

# Interleaver Optimal Turbo Code pada Kanal Flat Fading

Dwi Kuswanto

Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo  
Jl. Raya Telang PO BOX 2 Kamal, Bangkalan Email:  
dwikuswanto@trunojoyo.ac.id.

## ABSTRACT

*Turbo Code is one of the channel encoding technique used in wireless cellular networks are approaching the limit of Shannon's theory. Interleaver is used to determine the rules of the randomization technique of bits of information in relation to the performance of the Turbo code. Therefore, the design needs a good interleaver structure. In this paper, analyzed the performance Turbo Code for variations interleaver structure and sizes in relation to bit error rate (bit error rate). The size and type of interleaver plays an important role in the performance Turbo Code. Simulated for Turbo Code interleaver structure variations for determining optimal interleaver in connection with determining the type of interleaver for the interleaver size and structure of the flat fading channel. In the simulation obtained that the optimal interleaver turbo code on a flat fading channel can be achieved by using a type of random interleaver with frame size 384 to 20,738 bits.*

*Key word : Turbo code, Interleaver, bit error rate, flat fading.*

## PENDAHULUAN

Turbo code berperan penting dalam error channel coding yang digunakan pada sistem jaringan seluler wireless. Turbo Code ditemukan tahun 1993 [1] dan sejak itu menjadi populer dalam beberapa penelitian dalam lingkup telekomunikasi. Dan sejak itu pula performansi Turbo Code menjadi standarisasi komunikasi personal internasional 3GPP. Dalam komunikasi wireless khususnya aplikasi 4G memerlukan layanan Qos (*Quality of Service*) yang baik. Sistem seluler 4G didukung dengan layanan voice, data dan multimedia pada sebuah jaringan yang berbasis paket switching. Perbedaan aplikasi ini memerlukan layanan variasi Qos dalam hal data rate, bit error rate, bit error rate (BER), frame size dan packet error rate. Untuk tipe transmisi data (teks), rugirugi paket dapat ditoleransi bila terjadi delay. Tetapi untuk transmisi real time video, penurunan sinyal video dapat diterima tetapi delay dalam system tidak

dapat diterima. Turbo codes dapat beradaptasi terhadap error coding bila digunakan dalam variasi Qos. Karena itu diperlukan analisa performansi turbo code dengan memvariasikan seluruh parameter yang dapat beradaptasi berdasarkan analisa parameter yang dipilih. Dalam penelitian ini parameter yang dipilih adalah variasi ukuran interleaver dan struktur interleaver. Simulasi ini dilakukan dengan variasi level noise dan keluaran berupa grafik diplot terhadap bit error rate (BER) dan signal to noise ratio (SNR).

### I. Turbo Code

Kapasitas kanal erat kaitannya dengan teori Shannon Limit (Claude Shannon dalam papernya pembuktian theoretical limit). Kode ini (Turbo Code), menetapkan laju  $r \leq$  kapasitas kanal  $C$  yang mampu menghasilkan bit error rate mendekati nol bila panjang blok  $n$  kode mendekati tak berhingga. Turbo coding mampu mendekati teori limit Shannon. Gambar 1 menunjukkan elemen dasar dari sistem komuni-

kasi dengan *Turbo Code*. Sumber membangkitkan deret informasi  $N$  simbol dengan distribusi a priori probability (APP) konstan  $P(u_k = u)$ .  $u_k$  menyatakan simbol yang dipancarkan pada waktu  $k$  dengan nilai biner (0,1) atau  $u_k \in \{0,1\}$ .  $u_k$  diencode oleh dua buah RSC encoder dimana trellis diagramnya berawal dari  $s_0(i)$ , misalnya  $s_0(1)$ , dan berakhir pada state  $s_k(i) = s_N(1)$ , dimana state akhir kembali ke state awal untuk mengencoding blok informasi berikutnya.  $k$  dan  $i$  masing-masing menyatakan *time index & state index*. Encoder menghasilkan deret  $N$  output code symbols  $c_N$ . Struktur state trellis diketahui pada sisi penerima  $c_k = \{c_k^1, c_k^2, \dots, c_k^q, c_k^{1^2}, c_k^{1^3}, \dots, c_k^{1^q}\}$  yang menyatakan satu kode simbol pada waktu  $k$  dengan panjang  $2q-1$ , dimana  $c_k^1, c_k^2, \dots, c_k^q$  dibangkitkan oleh RSC encoder pertama, dan  $c_k^{1^2}, c_k^{1^3}, \dots, c_k^{1^q}$  dibangkitkan oleh RSC encoder kedua. Tiap element  $c_k^l$  adalah signal binary, yakni;  $c_k^l \in \{-1,1\}$ ,  $l = 1, \dots, q$ . Setelah dimodulasi, kode simbol dipetakan satu demi satu ke dalam sinyal yang dipancarkan  $x_k$ .  $x_k = \{x_k^{1,s}, x_k^{2,p}, \dots, x_k^{q,p}, x_k^{1^2,p}, x_k^{1^3,p}, \dots, x_k^{1^q,p}\}$  menyatakan *code word* yang kemudian ditransmisikan pada waktu  $k$ .  $x_k^{1,s}$  dan  $x_k^{2,p}, x_k^{3,p}, \dots, x_k^{q,p}, x_k^{1^2,p}, x_k^{1^3,p}, \dots, x_k^{1^q,p}$  adalah *systematic bit* dan *parity check bit* untuk simbol ke  $k$ . Signal kemudian ditransmisikan pada kanal *stationary memoryless*. Pada akhirnya, decoder akan mengevaluasi keluaran demodulator  $y$  berdasarkan karakteristik statistik dari kanal, yaitu fungsi kondisional *probability density function* atau PDF dari  $y_k, p(y/c) \triangleq p(Y_k = y / C_k = c)$ ,

$$y_k = \{y_k^{1,s}, y_k^{2,p}, \dots, y_k^{q,p}, y_k^{1^2,p}, \dots, y_k^{1^q,p}\}$$

menyatakan simbol penerima pada waktu  $k$  dan kemudian membuat putusan.

Untuk System model *Turbo Code* yang digunakan dalam penelitian data (informasi) di encode setiap frame dengan *frame*

*size* variatif antara 384 bit sampai 20738 bit. *Tail bits* ditambahkan pada akhir dari setiap frame. *Frame size* didefinisikan sebagai jumlah data bits ditambah *tail bits*. Fungsi transfer untuk encoder adalah:

$$G(D) = [1 + D^1 + D^2, 1 + D^2] \quad (1)$$

Laju kode (*code rate*) yang digunakan adalah  $1/2$  dan  $1/3$ .

#### a. Encoder Turbo Code

Encoder *Turbo Code* nampak identik dengan dua encoder *systematic recursive convolutional* yang di rangkai paralel dan didahului dengan sebuah interleaver pada encoder kedua *recursive convolutional*. Dua encoder *recursive convolutional* disebut dengan *constituents Turbo*. Bit-bit information diencode dengan kedua RSC encoders. Kerja encoder pertama pada input bit dengan signal informasi asal, sedang encoder kedua beroperasi pada input bit dengan bit permute dari interleaver. Jika simbol input panjangnya 1 dan ukuran simbol output adalah  $R$ , maka laju kode dari encoder adalah  $r_c = 1/R$ . Bit-bit informasi selalu ditransmisikan melalui kanal. Tergantung pada laju kode yang diinginkan, bit-bit parity dari dua constituent encoders di puncture sebelum ditransmisikan. *Tail bits* akan ditambahkan pada akhir dari setiap frame yang ditransmisikan.

#### b. Decoder Turbo Code (MAP)

*Log-likelihood ratio*  $L(u_k)$  dari sebuah binari random variabel  $u_k$  didefinisikan dengan:

$$L(u_k) \triangleq \log\left(\frac{P(u_k = 1 / y_1^N)}{P(u_k = 0 / y_1^N)}\right) \quad (2)$$

*Decision* (keputusan) akan ditetapkan berdasarkan pada *sign*  $L(u)$ , yaitu,  $\tilde{u}_k = \text{sign}[L(u_k)]$  (3)

Dengan tidak menyertakan kode trellis dan dengan menggunakan formula (2) dan (2.21.), persamaan (3) dapat dituliskan kembali dengan:

$$L(u_k) = \log\left(\frac{P(u_k = 1, y_1^N) / P(y_1^N)}{P(u_k = 0, y_1^N) / P(y_1^N)}\right) = \log\left[\frac{\sum_{s'} P(s_{k-1} = s', u_k = 1, y_1^N) / P(y_1^N)}{\sum_{s'} P(s_{k-1} = s', u_k = 0, y_1^N) / P(y_1^N)}\right] \quad (4)$$

Diberikan sebuah pasangan (*pair*) ( $s_{k-1}, u_k$ ),  $s_k$  atau *trellis-branch* (cabang trellis) yang akan didefinisikan tersendiri. Sehingga penjumlahan di atas untuk *joint probability* didalam pembilang menjadi sama pada penjumlahan  $u^+$ , dimana satuan urutan pasangan (*pair*) ( $s_{k-1} = \cdot$ )  $\rightarrow$  ( $s_k = s$ ) disebabkan oleh *input*  $u_k = 1$ , dan dengan cara yang sama  $u^-$  adalah satuan urutan pasangan (*pair*) ( $s_{k-1} = \cdot$ )  $\rightarrow$  ( $s_k = s$ ) disebabkan oleh *input*  $u_k = 0$ .

Berikutnya, simbol yang diterima dapat dipilah menjadi 3 bagian. Bagian pertama hanya berisi pengamatan (*past observation*) sebelum waktu  $k$ , bagian kedua berisi pengamatan (*present observation*) pada waktu  $k$  dan bagian ketiga adalah pengamatan (*future observation*) setelah waktu  $k$ , yaitu,

$$y_1^N = \{y_1^{k-1}, y_k, y_{k+1}^N\} \quad (5)$$

Dengan mensubstitusi (3) kedalam (4), (4) menjadi

$$L(u_k) = \log\left[\frac{\sum_{u^+} P(s_{k-1} = s', u_k = 1, y_1^{k-1}, y_k, y_{k+1}^N) / P(y_1^N)}{\sum_{u^-} P(s_{k-1} = s', u_k = 0, y_1^{k-1}, y_k, y_{k+1}^N) / P(y_1^N)}\right] \quad (6)$$

dimana  $\sum_{u^+}()$  adalah penjumlahan pada seluruh *transition* yang mungkin pada cabang pasangan (*branch pair*) ( $s_{k-1}, s_k$ ) pada waktu  $k$  yang diberi input  $u_k = 1$ , dan  $\sum_{u^-}()$  adalah penjumlahan pada seluruh *transition* yang mungkin pada cabang pasangan (*branch pair*) ( $s_{k-1}, s_k$ ) pada waktu  $k$  yang diberi input  $u_k = 0$ . Dengan menggunakan

formula (4), *joint probability* di dalam (5) dapat digantikan dengan *conditional probability*. Dengan kata lain, bahwa dengan menggunakan *state trellis* yang diberikan, *event* yang terjadi setelah waktu  $k$  (*future events*) adalah *independent* dengan event sebelum waktu  $k$  (*past events*) dan *joint condition* dari ( $s_{k-1} = s', y_1^{k-1}$ ) adalah *equivalent* dengan  $s_{k-1} = s'$ , *log-likelihood ratio* dapat dituliskan seperti pada lampiran (7). Dengan menggunakan formula (4), diperoleh penurunan seperti pada lampiran (8).

$$\alpha_k(s) \triangleq P(s_k = s, y_1^k),$$

$$\beta_{k-1}(s') \triangleq P(y_k^N / s_{k-1} = s'), \text{ dan}$$

$$\gamma_k(s', s) \triangleq P(u_k = u, y_k / s_{k-1} = s').$$

Dengan mensubstitusi persamaan (8) ke dalam (7), diperoleh :

$$L(u_k) = \log\left[\frac{\sum_{u^+} \alpha_{k-1}(s') \beta_k(s) \gamma_k(s', s) / P(y_1^N)}{\sum_{u^-} \alpha_{k-1}(s') \beta_k(s) \gamma_k(s', s) / P(y_1^N)}\right] \quad (9)$$

## II. Kanal fading

Gelombang radio merambat dari antena pemancar melalui udara bebas dan mengalami beberapa peristiwa, misalnya absorpsi, pantulan, pembiasan, pelenturan dan hamburan [10,16]. Peristiwa-peristiwa tersebut umumnya disebabkan oleh tanah lapang, atmosfer, benda-benda sepanjang lintasan propagasi gelombang seperti bangunan, jembatan, gunung, pohon dan lain sebagainya. Beberapa fenomena tersebut di atas berkaitan erat dengan karakteristik sinyal yang diterima oleh stasiun

penerima. Dalam beberapa sistem komunikasi seluler, tinggi antena stasiun bergerak mungkin lebih rendah dibandingkan dengan struktur bangunan sekitarnya. Karenanya keberadaan lintasan langsung atau *line of sight* (LOS) antena pemancar dan penerima amat rendah. Untuk situasi seperti ini, propagasi gelombang radio umumnya adalah disebabkan oleh pantulan dan hamburan dari bangunan sekitarnya. Karena sinyal yang diterima oleh stasiun bergerak berasal dari berbagai lintasan dengan waktu tunda berbeda dan menyebabkan terjadinya pelemahan (*fading*). Pelemahan sinyal yang terjadi pada stasiun penerima ini bersifat acak dengan fungsi rapat probabilitas Rayleigh dengan pdf (*probability density function*). Karena bervariasinya panjang lintasan yang diterima dan phase sinyal yang diterima random, sebagai akibat besaran daya sesaat yang diterima oleh antena penerima menjadi random. Pandang sinyal yang dipancarkan memiliki frekuensi  $\omega_c$  mencapai stasiun penerima dengan sejumlah lintasan, maka lintasan ke- $i$  memiliki amplitudo  $a_i$  dan phase  $\phi_i$ . Jika diasumsikan tidak terdapat komponen lintasan langsung (LOS), maka sinyal yang diterima  $s(t)$  dan dinyatakan sebagai:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(\omega_c t + \phi_i) \quad (10)$$

dimana  $N$  menyatakan jumlah lintasan. Phase  $\phi_i$  bergantung pada variasi panjang lintasan dan berubah sebesar  $2\pi$  setiap perubahan panjang lintasan sebesar  $\lambda$ . Karenanya phase memiliki distribusi secara uniform pada rentang  $[0, 2\pi]$ . Jika terdapat pergerakan relatif antara *transmitter* dan *receiver*, maka persamaan 2-16 perlu dimodifikasi untuk menyertakan pergeseran phase. Pandang gelombang terpanut ke I memiliki amplitudo  $a_i$  dan phase  $\phi_i$  tiba di penerima dengan sudut  $\omega_i$  relatif

terhadap arah pergerakan antena. Pergeseran Doppler untuk gelombang ini diberikan oleh:

$$\omega_{di} = \frac{\omega_c v}{c} \cos \psi_i \quad (11)$$

dimana  $v$  adalah kecepatan stasiun penerima,  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/detik), dan  $\omega_i$  berdistribusi secara uniform pada rentang  $[0, 2\pi]$ . Selanjutnya persamaan sinyal diterima dapat ditulis menjadi:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(\omega_c t + \omega_{di} t + \phi_i) \quad (12)$$

Jika persamaan di atas dinyatakan dalam komponen *inphase* dan *quadrature*, dapat ditulis menjadi:

$$s(t) = I(t) \cos \omega_c t - Q(t) \sin \omega_c t \quad (13)$$

di mana komponen *inphase* dan *quadrature* berturut-turut adalah:

$$I(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(\omega_{di} t + \phi_i)$$

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N a_i \sin(\omega_{di} t + \phi_i)$$

Selubung  $R$  diberikan oleh persamaan :

$$R = \sqrt{[I(t)]^2 + [Q(t)]^2} \quad (14)$$

Jika  $N$  cukup besar, maka komponen *inphase* dan *quadrature* berdistribusi Gaussian. Rapat probabilitas dari selubung sinyal yang diterima,  $f(r)$  dapat ditunjukkan akan berdistribusi Rayleigh yang diberikan oleh persamaan :

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad r \geq 0 \quad (15)$$

Ada dua cara yang digunakan untuk membangkitkan bilangan acak berdistribusi Rayleigh yaitu; *Uncorelated Rayleigh fading* dan *Corelated Rayleigh fading*.

### III. Turbo Code pada kanal Rayleigh flat fading

*Fading* adalah variasi sinyal yang diterima sebagai akibat dari perubahan karakteristik fisik dari sistem media komunikasi radio. Pandang pulsa  $u(t)$  pada laju  $1/T$  ( $T$  adalah periode bit atau simbol) ditransmisikan melalui kanal komunikasi dengan modulasi amplitudo, phase atau frekuensi, maka *time variance* yang dicirikan oleh fungsi alih  $C(f,t)$  akan mendistorsi sinyal  $U(f)$ , dimana  $U(f)$  adalah transformasi Fourier dari  $u(t)$ . Jika  $U(f)$  memiliki lebar pita,  $W$  lebih besar dibandingkan dengan lebar pita koheren kanal,  $(\Delta f)_c$ , maka  $U(f)$  akan mengalami perbedaan gain dan phase ketika melewati kanal. Pada kasus ini kanal disebut dengan *frekuensi selektive*. Distorsi lain yang disebabkan oleh kanal dengan fungsi alih  $C(f,t)$  adalah variasi level sinyal yang diterima yang lazim disebut dengan fading. Efek dari kanal fading pada sinyal yang ditransmisikan,  $u(t)$  adalah merupakan fungsi dari pemilihan lebar pita sinyal dan durasi sinyal. Jika dipilih periode bit atau simbol,  $T$  yang memenuhi kondisi  $T \gg T_m$  ( $T_m$  adalah sebaran lintasan jamak dari kanal), maka *Inter-Symbol Interferensi* (ISI) yang terjadi pada kanal dapat diabaikan. Jika lebar pita pulsa  $u(t)$  adalah  $W = 1/T$ , dengan kondisi  $T \gg T_m$  menyebabkan  $W \ll 1/T_m \approx (\Delta f)_c$ , dengan kata lain bahwa lebar pita  $W$  jauh lebih kecil dibandingkan dengan lebar pita koheren kanal  $(\Delta f)_c$ . Oleh karenanya model kanalnya disebut dengan *frekuensi non-selektif* atau *flat kanal*. Dimana semua komponen frekuensi dalam  $U(f)$  akan mengalami redaman dan pergeseran phase yang sama ketika melalui kanal. Fungsi alih kanal untuk kondisi ini menjadi  $C(f,t) = C(0,t)$  yang dapat dinyatakan sebagai:

$$C(0,t) = \alpha(t) e^{j\phi(t)} \quad (16)$$

Dimana  $a(t)$  dan  $\phi(t)$  masing-masing menyatakan selubung dan phase dari kanal *lowpass* ekuivalen. Jika  $C(0,t)$  dimodelkan sebagai proses *zero mean* random Gaussian bernilai kompleks, maka untuk nilai  $t$  yang tetap selubung  $\alpha(t)$  berdistribusi Rayleigh dan  $\phi(t)$  berdistribusi *uniform* dalam rentang  $(\pi, -\pi)$ . Hubungan antara lebar pita koheren  $(\Delta f)_c$ , waktu koheren kanal  $(\Delta t)_c$ , sebaran Doppler ( $B_d$ ) dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$(\Delta f)_c \approx 1/T_m \quad (17)$$

$$(\Delta t)_c \approx 1/B_d \quad (18)$$

Perubahan kanal yang lambat akan memiliki waktu koheren besar atau sebaran Doppler kecil. Jika dipilih lebar pita sinyal  $W$  untuk memenuhi kondisi  $W \ll (\Delta f)_c$  dan interval sinyal  $T$  untuk memenuhi kondisi  $T \ll (\Delta t)_c$ , maka redaman kanal dan pergeseran phase adalah tetap untuk durasi paling tidak satu interval sinyal  $T$ . Kanal demikian lazim disebut dengan *slowly fading channel*. Fungsi fading atau bati kanal dijelaskan dengan fungsi rapat probabilitas dan sebaran frekuensi terukur  $B_d$  yang biasa disebut *Doppler spread*.

Simulasi dengan menggunakan kanal *flat fading* dilakukan dengan cara : membangkitkan bit informasi,  $u \in \{0,1\}$ , kemudian mengencode bit-bit informasi dengan menggunakan turbo encoding sehingga diperoleh *code word*  $c \in \{0,1\}$ , memodulasi secara BPSK dengan memetakan *code word* ke dalam domain 1 dan -1,  $x \in \{1,-1\}$  kemudian mentransmisikannya melalui kanal *flat fading*. Dalam simulasi ini sinyal yang digunakan adalah sinyal *baseband ekuivalen*. Disisi penerima setelah melalui proses demodulasi data didecode dengan menggunakan Turbo decoder yakni Log MAP. BER yang diperoleh ini selanjutnya dibandingkan dengan BER model simulasi (parameter) lainnya .

#### IV. Interleaver

*Burst errors* didefinisikan sebagai deret bit error. Metode *interleaver* membuktikan perbaikan reliabilitas dalam kanal *burst error*. Pada *turbo codes*, *interleaver* diletakkan diantara dua buah komponen encoders. *Interleaver* digunakan untuk menentukan kerandoman deret *input*. Juga digunakan untuk menaikkan bobot (*weights*) dari *code words*.

Dari gambar, deret *input*  $x$  menghasilkan bobot rendah (*low-weight*) untuk *recursive convolutional code* dari pada deret  $c_2$  untuk RSC Encoder 1. Untuk menghindari RSC Encoder 2 menghasilkan deret output juga berbobot rendah (*low-weight recursive output sequence*) dari yang lain, permutasi *interlaver* deret *input*  $x$  diharapkan menghasilkan *high-weight recursive convolutional code* pada deret  $c_3$ . Gambar 3.12 menunjukkan contoh illustrative.

Dari gambar di atas, deret *input*  $x_i$  menghasilkan deret *output*  $c_{1i}$  and  $c_{2i}$ . Deret *input*  $x_1$  and  $x_2$  adalah deret permutasi yang berbeda dengan  $x_0$ .

Dari tabel 1, bobot *code word* dapat dinaikkan dengan mengutilisasi sebuah *interleaver*. *Interleaver* mempengaruhi unjuk kerja *turbo codes* karena *interleaver* langsung berpengaruh terhadap sifat jarak (*distance properties*) dari kode [Jun94]. Dengan menghindari *low-weight code words*, BER *turbo code* dapat diperbaiki dengan signifikan.

Kebalikan dari proses *interleaver* adalah *deinterleaver*, yang menjadikan deret yang di*interleaver* sebagai deret *input* dan deret *input* informasi asal ( $x$ ) sebagai *output deinterleaver*.

##### a. Block Interleaver

*Block interleaver* adalah *interleaver* yang paling banyak digunakan dalam sistem komunikasi. *Blok interleaver* ditulis dalam bentuk kolom dengan cara dari baris atas ke bawah dan dari kolom kiri ke kanan

dan pembacaannya dalam bentuk baris dari baris terluar dengan cara dari kolom kiri ke kanan dan dari baris atas ke bawah. Gambar menunjukkan *block interleaver*.

Dari gambar, penulisan *interleaver* [0 0 ... 1 0 1 ... 0 ... 1 ... 1 0 1 ... 0 1] dan pembacaan *outputnya* adalah [0 1 ... 1 0 0 ... 1 ... 1 ... 0 0 0 ... 1 1].

##### b. Random (Pseudo-Random) Interleaver

*Random interleaver* menggunakan random permutasi dan memetakan deret input sesuai dengan urutan permutasi. Panjangnya deret *input* asumsikan dengan  $L$ . Gambar memperlihatkan contoh *random interleaver* dengan  $L=8$ .

Dari gambar, *interleaver* ditulis dalam [0 1 1 0 1 0 0 1] dan pembacaannya adalah [0 1 0 1 1 0 0 1]. Random permutasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode  $L$  factorial. Artinya bila input 3 pemetaan yang dapat dilakukan sebanyak 3 faktorial atau 6 kemungkinan pemetaan. Misal *random interleaver* dengan  $L=3$ . Penetapan *random* permutasi yang mungkin adalah 1 2 3, 1 3 2, 2 3 1, 2 1 3, 3 2 1 dan 3 1 2.

#### V. Pengaruh Interleaver

Pemilihan ukuran interleaver untuk variasi *signal to noise ratio* menentukan performansi Turbo Code. Penurunan laju kesalahan dapat diperbaiki dengan menaikkan ukuran interleaver. Probabilitas performansi Turbo Code pada kanal *Additive White Gaussian* seperti pada persamaan berikut:

$$P_b(e) \leq \sum_{d=d_{\min}} B_d Q \sqrt{2dR \frac{E_b}{N_0}}$$

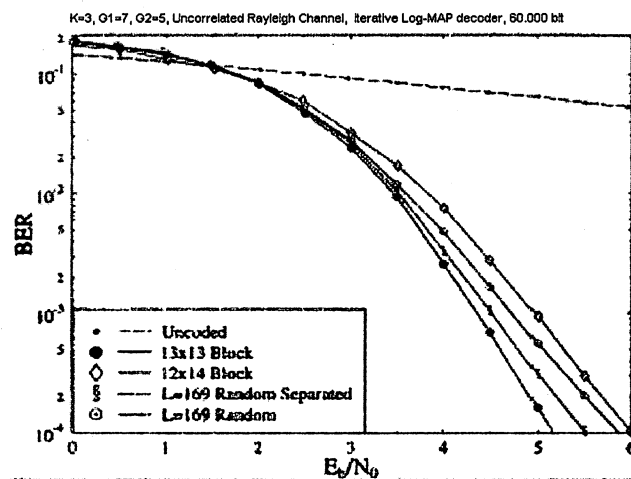
dimana  $B_d$  adalah Koefisien error,  $d_{\min}$  adalah jarak bebas (*free distance*),  $R$  adalah kode rate dan  $E_b/N_0$  adalah *signal to noise ratio*.

Interleaver dapat menurunkan koefisien error dari bobot *codeword* terkecil melalui proses yang disebut *Spectral Thinning*[6]. Hasil jarak spectrum (*distance spectrum*) dapat menurunkan probabilitas bit error dengan faktor  $1/N$  yang mana faktor tersebut adalah inerleaver gain.  $N$  adalah ukuran Pada SNR kecil (*low SNR*), ukuran interleaver merupakan faktor penting yang menentukan performansi kode (Turbo Code) terutama interleaver gain. Struktur interleaver pada SNR kecil kurang signifikan, tetapi pada SNR besar struktur interleaver menentukan performansi kode (Turbo Code). Struktur interleaver dilakukan dengan menentukan pe-

metaan bobot codeword rendah dari deretan input menjadi bobot tinggi pada keluaran interleaver. Faktor ini menentukan performansi kode (Turbo Kode) pada SNR tinggi.

## VI. Hasil dan Kesimpulan

Dari hasil simulasi untuk variasi interleaver ditunjukkan pada gambar 1. Dari hasil simulasi diperoleh untuk performansi terbaik diperoleh dengan menggunakan interleaver random. Ukuran dan tipe dari struktur interleaver mempengaruhi performansi kode (Turbo Code). Pengaruh dari ukuran interleaver dianalisa secara matematis.



Gambar 1. Interleaver optimal Turbo Code pada kanal flat fading

Dari hasil analisa diperoleh bahwa SNR rendah (*low SNR*), ukuran interleaver dapat menaikkan performansi Turbo Code tergantung pada parameter Qos dan ukuran interleaver yang dipilih.

## DAFTAR PUSTAKA

- C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshaima, *Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: turbo-codes*, in Proc. IEEE Int. Conf. Commun., May 1993, pp. 1064-1070.
- C. Berrou, A. Glavieux, *Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo codes*, IEEE Trans. Communications, vol. 44, No 10 pp. 1261-1271, Oct. 1996.
- Robert Garello, Paola Pierleoni and Sergio Benedetto, *Computing the free distance of turbo codes and serially concatenated codes with interleavers : Algorithms and Applications*, IEEE Journal on selected areas in communications, Vol.19 No.5, May 2001
- S. Dolinar and D. Divsalar, *Weight distribution of Turbo codes using Random and Non random permutations*, JPL TDA progress report 42-122 August 1995.

- Branka Vucetic and Jinhong yuan, *Turbo Codes Principles and Applications*, Buton: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Lance C. Perez, Jan Seghers and Daniel. J. Costello, *A distance spectrum interpretation of Turbo codes*, IEEE Trans. Inform. Theory, Special issue on Coding and Complexity April. 1996.
- Dwi Kuswanto, *Unjuk Kerja Turbo Code pada kanal flat fading*, Thesis, ITS, 2004.
- Shobha Rekh, S. Subha Rani, A. Shanmugam, *Optimal choice of interleaver for Turbo Codes*, Acadjournal volume 15, 2005.