ditransmisikan melalui gelombang radio akan mengalami fluktuasi akibat karakteristik mediumnya yang selalu berubah-ubah. Pada [7] Fluktuasi tersebut dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu

- a. *Large-scale fading*,
- b. *Small-scale fading (multipath)*.

2.1.1 *Large Scale Fading*

Large-scale fading menunjukkan fluktuasi redaman propagasi yang relatif konstan pada daerah yang luas dan interval waktu yang lama. Terdapat tiga macam mekanisme propagasi yang menghasilkan fluktuasi yaitu refleksi, difraksi, dan scattering. Refleksi muncul ketika gelombang radio mengenai benda rata dengan dimensi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang dari gelombang tersebut. Difraksi timbul jika antara pemancar dan penerima terhalang oleh benda dengan permukaan tajam (*sharp edge*). Peristiwa difraksi menimbulkan gelombang yang muncul di belakang benda penghalang tersebut dan perambatan gelombangnya menuju ke penerima. Munculnya gelombang semu ini disebut sebagai *shadowing*. *Scattering* timbul jika gelombang radio merambat melalui medium dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang sinyal. Permukaan medium tersebut biasanya kasar. Scattering menyebabkan gelombang tersebut akan dipantulkan ke berbagai arah.

2.1.2 *Small-Scale Fading*

Small-scale fading merupakan fluktuasi redaman propagasi pada daerah yang sempit dan interval waktu yang singkat. Model propagasi pada *small-scale* sangat penting untuk menjelaskan efek propagasi *multipath*. Ada dua macam perwujudan/bentuk propagasi *multipath* [7] :

BAB II Dasar Teori

- a. Fluktuasi amplitudo karena superposisi destruktif atau konstruktif dari jalur sinyal yang diterima.
- b. Dispersi waktu (*time spreading*) dari sinyal yang diterima karena perbedaan waktu kedatangan dari jalur yang berbeda.

2.1.2.1 *Time spreading signal*

Time Spreading signal mengamati fenomena *small scale fading* dari waktu transmisi antar simbol dan dispersi simbol yang ditransmisikan. Ketidak-samaan waktu sampai semua komponen *multipath* di penerima akan mengakibatkan timbulnya *multipath delay spread* (τ_m) yang didefinisikan sebagai perbedaan *delay* waktu antara kedatangan komponen pertama sinyal ($\tau = 0$) dan komponen terakhir sinyal ($\tau = \tau_m$). Jika τ_m lebih besar dari pada waktu simbol (T_{sym}), maka tidak semua komponen *multipath* sampai sebelum waktu simbol berakhir. Akibatnya sebagian komponen *multipath* akan mempengaruhi simbol berakhir. Akibatnya sebagian komponen *multipath* akan mempengaruhi simbol berikutnya. Fenomena ini disebut *Inter Symbol Interference (ISI)*. Distorsi akan terjadi pada simbol selanjutnya. Sebaliknya, jika τ_m jauh lebih kecil dibandingkan dengan T_{sym} , maka semua komponen *multipath* akan sampai di penerima sebelum simbol berakhir. Pada peristiwa ini tidak terjadi ISI. $\tau_m > T_{sym}$ disebut *frequency selective fading*, sementara jika $\tau_m \ll T_{sym}$ disebut *flat fading*.

Time Spreading signal juga dapat dilihat dari bandwidth koheren kanal (W_0). W_0 merupakan pengukuran secara statistik dari suatu range frekuensi di mana kanal dapat dianggap “flat”, yaitu kanal melewati semua komponen spectral dengan *gain* yang rata-rata tetap dan memiliki fasa *linear*. *Bandwidth* koheren berbanding terbalik dengan *delay spread*. Jadi *flat fading* terjadi jika $W_0 \gg W$ dan *frequency selective fading* terjadi jika $W_0 \ll W$, dimana W merupakan *bandwidth* sinyal.

2.1.2.2 *Time Varying of channel*

Time Varying of Channel (variasi waktu pada kanal) disebabkan oleh pergerakan antara pemancar dan penerima (jarak MS dan BS yang sedang berubah). Pada fluktuasi ini dikenal istilah *waktu koheren* (T_0) yang didefinisikan sebagai durasi waktu ketika respon kanal tidak bergantung pada waktu (*time invariant*). Jika waktu koheren kanal (T_0) jauh lebih kecil dibandingkan waktu durasi simbol (T_{sym}), disebut sebagai *fast fading*. Jika waktu koheren kanal lebih besar disbanding waktu durasi simbol, disebut sebagai kanal

BAB II Dasar Teori

slow fading. Mekanisme *fast fading* terjadi jika frekuensi *Doppler* lebih besar dibandingkan *bandwidth* kanal. Jika sebaliknya, frekuensi *Doppler* lebih kecil dibandingkan *bandwidth* kanal, terjadi mekanisme *slow fading*. Frekuensi *Doppler* (f_d) merupakan besaran yang menunjukkan kecepatan gerak *mobile station* relatif terhadap *base station*

2.2 Kanal fading Rayleigh

Rayleigh Fading merupakan jenis *fading* yang paling sering terjadi dalam kehidupan sehari-hari. *Rayleigh Fading* merupakan suatu model *fading* yang variasi sinyalnya terdistribusi *Rayleigh* dan digunakan untuk mendeskripsikan keadaan alami yang berubah terhadap waktu secara statistik pada *sampul* dari sebuah sinyal *flat fading*, atau *sampul* dari komponen sinyal *multipath* tunggal.

Persamaan matematis dari sinyal *multipath fading* terdistribusi Rayleigh yang diterima di penerima dapat diturunkan sebagai berikut [3]. Pertama, bentuk matematis dari sinyal yang dikirimkan adalah :

$$x(t) = s(t)e^{j(2\pi f_c t)} \tag{2.1}$$

Dengan $s(t)$ adalah sinyal baseband kompleks dengan *bandwidth* W , f_c adalah frekuensi *carrier*-nya ($f_c = c / \lambda$), dengan (c) adalah kecepatan cahaya, λ adalah panjang gelombang. Dari bentuk sinyal yang dikirim tersebut kemudian diturunkan persamaan matematis sinyal yang diterima di penerima dari L buah lintasan (*path*), yaitu :

$$y(t) = \sum_{l=1}^L C_l s(t - \tau_l) e^{j2\pi[(f_c + f_d \cos \psi_l)t - f_c \tau_l]} \tag{2.2}$$

Kanal *fading Rayleigh* termasuk kanal tipe *flat fading* sehingga persamaan (2.2) dapat ditulis menjadi :

$$y(t) = s(t - \tau_0) \left(\sum_{l=1}^L C_l e^{j\phi_l(t)} \right) e^{j2\pi f_c t} \tag{2.3}$$

Dengan :

$$\phi_l(t) = 2\pi(f_d \cos \psi_l t - f_c \tau_l) \tag{2.4}$$

Yang dapat dimodelkan sebagai variable acak yang independen dan terdistribusi *uniform* dalam rentang $[0, 2\pi]$ dan didefinisikan :

$$\tau_0 \in [\min \tau_l, \max \tau_l] \tag{2.5}$$

BAB II Dasar Teori

Ekspresi pertama dari persamaan (2.3) menunjukkan bahwa sinyal yang ditransmisikan mengalami *delay* sesuai dengan waktu propagasi. Sedangkan ekspresi kedua merupakan fluktuasi amplitudo, sebagai :

$$\beta(t) = \sum_{l=1}^L C_l e^{j\phi_l(t)} = \alpha(t) e^{j\phi(t)} \quad (2.6)$$

Jika jumlah lintasan (*path*) L sangat besar, maka berdasarkan Teori *Central limit*, maka $\beta(t)$ akan mendekati peubah acak kompleks yang terdistribusi Gaussian sehingga $\alpha(t)$ akan memiliki *probability density function* (pdf) tipe Rayleigh yang persamaan matematisnya adalah :

$$f(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right), \quad \alpha \geq 0 \quad (2.7)$$

Dengan :

$$2\sigma^2 = E[\alpha^2] \quad (2.8)$$

Mendefinisikan daya rata-rata dari sinyal yang diterima.

2.3 Doppler Spread

Doppler Spread merupakan suatu gejala yang dapat menggeser frekuensi *carrier* dari yang dipakai pada kanal radio sehingga dapat menurunkan performansi. Untuk kanal yang *multipath*, efek dari *Doppler* ini akan menyebabkan komponen-komponen sinyal yang datang mempunyai perbedaan frekuensi. Besarnya pergeseran ini bervariasi dengan pergeseran maksimumnya atau *Doppler spread* maksimum f_d , bergantung pada kecepatan kendaraan user dan juga pada frekuensi *carrier* yang digunakan. f_d ini juga biasa disebut sebagai bandwidth dari fading. Nilai f_d ini didefinisikan sebagai [7]:

$$f_d = \frac{v}{c} \cdot f_C \cos \theta \quad (2.9)$$

Dengan v adalah kecepatan kendaraan, f_C adalah frekuensi *carrier* yang digunakan, dan θ merupakan sudut yang terjadi antara arah kecepatan dan BS. Pada simulasi yang dilakukan pada tugas akhir ini, $\cos \theta$ diasumsikan berharga satu. Terlihat dari persamaan tersebut bahwa dengan semakin tingginya kecepatan kendaraan, maka akan membuka peluang pergeseran maksimum yang semakin besar. Begitu juga dengan menggunakan frekuensi *carrier* yang besar namun tanpa melakukan berbagai optimasi maka peluang penurunan *kinerja* pun semakin besar.

BAB II Dasar Teori

Doppler spread juga dapat menentukan cepat atau lambatnya *fading* relatif terhadap simbol yang ditransmisikan. Parameter untuk menentukan ini adalah waktu koheren T_0 , dengan respon impuls dari kanal adalah [7]:

$$T_0 \approx \frac{1}{2\pi f_D} \quad (2.11)$$

Dengan T_0 sebagai waktu koheren yakni durasi waktu ketika respon kanal tidak bergantung pada waktu (*time invariant*).

2.4 Konsep Spread Spectrum

Sistem CDMA dibuat berdasarkan teknologi *Spread Spectrum*. *Spread spectrum* merupakan teknik transmisi data *multiple* user dengan menggunakan *bandwidth* transmisi (W) yang jauh lebih besar dari *bandwidth* atau *rate* informasinya (R). Perbandingan antara W dengan R disebut dengan *processing gain* (PG) dengan persamaan :

$$PG = \frac{W}{R} \quad (2.12)$$

Disebut *Processing gain* karena nilai ini menguatkan rasio *signal-to-noise* (S/N) yang diterima sebesar nilai PG itu sendiri dengan persamaan :

$$(S/N)_0 = PG(S/N)_i \quad (2.13)$$

Konsep sistem *spread spectrum* ini dapat dilihat juga pada teorema *Shannon* untuk kapasitas sistem, yaitu [3]:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.14)$$

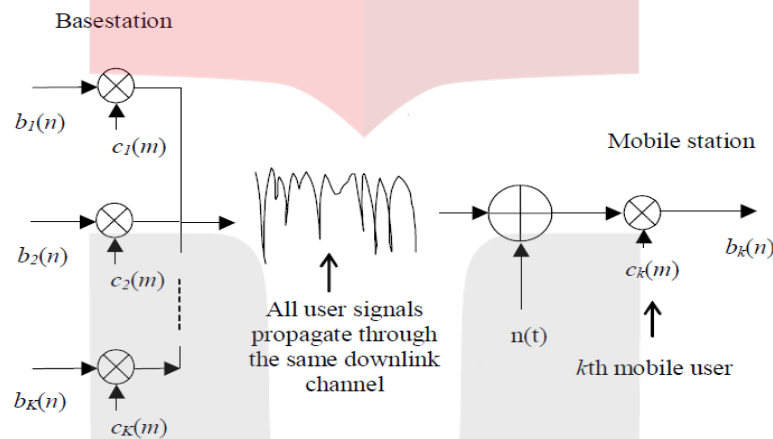
Dengan C adalah kapasitas kanal transmisi (*bps*), dan N adalah level noise (*watt*). Teknik spektrum tersebar yang paling banyak digunakan pada sistem selular bergerak adalah *direct sequence spread spectrum* (DS-SS) dimana sinyal informasi atau data biner dikalikan secara langsung dengan suatu pengkode berupa *spreading sequence* yang bersifat acak dan biasa disebut sebagai DS-CDMA (*Direct Spread-CDMA*). Pada DS-CDMA tiap user melakukan proses penyebaran (*spreading*) atau membagi simbol/bit data menjadi deretan kode yang unik [3]. Proses ini dilakukan dengan membagi rapat daya sinyal pada suatu *bandwidth* yang lebar dengan menggunakan sebuah deretan kode yang unik. Kode unik tersebut lebih dikenal dengan nama *chips*, dan hanya diketahui oleh pengirim dan penerima. Data yang telah disebar bisa dikembalikan ke bentuk aslinya pada penerima dengan melakukan korelasi antara data yang diterima dan kode unik *user*. Kode unik

BAB II Dasar Teori

tersebut bisa merupakan data yang *orthogonal* (hasil *cross correlation*-nya 0) atau data acak dengan nilai *cross correlation* yang rendah.

2.4.1 Model Kanal Downlink

Pada kanal *downlink*, sinyal dari setiap *user* dapat ditransmisikan secara sinkron oleh BS karena dikirim dari lokasi BS yang sama. Sinyal-sinyal tersebut akan melalui kanal *multipath* yang sama dan mengalami redaman propagasi serta *fading* secara simultan sehingga pada kanal *downlink spreading sequence orthogonal* dapat digunakan.



Gambar 2.1. Model Kanal *downlink*.

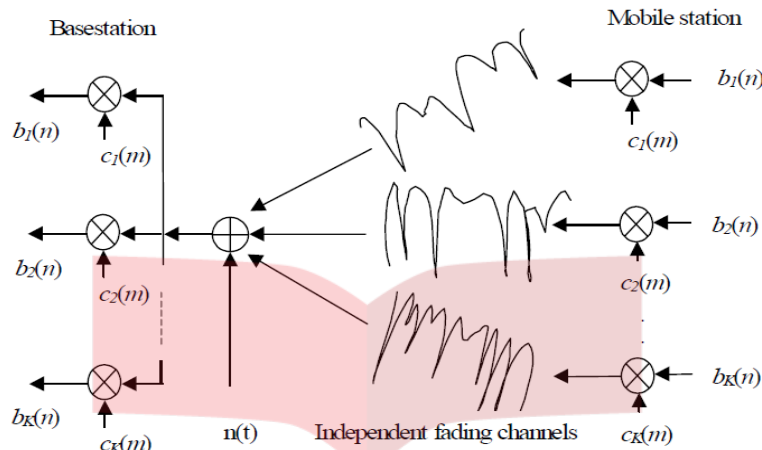
Data *user* ke-*k*, yaitu $b_k(n)$ disebar oleh *spreading sequence user* ke-*k* itu sendiri, yaitu $c_k(m)$. Semua data dari setiap *user* yang telah mengalami penyebaran dikirim dalam satu *carrier* melalui kanal *downlink* yang sama. Pada MS, sinyal yang diterima mengalami proses *despreading* untuk mendapat simbol yang dipancarkan oleh BS.

2.4.2 Model Kanal Uplink

Setiap *user* yang akan berkomunikasi ke BS melalui kanal *uplink* memancarkan sinyal dari lokasi yang berbeda-beda bahkan mungkin *user* tersebut bergerak dengan kecepatan atau percepatan tertentu sehingga sinyal yang diterima BS menjadi tidak sinkron. Hal ini menyebabkan kode orthogonal tidak dapat digunakan pada kanal *uplink* karena sifat ke-ortogonal-an kode nya tidak dapat dipertahankan. Pada BS, sinyal yang dikirim *user* ke-*k* akan dideteksi dengan melakukan korelasi silang antara sinyal yang diterima dengan kode dari *user* ke-*k* tersebut. Karena pada kanal *uplink* tidak dapat digunakan kode orthogonal, korelasi silang antara kode *user* yang diamati dengan *user* lain

BAB II Dasar Teori

tidak sama dengan nol sehingga *user* tersebut pasti mengalami MAI dari (total *user* - 1) *user* lainnya.



Gambar 2.2 Model kanal uplink.

Ditambah lagi level sinyal yang diterima di BS tidak sama untuk semua *user* karena masing-masing *user* memiliki variasi *fading* yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan *user* yang lebih dekat dengan BS akan lebih mendominasi karena level sinyal pancar *user* tersebut yang diterima oleh BS lebih besar daripada level sinyal pancar *user* lain yang berada jauh dari BS.

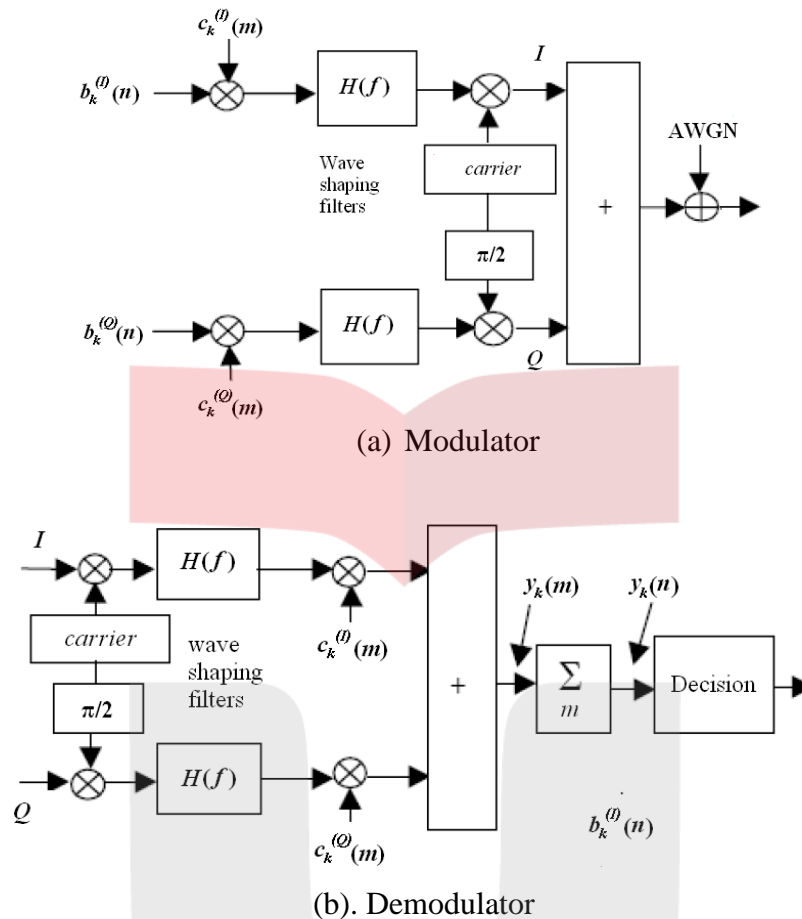
2.5 Model sinyal CDMA dengan modulasi QPSK

Kode yang digunakan untuk menebar sinyal yang dikirim oleh *user* merupakan *pseudorandom noise code* atau kode PN. Pengirim dan penerima sinyal dalam hal ini BS dan MS harus mempunyai kode PN yang sama agar informasi yang dikirim dapat diterjemahkan. Kode PN ini mempunyai sangat pendek yang telah disebutkan sebelumnya di atas, yaitu *chip*. Gambar 2.3 Menunjukkan model sistem transmisi CDMA dengan modulasi QPSK untuk transmitter dan receiver.

Simbol ke-*n* yang dikirim oleh *user* ke-*k* adalah : $b_k(n) = b_k^{(I)} + \mathbf{j}b_k^{(Q)}(n)$ ditebar oleh *spreading-sequence user* ke-*k* yaitu $c_k(m) = c_k^{(I)}(m) + \mathbf{j}c_k^{(Q)}(m)$, $m \in \{1,2,\dots,M\}$. Sinyal yang ditransmisikan akan mengalami *fading* dan AWGN, sehingga sinyal dari seluruh *k-user* yang diterima oleh BS dapat dimodelkan sebagai berikut [2]:

$$r(t) = \sum_k \beta_k(t) b_k c_k + \sigma_k n(t) \tag{2.15}$$

$\beta_k(t)$ adalah koefisien kanal *fading* dan $n(t)$ adalah *additive White Gaussian Noise* dengan standar deviasi σ_k . Agar simbol dapat dideteksi kembali oleh penerima maka digunakan *spreading-sequence* $c_k(m)$ yang sama seperti pada pengirim.



Gambar 2.3 Model sinyal sistem CDMA bermodulasi QPSK [2].

Spreading-sequence user tersebut merupakan deretan $c_k^{(I)} = \{ c_k^{(I)}(1), c_k^{(I)}(2), \dots, c_k^{(I)}(M) \}$ dan $c_k^{(Q)} = \{ c_k^{(Q)}(1), c_k^{(Q)}(2), \dots, c_k^{(Q)}(M) \}$. Deretan kode acak murni ini mempunyai sifat korelasi sinkron seperti berikut [2] :

$$\rho_{kj}(\tau) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M c_k(m) c_j^*(m) = \begin{cases} 1 & \text{Jika } k = j \text{ dan } \tau = 0, \\ -1/M & \text{Jika } k \neq j \end{cases} \quad (2.16)$$

Dalam simulasi, amplitudo dari *spreading-sequence* kuadratur dinormalisasi sehingga magnitudo dari bilangan kompleks-nya menjadi satu yang dinyatakan sebagai [2]

$$c_k(m) = \frac{1}{\sqrt{2}} c_k^{(I)}(m) + \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{j} c_k^{(Q)}(m) \quad (2.17)$$

Pada modulasi QPSK, urutan simbol yang ditransmisikan $b_k(n)$ dari *user* ke- k dapat dinyatakan sebagai [2] :

$$b_k(n) = A_k(n) e^{j\theta_{kn}}, n \in \{1, 2, \dots, B\} \quad (2.18)$$

Dimana $A_k(n)$ merupakan faktor skala amplitudo simbol, $\theta_{kn} \in \{ \pm \pi/4, \pm 3\pi/4 \}$ adalah modulasi fasa, dan B adalah jumlah simbol yang ditransmisikan. Jika $A_k(n) = 1$ (daya

BAB II Dasar Teori

pancar yang ternormalisasi menjadi 1), maka urutan simbol yang ditransmisikan pada level *chip* dengan indeks m adalah [2] :

$$b_k(m) = \frac{1}{\sqrt{2}} b_k^{(I)}(m) + \frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{j} b_k^{(Q)}(m), m \in \{1, 2, \dots, MB\} \quad (2.19)$$

Dengan $b_k^{(I)}(m), b_k^{(Q)}(m) \in \{+1, -1\}$. Kemudian urutan simbol yang disebar pada level *chip* dan dimodulasi dengan frekuensi *carrier* kemudian ditransmisikan melalui kanal

2.6 Power control pada sistem CDMA

Algoritma *power control* dibagi menjadi tiga kategori [4], yaitu: algoritma *power control* berdasarkan *strength* (daya), berdasarkan SIR (*Signal to Interference Ratio*) dan berdasarkan SIR-dan-*strength*. Kinerja *power control* berdasar SIR lebih baik daripada *power control* berdasarkan *strength* [4]. Berdasarkan kuantisasi *step size*, *power control* dibagi menjadi dua kategori [4]: *fixed step size* dan *variabel step size*. Sedangkan algoritma *power control* berdasarkan ruang lingkungannya ada tiga jenis yaitu yaitu: *open-loop power control*, *closed-loop power control* dan *outer-loop power control*.

2.6.1 Open-loop Power control

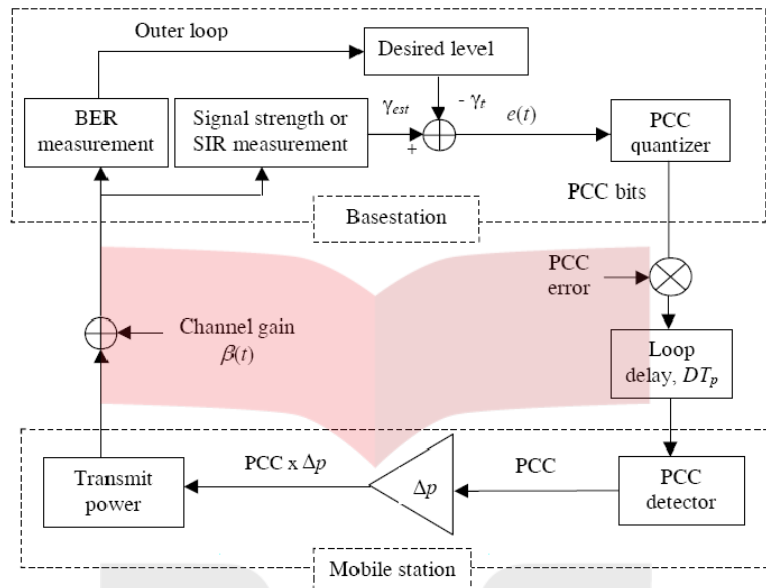
Open-loop power control adalah *power control* yang dilakukan oleh MS berdasarkan level sinyal yang diterima dari BS. Hal ini dapat terjadi mengingat sifat *large-scale propagation* yang timbal-balik sehingga *control* level sinyal ini dilakukan tanpa menggunakan *feedback*. *Power control* ini mempunyai dua fungsi utama yaitu menentukan level sinyal *initial* (awal) dan mengkompensasi variasi sinyal skala besar yang umumnya disebabkan oleh *pathloss*. Kegunaan utama dari *power control* ini adalah menghilangkan *near-far effect* sehingga level sinyal yang diterima BS dari semua MS cenderung sama.

2.6.2 Close-loop power control

Small-scale propagation memiliki karakteristik kanal masing-masing untuk *uplink* dan *downlink*nya. *Closed-loop power control* bertujuan untuk menghilangkan efek redaman dari *small-scale propagation*. Pada algoritma *close-loop*, sinyal *uplink* diestimasi oleh BS untuk kemudian dikirim kembali ke MS sehingga MS dapat mengatur level sinyal yang dikirimnya berdasarkan informasi yang diterima dari BS tersebut. Informasi *feedback* yang diberikan BS ini berasal dari estimasi BS tersebut yang dapat berbasis pada SIR yang diterima dari MS atau berdasar kuat sinyal yang diterima dari MS. Estimasi berdasarkan

BAB II Dasar Teori

SIR lebih dipilih dari pada berdasar kuat sinyal karena CDMA bersifat *interference limited* (dibatasi oleh interferensi sistem) [3].



Gambar 2.4 Skema *close-loop power control* pada *uplink* [2]

SIR tiap *user* diestimasi setiap satu *timeslot*, T_p , yang merupakan interval dari *power control* itu. SIR yang diestimasi direpresentasikan dengan γ_{est} dan dibandingkan dengan SIR target yang direpresentasikan dengan γ_t . Proses perbandingan ini dilakukan untuk menentukan apakah MS perlu menaikkan level sinyalnya atau justru menurunkannya. Hasil keputusan ini dikirim oleh BS kepada MS pada kanal *downlink* melalui *power control command* (PCC) yang merupakan representasi biner sehingga berupa bit-bit perintah. Namun pada saat ditransmisikan melalui kanal *downlink*, bit PCC mengalami *delay* atau *error*. Untuk *singlebit* PCC, bit perintah hanya memerintahkan untuk menaikkan atau menurunkan level sinyal sebesar *step-size* Δp atau ukuran *step-size* yang telah ditentukan. Untuk *multibit* PCC, bit perintah dapat memerintahkan untuk menaikkan atau menurunkan level sinyal dengan *step-size* yang lebih signifikan dan spesifik.

2.7 Kinerja Power control

Kinerja *power control* dievaluasi dalam parameter BER sebagai fungsi dari E_b/I_o . Fungsi E_b/I_o ini sebagai representasi dari fungsi *S/I* atau SIR dalam satuan bit, dengan hubungan sebagai berikut :

$$SIR = \frac{S}{I} = \frac{E_b \times R}{I_o \times W} = \frac{E_b}{I_o} \times \frac{1}{PG} \tag{2.20}$$

BAB II Dasar Teori

Dengan E_b adalah energy per bit, I_o adalah rapat spektral daya interferensi, R adalah *rate* informasi, W adalah *bandwidth* RF, dan PG adalah *processing gain*. Dari persamaan (2.20) dapat diketahui bahwa E_b/I_o dapat diterjemahkan sebagai nilai SIR per bit dan semakin tinggi nilai *processing gain* maka nilai S/I atau SIR yang dibutuhkan semakin rendah.

Saat *power control* bekerja dengan sempurna maka kinerja yang diperoleh adalah seperti kinerja AWGN yaitu kinerja maksimum yang sangat mustahil untuk diperoleh dalam kondisi riil. Kinerja AWGN untuk modulasi QPSK dapat ditulis sebagai :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{I_o}} \right) \quad (2.21)$$

Sedangkan jika suatu sistem CDMA tidak menggunakan *power control* maka kinerja yang diperoleh adalah kinerja *fading* yaitu bila sinyal melewati kanal AWGN dan kanal *fading Rayleigh*. Untuk kanal *fading Rayleigh* modulasi QPSK kinerja BER sebagai fungsi E_b/I_o dinyatakan sebagai :

$$BER = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma/2}{1+\gamma/2}} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_b/I_o}{1+E_b/I_o}} \right) \quad (2.22)$$

2.8 Teknik Diversitas

Diversitas merupakan suatu teknik untuk menggabungkan beberapa sinyal yang membawa informasi yang sama namun dikirim melalui kanal yang berbeda. Teknik diversitas sering kali digunakan untuk menambah performansi dari suatu link komunikasi *wireless*. Salah satunya untuk mengatasi kondisi *deep fade*, jika beberapa sinyal yang membawa informasi yang sama dan diterima melalui sejumlah kanal dengan *fading* yang independen, maka probabilitas sinyal-sinyal tersebut tidak mengalami *deep fade* akan bertambah. Teknik diversitas digolongkan menjadi beberapa macam, yaitu [6] :

- a. *Antenna Diversity / spacial Diversity*
- b. *Site Diversity*
- c. *Frequency Diversity*
- d. *Time Diversity*
- e. *Polarization Diversity*
- f. *Angle Diversity*

Pada *antenna diversity* atau biasa disebut *space diversity* atau *micro-diversity*, sinyal hasil yang didapatkan dari sinyal datang yang membawa informasi yang sama yang diperoleh dari antena penerima yang berbeda yang kemudian sinyal-sinyal tersebut

BAB II Dasar Teori

dikombinasikan. Pada *site diversity* atau sering disebut *Macro-diversity*, antena *receiver* terletak di tempat yang berbeda – beda. Contohnya, sinyal yang dipancarkan dari sebuah *cell* dapat diterima dari segala penjuru wilayah dari area *hexagonal* yang berada diluar *cell* tersebut. Kelebihan dari *site diversity* yaitu tidak hanya *multipath fading* yang independen tapi *shadowing* dan *path loss* juga tidak berkorelasi setiap *branch* (cabang). Pada *frequency diversity*, sinyal hasil diversitas didapatkan dari beberapa sinyal yang datang yang membawa informasi yang sama namun menggunakan frekuensi *carrier* yang berbeda yang kemudian sinyal-sinyal tersebut dikombinasikan. Pemisahan frekuensi dari beberapa frekuensi *carrier* yang berbeda harus melebihi *bandwidth* dari kanal tersebut.

Pada *time diversity*, beberapa *path* sinyal yang datang membawa informasi yang sama namun tiba pada *time slot* yang berbeda, yang kemudian sinyal-sinyal tersebut dikombinasikan. Perbedaan waktu kedatangan antara satu *path* sinyal dengan sinyal lainnya harus tidak saling berkorelasi. Pada *polarization diversity*, teknik ini memanfaatkan polarisasi yang berbeda-beda dari tiap *multipath fading* dari sinyal-sinyal yang berbeda. *Angle diversity* hampir sama dengan *antenna diversity*, namun *angle diversity* memanfaatkan sinyal *multipath* yang datang dari arah yang berbeda. Setidaknya satu dari semua sinyal yang diterima dapat digunakan.

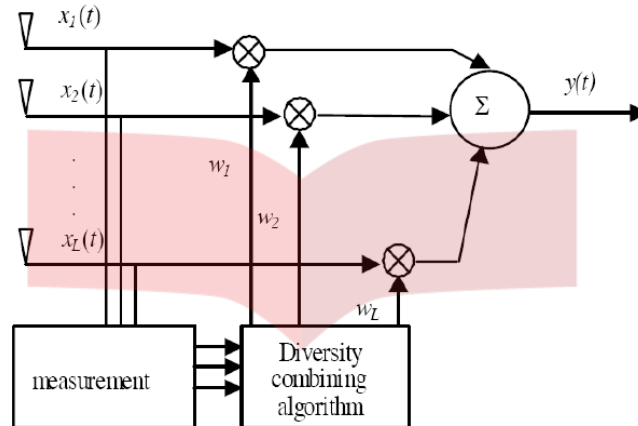
2.8.1 Antenna Diversity [2].

Teknik diversitas antena memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan pemisahan elemen antena (*branch*) dengan jarak tertentu. Pada [2] disebutkan bahwa jarak minimal antar *branch* sebesar 10λ . Misalkan *bandwidth* sistem CDMA yang digunakan sebesar 1,8 GHz maka panjang gelombang yang dihasilkan sebesar $\lambda = 16$ cm, sehingga pemisahan jarak antar *branch* sebesar minimal 1,6 m. Pemisahan jarak antar *branch* ini bertujuan untuk menurunkan nilai korelasi dari antar sinyal yang diterima, karena nilai korelasi ini mempengaruhi performansi dari teknik diversitas antena. Menurut [2], korelasi yang tinggi antar sinyal pada *branch* yang berbeda akan menghasilkan sinyal hasil diversitas antena yang buruk atau tidak jauh dari penerimaan sinyal tanpa diversitas antena.

Elemen antena (*branch*) disini diartikan sebagai sebuah antena utuh (yaitu sebuah antena omni-direksional). Pada penelitian tugas akhir ini tidak mempertimbangkan nilai korelasi dari sinyal yang diterima atau jarak antar *branch* benar - benar menghasilkan sinyal yang tidak saling berkorelasi (kondisi ideal). Sinyal yang diterima tidak saling berkorelasi namun memiliki *fading* yang berbeda. Sedangkan pada implementasi dalam

BAB II Dasar Teori

kondisi riil, diversitas antenna dalam sistem seluler hanya dapat diimplementasikan pada BS, yakni pada BTS. Hal ini karena kemudahannya dalam perancangannya dan aplikasinya dari pada implementasi pada MS. Pada sisi penerimaan di BS, diversitas digunakan untuk mendapatkan *gain* pada kanal *uplink*. Berikut ini adalah gambar sederhana dari diversitas antenna.



Gambar 2.5 Model diversitas antenna yang sederhana [2]

Keluaran hasil *combining* dari diversitas antenna $y(t)$ dapat dinyatakan sebagai berikut [2]:

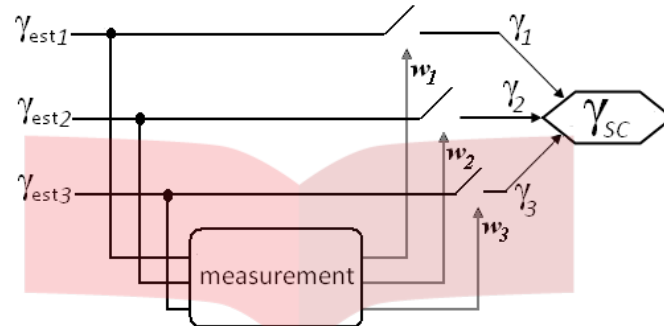
$$y(t) = \sum_{l=1}^L w_l x_l(t) \quad (2.23)$$

dimana $x_l(t)$ merupakan input setiap *branch* pada diversitas antenna γ_{est-l} , yang juga merupakan nilai SIR yang terukur di masing – masing *branch*. Sedangkan $w_l(t)$ adalah *weight factor* yang akan mempengaruhi nilai hasil *combining*. Dan L merupakan jumlah elemen antenna (*branch*) sebesar $L = 3$. Untuk mengkombinasikan sinyal di masing – masing *branch* pada proses diversitas diperlukan suatu algoritma khusus untuk penggabungan sinyal – sinyal. Nilai $w_l(t)$ akan berbeda untuk setiap algoritma *combining*. Adapun algoritma yang akan diteliti pada tugas akhir ini, yaitu *Selection Combining* (SC), *Equal Gain Combining* (EGC) dan *Maximal Ratio Combining* (MRC). Ketiga algoritma tersebut akan dibandingkan kinerjanya dan dikombinasikan dengan *power control* pada CDMA. Pada penelitian sebelumnya [2], diversitas antenna terbukti dapat menambah kinerja dari *power control*. Namun pada penelitian tersebut [2] *variable-step size* yang digunakan adalah $q = 4$ (yang menghasilkan sembilan nilai kuantisasi) yang akan dibandingkan dengan *fixed-step size* dan pada diversitas antenna hanya mengamati satu buah algoritma *combining* yaitu MRC saja. Dari [2] ditemukan bahwa pada kecepatan *user* yang rendah ($v < 60\text{km/jam}$), performansi dari *variable-step power control* sangat sempurna. Sedangkan pada kecepatan *user* tinggi ($v = 60 \text{ km/jam}$) tidak jauh berbeda dengan performansi dari *fixed-step power control*.

BAB II Dasar Teori

2.8.2. Algoritma *Selection Combining*

Algoritma *combining* yang paling sederhana dari ketiga algoritma tersebut yaitu algoritma *selection combining* (SC). Prinsip algoritma SC ini yakni hanya memilih sinyal yang memiliki SIR terbaik dan membuang sinyal-sinyal lainnya. Berikut adalah model dari algoritma SC :



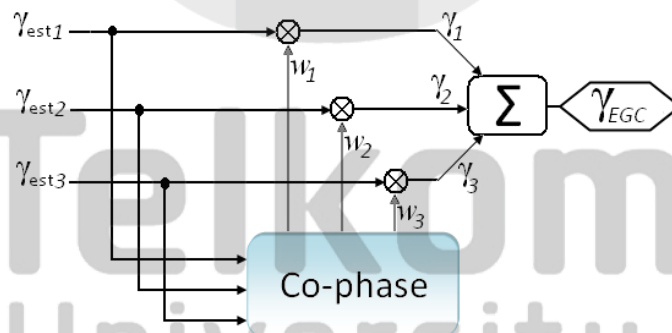
Gambar 2.6 Diagram blok *Selection Combining*

Dengan nilai w_l sebagai berikut :

$$w_l = \begin{cases} 1, & \text{untuk } \gamma_{est-l} = \max(\gamma_{est-l}), \text{ sehingga } \gamma_{SC} = \gamma_l = \gamma_{est-l} \\ 0, & \text{untuk } \gamma_{est-l} < \max(\gamma_{est-l}), \end{cases} \quad (2.24)$$

2.8.3 Algoritma *Equal Gain Combining*

Pada *equal gain combining* (EGC), prinsip kerjanya yaitu mengambil semua sinyal setelah disamakan terlebih dahulu fasanya (*cophased*). Jadi, sinyal yang masuk demodulator adalah superposisi dari sinyal-sinyal yang ditangkap semua antenna. Seperti pada diagram blok berikut :



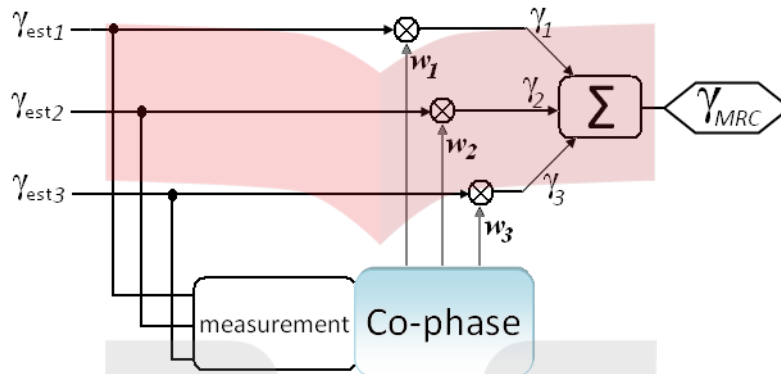
Gambar 2.7 Diagram blok *Equal Gain Combining*

Dengan $w_l = 1$ untuk semua γ_{est-l} , sehingga

$$\gamma_{EGC} = \sum_{l=1}^L \gamma_l, \text{ dengan } L = 3. \quad (2.25)$$

2.8.4 Algoritma *Maximal Ratio Combining*

Pada *Maximal Ratio Combining* (MRC), algoritma ini mengkombinasikan seluruh sinyal yang datang dari semua antenna seperti EGC, namun masing-masing sinyal datang dari semua antenna pada EGC, namun masing-masing sinyal datang tersebut akan dikalikan dengan *weight factor* w_l yang berbeda dari algoritma yang lain, nilai w_l ini merupakan akar kuadrat dari SIR-nya untuk masing-masing sinyal.



Gambar 2.8 Diagram blok *Maximal Ratio Combining*

Pada [5] menyatakan bahwa nilai *gain* yang dialami masing – masing *branch* antenna sebesar :

$$g_k = \frac{\sqrt{S_k}}{N_k} \tag{2.26}$$

Dengan g_k adalah *gain* masing – masing *branch* yang dapat didefinisikan sebagai *weight factor* masing – masing *branch* ke- l (w_l) dan N_k adalah *noise* setiap *branch* yang dapat disamakan sebagai definisi *interference* (I_l), dengan pendekatan definisi tersebut maka persamaan (2.25) dapat ditulis ulang menjadi :

$$w_l = \frac{\sqrt{S_l}}{I_l} \tag{2.27}$$

Dengan S_l merupakan level daya yang terukur pada tiap *branch* ke- l , I_l merupakan *interference* yang terukur tiap *branch* ke- l , dan SIR *output* MRC dinyatakan sebagai [2]:

$$\gamma_{MRC} = \sum_{l=1}^L \gamma_l, \text{ dengan } L = 3 \tag{2.28}$$