

Sub-Optimal *Degree Distribution* untuk Prioritas Komunikasi Manusia menggunakan Proyeksi *EXIT Chart* pada Jaringan Masa Depan

SOLICHAH LARASATI, KHOIRUN NI'AMAH

Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Email: laras@ittelkom-pwt.ac.id

Received 15 Maret 2019 | *Revised* 23 Mei 2019 | *Accepted* 11 Juli 2019

ABSTRAK

Pada jaringan masa depan melibatkan komunikasi antara mesin dan manusia. Penelitian ini mengusulkan konsep coding dalam jaringan menggunakan Maximum Distance Separable (MDS) codes. Desain sub-optimal degree distribution untuk memprioritaskan manusia menggunakan proyeksi EXIT Chart. Pada penelitian ini dasar dari skema multiple akses untuk jaringan super-padat menggunakan Coded Random Access (CRA). Usulan model jaringan menggunakan Binary Erasure Channel (BEC). Evaluasi performansi untuk grup manusia dan mesin diukur berdasarkan throughput dan packet-loss-rate dan hasilnya juga dibuktikan menggunakan frequency-flat Rayleigh fading. Sub-optimal degree distribusi yang diusulkan untuk manusia $((8,2),1)$ dan untuk mesin $((3,2),0.2),((4,2),0.8))$, dengan hasil throughput sebelum fading untuk manusia 0.35 paket/slot dan throughput mesin 0.32 paket/slot, sedangkan setelah fading throughput manusia 0.34 paket/slot dan throughput mesin 0.22 paket/slot..

Kata kunci: MDS codes, CRA, human, machines, EXIT chart

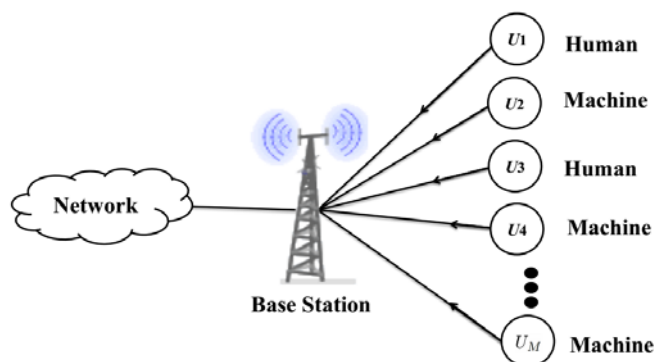
ABSTRACT

Future wireless network involving machines and human communications. This research proposed new concept of network coding based on Maximum Distance Separable (MDS) codes. Designed optimally sub-optimal degree distribution for prioritizing human using projected EXIT chart. This research fundamental multiple access scheme for wireless super-dense network using Coded Random Access (CRA). In this research, proposed scheme under Binary Erasure Channel (BEC) to model a network. We evaluate the performance for human and machines group in terms of throughput and packet-loss-rate, and the result are then verified using frequency-flat Rayleigh fading. We have proposed sub-optimal degree distributions for human $((8,2),1)$ and for machines $((3,2),0.2),((4,2),0.8))$, the resulting throughput for human 0.35 packet/slot and throughput for machines 0.32 packet/slot under fading and without fading throughput for human 0.34 packet/slot than throughput for machines 0.22 packet/slot.

Keywords: MDS codes, CRA, human, machines, EXIT chart

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *wireless* mengalami kenaikan pada tahun 2020, yaitu pada generasi kelima (5G). Generasi telekomunikasi 5G melibatkan komunikasi yang sangat besar (*massive*) dimana jumlah mesin/*device* yang terkoneksi ke internet mencapai 50 miliar padahal jumlah penduduk dunia sekitar 5 milyar, sehingga jika kondisi tersebut benar terjadi jumlah manusia hanya 1/10 bagian dalam jaringan tersebut (**Ericsson, 2011**). Kondisi ini memerlukan sebuah teknik *multiple access* yang mampu mendukung jumlah *user* yang sangat banyak pada jaringan masa depan. Gambar 1 merupakan gambaran struktur jaringan super padat masa depan untuk komunikasi *uplink* dari jumlah M *user*. Total *user* $U = (U_1, U_2, \dots, U_M)$ adalah gabungan dari manusia dan mesin dimana pengiriman paket melalui *Base Station* (BS) yang terkoneksi dengan internet.



Gambar 1. Jaringan Super Padat dengan Jumlah M *user*.

Teknik *multiple access* yang mampu memenuhi kondisi tersebut yaitu *Coded Random Access* (CRA) (**Hasan & Anwar, 2015**) (**Hasan & Anwar, 2015**). Skema CRA menjadi solusi yang baik untuk masalah *multiple access* pada jaringan super padat masa depan, karena teknologi sebelumnya seperti *Time Division Multiple Access* (TDMA), *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), dan *Coded Division Multiple Access* (CDMA) tidak menjamin untuk akses *user* yang besar dengan batasan *time slot*. CRA mempunyai dua kunci utama yaitu *coding* dan *random*. *Coding* digunakan untuk memproteksi paket dari *error* dan diselesaikan menggunakan *degree distribution*, sedangkan *random* memberikan fleksibilitas *user* untuk memilih *time-slot* dengan bantuan *Successive Interference Cancellation* (SIC).

(**Toni & Frossard, 2015**) mengusulkan teknik transmisi menggunakan skema *Irregular Repetition Slotted ALOHA* (IRSA), dimana sumber informasi yang dikirimkan oleh *Base Station* (BS) dengan strategi IRSA. Prioritas kelas pada referensi ini diidentifikasi menggunakan *utility function*, dikelompokkan berdasarkan kelas bukan berdasarkan manusia atau mesin. (**Woo & Cheng, 2008**) mengusulkan skema modifikasi konvensional LT Codes untuk *degree distribution* untuk *high priority data* dan *lower priority data*. (**Purwita & Anwar, 2016**) mengusulkan *massive multiway relay* memakai CRA untuk memilih topologi yang fleksibel agar mampu mencakup jumlah *user* yang banyak.

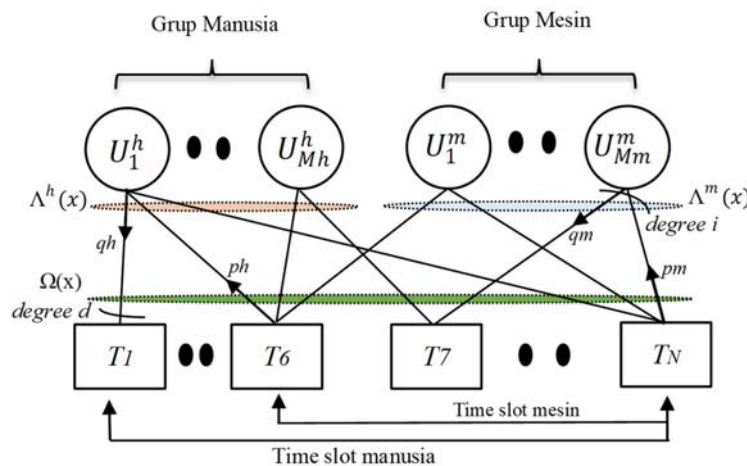
Pada jurnal ini, penulis mengusulkan sebuah skema *coding* untuk memprioritaskan komunikasi manusia dibandingkan komunikasi mesin menggunakan *Maximum Distance Separable* (MDS) *codes*, dimana pembagian komunikasi manusia dan mesin berdasarkan *degree distribution*. Skema *coding* membantu dalam desain *degree distribution* tiap grup, sehingga komunikasi tetap *reliable* dan komunikasi manusia tidak kalah dengan komunikasi mesin walaupun

bercampurnya seluruh data dalam jaringan pada masa depan. Komunikasi manusia lebih diutamakan daripada mesin karena biasanya komunikasi manusia merupakan komunikasi yang *urgent*/mendesak, contohnya komunikasi petugas ambulans dengan dokter di rumah sakit tidak boleh lebih buruk daripada komunikasi antar sensor, sebab jika komunikasi petugas ambulans dengan dokter tersebut dikalahkan dengan komunikasi sensor, maka akan membahayakan nyawa pasien. Kontribusi dari penelitian ini menjawab tantangan jaringan heterogen di masa depan, saat beragam komunikasi yang memiliki *bit rate* berbeda, aplikasi berbeda, *delay*, dan sebagainya, tetapi semua bercampur dalam satu jaringan. Sasaran dari penelitian ini adalah sebuah usulan untuk mendukung manusia dan lebih mengutamakan manusia dengan cara mendesain *sub-optimal degree distribution* dan *utility function* untuk grup manusia dan mesin menggunakan *rejected Extrinsic Information Transfer (EXIT) chart*, dimana grup manusia diharapkan harus lebih tahan *error* dibandingkan grup mesin, sehingga komunikasi tetap *reliable* dan *loss rate* dapat diminimalkan, parameter evaluasi adalah *throughput* dan *Packet-Loss-Rate (PLR)*.

Penulisan ini dibagi menjadi beberapa bagian. Bab 2 mendeskripsikan sistem model dari CRA untuk memprioritaskan manusia. Bab 3 berisi usulan dari desain prioritas CRA dengan kode MDS untuk masing-masing grup menggunakan Proyeksi *EXIT Chart*. Bab 4 performa dari desain *degree distribution* yang dilihat dari parameter *throughput*, PLR, serta pengaruh *frequency-flat Rayleigh Fading*. Bab 5 berisi kesimpulan dari hasil yang diperoleh.

2. METODE PENELITIAN

Struktur transmisi yang penulis usulkan dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 menggambarkan *bipartite-graph* dari CRA, dimana manusia diberikan kebebasan untuk mengakses semua *time-slot (TS)* secara acak, sedangkan mesin diberikan batasan untuk mengakses TS. Total *user (n)* adalah jumlah total dari *user* manusia dan mesin ($Mh + Mm$), manusia ($U^h = U_1^h, \dots, U_{Mh}^h$) dan mesin ($U^m = U_1^m, \dots, U_{Mm}^m$), total *time slot* ($N = T_1, \dots, T_N$).



Gambar 2. Bipartite-Graph CRA untuk Komunikasi Manusia dan Mesin

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menghasilkan strategi transmisi yang baik untuk memaksimalkan jumlah *user* masing – masing grup dengan TS yang terbatas serta menentukan *sub-optimal degree distribution* untuk memprioritaskan manusia, dimana manusia diberikan kebebasan untuk dapat mengakses semua TS. Oleh karena itu, prediksi kesuksesan manusia harus lebih besar daripada mesin. Salah satu strategi transmisi yang diharapkan untuk

memaksimalkan komunikasi tersebut menggunakan *utility function* pada semua grup. Secara praktiknya, *utility function* dapat diatur berdasarkan jumlah populasi dalam suatu kota. Beda kota berbeda juga *utility function*-nya, misalnya kota A. Kota A memiliki populasi manusia 2.490.622 dan asumsi jumlah mesin/*devices* 17.434.354, sehingga kita dapat mengatur *utility function*-nya $f_u(M_h, M_m) = (30:70)$.

Degree distribution merupakan distribusi banyaknya transmisi dari *user* dan untuk menjamin proses berlangsungnya transmisi tersebut menggunakan bantuan SIC. SIC adalah sebuah konsep *management* interferensi, dalam SIC terjadi *cancel* interferensi yang berkelanjutan sampai mendapatkan *degree* 1. Proses SIC berada pada *receiver* dan ditempatkan di *Base Station* (BS). Jurnal ini mengasumsikan masing-masing paket menggunakan *Binary Erasure Channel* (BEC). Terdapat dua tipe skema *encoding* yaitu *physical encoding* dan *network encoding*. Penulis mengasumsikan *physical encoding perfect* sebagai contoh pada *simple convolutional codes* (Anwar & Matsumoto, 2012) dan *irregular low density parity check* (LDPC) (Chung, Forney, Jr, Richardson, & Urbanke, 2011).

Proses optimisasi dari *network encoding* dengan *maximum offered traffic*. Nilai *offered traffic* dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$G = G_h + G_m \quad (1)$$

Dimana

$$G_h = \frac{M_h}{N_m}, G_m = \frac{M_m}{N_m} \quad (2)$$

Offered traffic untuk manusia dan mesin dinotasikan G_h dan G_m . Oleh karena itu, rata-rata *rate* untuk manusia dan mesin dalam jaringan dapat dihitung dengan Persamaan (3) dan (4):

$$R_h = \frac{\overline{k^h}}{n^h} = \frac{\sum_i^{H_k^h} \Lambda_i^h k_i}{\sum_i^{H_n^h} \Lambda_i^h n_i} \quad (3)$$

$$R_m = \frac{\overline{k^m}}{n^m} = \frac{\sum_i^{H_k^m} \Lambda_i^m k_i}{\sum_i^{H_n^m} \Lambda_i^m n_i} \quad (4)$$

Dimana R_h dan R_m adalah rata-rata *rate* untuk manusia dan mesin, H_k^h dan H_n^h adalah jumlah maksimal dari k dan n untuk manusia. H_k^m dan H_n^m adalah jumlah maksimal dari k dan n untuk mesin. Parameter k adalah parameter dari skema *network encoding*, dimana $k > 1$ untuk MDS codes. Sebuah kode $c_i(n_i k_i)$ adalah kode yang linear dengan panjang kode n_i dan dimensi k_i .

Efek *fading* dalam sebuah jaringan di antara *base station* dan *mobile station* terjadi karena terdapat karakteristik *obstacle* dan *reflection*. Penurunan *offered traffic* pada saat *fading* terjadi karena fenomena fluktuasi sinyal akibat adanya *multipath fading*. *Multipath fading* mengakibatkan *error rate* pada data yang diterima ketika sinyal ditransmisikan. Sebuah metode kompensasi dari *multipath fading* harus digunakan untuk memastikan transmisi memiliki performansi yang tinggi. Penelitian ini diasumsikan menggunakan transmisi *narrowband*, sehingga asumsi *frequency-flat Rayleigh fading* yang cocok digunakan.

Probabilitas *density function* dari *frequency-flat Rayleigh fading channel* pada *single path* dilihat pada Persamaan (5):

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

Untuk sinyal penerima r dapat dilihat pada Persamaan 6:

$$r = h \cdot s + n \quad (6)$$

3. USULAN CODED RANDOM ACCESS (CRA) DENGAN PRIORITAS

Bab ini mengusulkan skema prioritas menggunakan sub-optimal *degree* distribusi yaitu tidak lebih dari dua *fraction. Bipartite Graph* CRA yang diusulkan seperti pada Gambar 2 menggambarkan *user node* (UN) dengan *degree i* dan *slot node* (SN) dengan *degree d*. Catatan bahwa yang dapat didesain hanya *degree i*, sedangkan *degree d* tidak dapat didesain karena kondisi alam yang menentukan.

3.1 Degree Distribution Masing-masing Node

Usulan prioritas untuk jaringan super padat ditentukan dengan dua *utility function* yaitu:

1. *Utility function* untuk *user* $f_u(M_h, M_m) = (0.3 : 0.7)$, dimana dalam satu jaringan manusia 30% dan mesin 70% .
2. *Utility function* untuk *time-slot* $f_s(N_h, N_m) = (1 : 0.9)$, dimana dalam satu jaringan manusia dapat mengakses 100% dari *time-slot* yang digunakan tetapi mesin dibatasi hanya dapat mengakses 90% saja dari total *time-slot* yang digunakan. Target dari konsep prioritas ini adalah memaksimalkan jumlah dari total *user* $M = M_h + M_m$ dalam satu *time-slot* (N) yang sama. Skema prioritas dilakukan dengan membatasi *time-slot* yang akan digunakan untuk mesin, sehingga $N_h < N_m$ dan $N_h = N$.

Dalam praktiknya, *utility function* dapat digunakan sebagai parameter untuk mengukur populasi suatu kota. Beda kota maka beda pula *utility function* yang digunakan (**Larasati, Ramatryana, & Anwar, 2018**). Desain yang dilakukan menggunakan *practical* parameter yaitu jumlah $N = 200$ *slot*, kita tidak dapat mengatur *time-slot* terlalu besar atas dasar pertimbangan dari *low network latency* (**Anwar, 2016**). Kenaikan dari $N = 200$ tidak memiliki efek yang signifikan terhadap *error floor* (**Anwar, 2016**) dan sudah *support* untuk diimplementasikan secara praktikal. Sebelum melakukan desain menggunakan *practical* parameter, langkah awal adalah melakukan analisis *asymptotic* untuk grup manusia dan grup mesin dalam jaringan. Ketika jumlah manusia sangat besar ($M_h \rightarrow \infty$), maka perlu dijaga supaya *traffic* $G_h = \frac{M_h}{N_h}$ bernilai konstan, hal tersebut berlaku sama juga untuk grup mesin.

Seperti pada *bipartite graph* untuk mendesain *degree distribution* manusia dan mesin menggunakan persamaan *polynomial*. Terdapat dua tahap yaitu menggunakan *node perspective degree distribution* dan *edge perspective degree distribution*. Persamaan untuk mendesain *node perspective degree distribution* untuk UN manusia seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (7) (**Larasati, Ramatryana, & Anwar, 2018**).

$$\Lambda^h(x) = \sum_{i=2}^{H_k^h} \Lambda_i^h x^i \quad (7)$$

Sedangkan *node perspective degree distribution* untuk UN-mesin adalah $\Lambda^m(x)$. *Egde perspective degree distribution* untuk UN-manusia dan UN-mesin masing-masing ditunjukkan pada Persamaan (8) dan (9) (**Larasati, Ramatryana, & Anwar, 2018**).

$$\lambda^h(x) = \frac{1}{\Lambda^h(1)} \sum_{i=2}^{H_k^h} i \Lambda_i^h \gamma_i(x) \quad (8)$$

$$\lambda^m(x) = \frac{1}{\Lambda^m(1)} \sum_{i=2}^{H_k^m} i \Lambda_i^m \gamma_i(x) \quad (9)$$

dimana Λ_i^h dan Λ_i^m adalah probabilitas dari UN-manusia dan UN-mesin yang memiliki *degree* i , sedangkan H_k^h adalah *degree* maksimal dari UN manusia dan H_k^m adalah *degree* maksimal dari *degree* UN-mesin. Parameter dari kode MDS yang dinotasikan $\gamma_i(x)$ akan dibahas pada bab selanjutnya.

Supaya lebih sederhana dalam melakukan analisis, maka diasumsikan perbedaan dalam $f_s(N_h, N_m)$ adalah $(N_h, N_m) \rightarrow 0$. Persamaan (10) merupakan persamaan untuk memperoleh probabilitas SN yang memiliki *degree* d (**Larasati, Ramatryana, & Anwar, 2018**).

$$\Omega_d = \binom{M_h}{d_h} \binom{M_m}{d_m} \left(\frac{G_h}{R_h M_h} \right)^{d_h} \left(\frac{G_m}{R_m M_m} \right)^{d_m} \left(1 - \frac{G_h}{R_h M_h} \right)^{M_h - d_h} \left(1 - \frac{G_m}{R_m M_m} \right)^{M_m - d_m} \quad (10)$$

dimana $d = d_h + d_m$. Polinomial untuk *degree* distribusi SN dilihat pada Persamaan (9).

$$\begin{aligned} \Omega(x) &= \sum_{d=0}^M \Omega_d x^d, \\ &= \left(1 - \frac{G_h}{R_h M_h} (1 - x_h) \right)^{M_h} \cdot \left(1 - \frac{G_m}{R_m M_m} (1 - x_m) \right)^{M_m} \end{aligned} \quad (11)$$

Jika $M \rightarrow \infty$ dan $N \rightarrow \infty$, maka Persamaan (12) menjadi:

$$\begin{aligned} \omega(x) &= \lim_{M \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{G_h}{R_h M_h} (1 - x_h) \right)^{M_h} \cdot \left(1 - \frac{G_m}{R_m M_m} (1 - x_m) \right)^{M_m}, \\ &\approx \exp \left\{ \left(-\frac{G_m}{R_m} + \frac{G_h}{R_h} \right) + \frac{G_m}{R_m} x_m + \frac{G_h}{R_h} x_h \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

dimana $x = x_m + x_h$.

3.2 Maximum Distance Separable (MDS) Codes (n_i, k)

MDS Codes merupakan salah satu kode yang harus memenuhi *Singleton bound* yaitu kode dengan jarak minimum adalah panjang kode dikurang dengan dimensi kode ditambah satu, atau seperti Persamaan (13).

$$j \leq n_i - k_i + 1, \quad (13)$$

Dimana j adalah jarak minimal kode, n_i adalah panjang kode, dan k_i adalah dimensi kode. MDS merupakan salah satu kode yang istimewa dan menarik karena memiliki nilai n_i dan k_i ,

sehingga memiliki *error* deteksi dan *error* koreksi yang lebih baik. MDS *codes* memiliki rate $> \frac{1}{2}$ dengan notasi (n_i, k_i) , hal ini berbeda dengan *repetition codes* yang memiliki rate $\leq \frac{1}{2}$ dengan notasi $(n_i, 1)$.

3.3 Analisis Proyeksi EXIT Chart

Extrinsic Information Transform (EXIT) Chart merupakan sebuah proses pertukaran informasi dan dapat digunakan sebagai analisis proses iterasi *decoder*. Untuk mendapatkan *EXIT Chart* diperlukan *mutual information* yang merepresentasikan kandungan informasi apabila *output* kanal sudah diketahui. Nilai pertukaran informasi yang ditukar adalah *extrinsic mutual information* dan *a priori mutual information*. Dalam jurnal ini usulan utama dari analisis *EXIT chart* untuk mendesain sub-optimal *degree distribution* dari grup manusia dan grup mesin agar diperoleh performansi yang optimal. Performansi terbaik dilihat dari *gap* terkecil antara UN dan SN. Pada jurnal ini menggunakan *EXIT Chart Projection* karena *time-slot* dibagi menjadi dua grup (manusia dan mesin), sehingga *time-slot* dipengaruhi oleh dua kondisi. Mesin yang diproyeksinya terhadap *time-slot* dinamakan proyeksi SN-mesin, sedangkan grup manusia yang diproyeksikan terhadap *time-slot* dinamakan proyeksi SN-manusia.

Prosedur optimasi digunakan untuk memperoleh hasil yang efisien dengan kualitas yang baik. Adapun prosedur optimasi untuk memaksimalkan jumlah dari manusia dan mesin dengan *time-slot* yang terbatas adalah:

$$\begin{array}{ll} \text{Nilai offered traffic maksimal} & G = G_h + G_m , \\ \text{Parameter optimasi} & R_h < R_m , k_i \leq 3, n_i \leq 7 , \\ & N \leq 200 , \\ & f_{SN} > f_{UN} \end{array} \quad (14)$$

dimana f_{SN} dan f_{UN} adalah kurva *EXIT function* dari SN dan UN. Nilai *EXIT function* f_{UN} bergantung dari *degree distribution* yang didesain sesuai dengan Persamaan (7). Berdasarkan persamaan tersebut maka sub-optimal *degree distribution* yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} \Lambda^h(x) &= \{(8,2), 1\} \\ \Lambda^m(x) &= \{(3,2), 0.2\}, \{(4,2), 0.8\}, \end{aligned} \quad (15)$$

Usulan *degree distribution* $\Lambda^h(x)$ mempunyai *rate* 0.25, sedangkan $\Lambda^m(x)$ mempunyai *rate* 0.53.

Penelitian ini menggunakan model kanal *Binary Erasure Channel* (BEC), dimana probabilitas dari paket yang dihapus dalam jaringan direpresentasikan menggunakan *erasure probability*. Merujuk pada Gambar 2 contohnya, penulis fokus pada grup manusia terlebih dahulu, dimana p_h merupakan *erasure probability* yang masuk ke UN-manusia, sedangkan q_h merupakan *erasure probability* yang keluar dari UN-manusia.

Persamaan (16) adalah fungsi dari *mutual information* pada *EXIT chart* (Larasati, Ramatryana, & Anwar, 2018).

$$\begin{aligned} I_{A,UN}^h &= 1 - p_h \\ I_{E,UN}^h &= 1 - q_h, \end{aligned} \quad (16)$$

Erasure probability yang keluar dari UN *MDS Codes* dilihat pada Persamaan (17).

$$q_h = \lambda^h(p_h),$$

$$= \sum_{i=2}^{H_k^h} \frac{i \Lambda_i \gamma_i(p)}{\Lambda'(1)}, \quad (17)$$

dimana

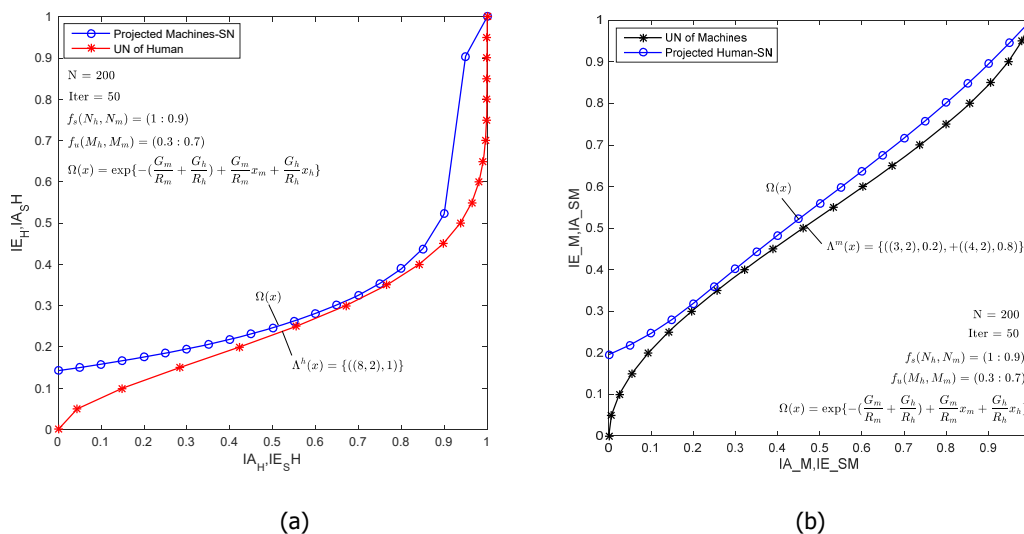
$$\gamma_i(p) = \sum_{l=0}^{k-1} \binom{n_i}{l} (1-p_h)(p_h)^{n_i-l-1} \quad (18)$$

Erasure probability yang keluar dari SN dilihat pada Persamaan (19).

$$(1-p_h) = \omega^m(1-q_m) \cdot \omega^h(1-q_h),$$

$$= \exp \left\{ - \left(\frac{G_h}{R_h}(1-q_h) - \frac{G_m}{R_m}(1-q_m) \right) \right\} \quad (19)$$

Sama seperti grup manusia, nilai *erasure probability* juga diaplikasikan untuk grup mesin dengan hasil q_m dan p_m , sehingga nantinya akan didapatkan $I_{E,UN}^m$ dan $I_{E,SN}^m$.



Gambar 3. (a) Proyeksi *EXIT Chart* dari SN-Mesin terhadap UN-Manusia (b) Proyeksi *EXIT Chart* dari UN-Mesin terhadap SN-Manusia dengan $f_s(N_h, N_m) = (1 : 0.9)$ dan $f_u(M_h, M_m) = (0.3 : 0.7)$.

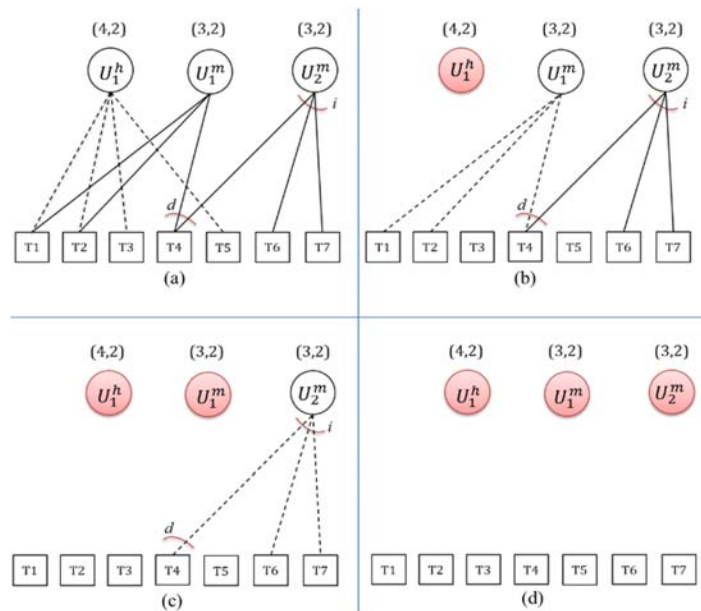
Hasil grafik kurva EXIT pada Gambar 3 baik untuk grup manusia dan mesin dilakukan sebanyak 50 iterasi dan total jumlah *time-slot*-nya 200. Gambar 3 (a) merupakan proyeksi *EXIT Chart* antara SN-mesin dengan UN-manusia. Kurva dengan simbol "*" adalah *degree* distribusi manusia ($\Lambda^h(x)$), sedangkan kurva dengan simbol "o" adalah proyeksi SN-Mesin. Sama halnya seperti Gambar 3 (a), Gambar 3 (b) merupakan kurva *EXIT* yang menunjukkan proyeksi antara UN-mesin dengan SN-manusia. Kurva dengan simbol "*" adalah *degree* distribusi mesin ($\Lambda^m(x)$), sedangkan kurva dengan simbol "o" adalah proyeksi SN-manusia. *Degree distribution* yang diusulkan sudah cukup baik hal tersebut dapat dilihat dari pertemuan antara dua kurva

EXIT memiliki *gap* (celah) yang kecil. Semakin kecil *gap*, maka kurva *EXIT* semakin bagus karena *loss rate* semakin kecil.

3.4 Algoritma Decoding

Gambar 4 merupakan skema algoritma dalam tahapan proses *decoding* dari *MDS Codes*, sebagai contoh *MDS* yang memiliki kode (4,2) untuk grup manusia dan (3,2) untuk grup mesin. Adapun langkah-langkah yang digunakan sebagai berikut:

- a. **Langkah 1:** *User* yang terbagi menjadi dua grup yaitu manusia dan mesin terkoneksi dengan *time-slot* yang memiliki *degree* d . Proses *decoding* terjadi apabila *user* yang terkoneksi dengan *time-slot* memiliki $d=1$. *MDS codes* memiliki (n_i, k_i) , maka proses *decoding* terjadi apabila *user* yang memiliki $d=1$ sebanyak k_i yang digunakan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4 (a). Pada Gambar 4 (a) manusia memiliki nilai k_i sebanyak 2, maka manusia dapat terdeteksi apabila jumlah *degree* $d=1$ sebanyak 2 (berada TS 3 dan TS 5).
- b. **Langkah 2:** Proses akan terus berlanjut untuk semua *user* (manusia dan mesin), sehingga semua dapat terdeteksi. Apabila tidak ada lagi *user* yang memiliki *degree* 1, maka proses *decoding* akan berhenti.



Gambar 4. Skema Algoritma Decoding MDS Codes.

4. ANALISIS PERFORMANSI

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi meliputi PLR dan *throughput*.

4.1 Packet-Loss-Rate (PLR)

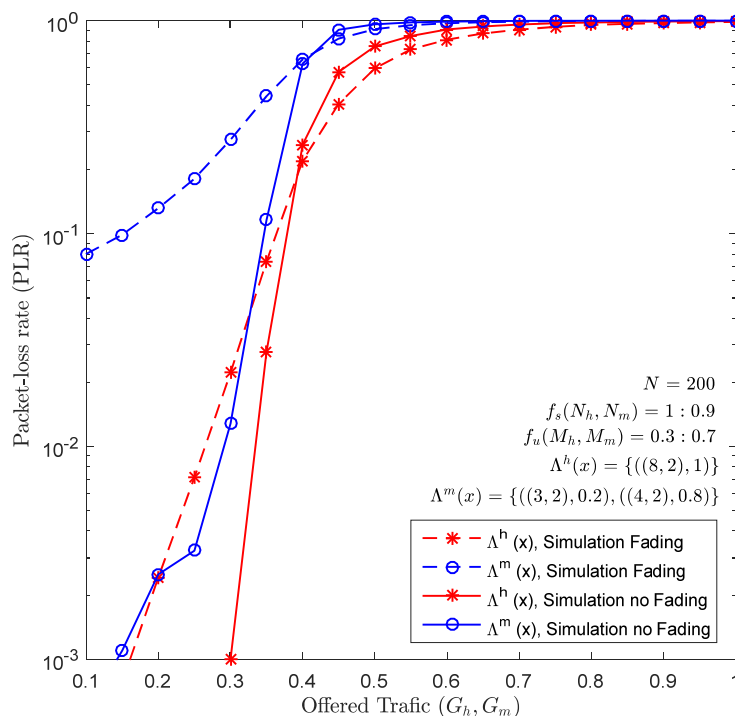
Packet-Loss-Rate adalah rasio perbandingan antara paket yang *loss* dengan paket yang dikirimkan. Skema *decoding* untuk performansi PLR dievaluasi menggunakan simulasi komputer untuk $N_h = 200$ slot dan $N_m = 180$ slot. Ada dua kondisi yang dibandingkan dalam simulasi yaitu kondisi pada saat belum terjadi *fading* dan kondisi setelah adanya *frequency-*

flar *Rayleigh fading*. Dari hasil simulasi yang diperoleh PLR manusia lebih baik dibandingkan dengan PLR mesin. PLR dari 10^{-1} , saat kondisi tanpa *fading* manusia memiliki nilai $G_h = 0.33$ paket/*slot* dan setelah terkena *fading* memiliki nilai $G_h = 0.3$ paket/*slot*, sedangkan kondisi tanpa *fading* mesin memiliki nilai $G_m = 0.31$ paket/*slot* dan setelah terkena *fading* memiliki nilai $G_m = 0.13$ paket/*slot*. Total jumlah *offered traffic* manusia dan mesin ($G = G_h + G_m$) = 0.61 paket/*slot* untuk kondisi tanpa *fading* dan jumlah *offered traffic* manusia dan mesin ($G = G_h + G_m$) = 0.43 paket/*slot* untuk kondisi setelah adanya *fading*. Penurunan nilai *offered traffic* karena *fading* terjadi karena adanya fluktuasi sinyal akibat adanya sinyal *multipath* yang terdistribusi.

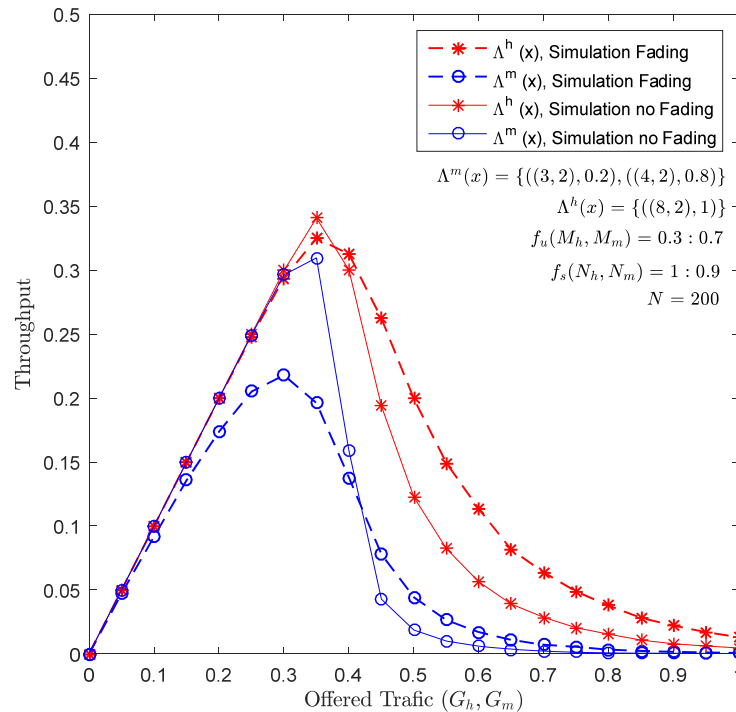
4.2 Throughput

Analisis *throughput* diperlukan terutama ketika PLR memiliki nilai *error floor* (lonjakan) yang tidak terhingga. *Throughput* adalah rasio jumlah paket yang diterima benar dengan jumlah total paket yang dikirimkan. Berdasarkan nilai PLR seperti pada Gambar 5, *throughput* dalam jaringan dapat dihitung menggunakan Persamaan (20):

$$\begin{aligned} T_h &= G_h * (1 - P_L^h), \\ T_m &= G_m * (1 - P_L^m) \end{aligned} \quad (20)$$



Gambar 5. PLR untuk Manusia dan Mesin dengan $N = 200$.



Gambar 6. Throughput untuk Manusia dan Mesin dengan $N = 200$.

PLR untuk manusia dan mesin dinotasikan P_L^h dan P_L^m . Gambar 6 merupakan nilai performansi *throughput* untuk manusia dan mesin sesuai dengan usulan *degree distribution* pada Persamaan (15). Sebelum adanya *fading* grup manusia memiliki nilai *throughput* sebesar $T_h=0.35$ paket/slot dan setelah adanya *fading* grup manusia memiliki nilai *throughput* sebesar $T_h=0.34$ paket/slot, sedangkan nilai *throughput* grup mesin sebelum ada *fading* sebesar $T_m=0.32$ paket/slot dan setelah *fading* nilai *throughput* grup mesin sebesar $T_m=0.22$ paket/slot.

Berdasarkan hasil proyeksi *EXIT Chart*, performansi PLR dan *throughput*, grup manusia memiliki performansi yang lebih bagus daripada grup mesin. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sub optimal *degree distribution* yang diusulkan sudah dapat memprioritaskan manusia dari pada mesin dalam jaringan super padat dimasa depan.

5. KESIMPULAN

Usulan CRA dengan memprioritaskan manusia daripada mesin menggunakan *MDS Codes* untuk jaringan super padat pada masa depan. *Degree distribution* untuk grup manusia dan mesin menggunakan *utility function* dimana proses optimasi menggunakan proyeksi *EXIT Chart* dengan *binary erasure channel* (BEC). Sub-optimal degree distribusi yang diusulkan $\Lambda^h(x) = \{(8, 2), 1\}$ dan $\Lambda^m(x) = \{(3, 2), 0.2), ((4, 2), 0.8)\}$ dengan nilai *throughput* sebelum adanya *fading* grup manusia memiliki nilai sebesar $T_h=0.35$ paket/slot dan setelah adanya *fading throughput* manusia sebesar $T_h=0.34$ paket/slot, sedangkan nilai *throughput* grup mesin sebelum ada *fading* sebesar $T_m=0.32$ paket/slot dan setelah *fading* nilai *throughput* mesin sebesar $T_m=0.22$ paket/slot. Penelitian ini juga mengevaluasi performansi dari CRA

dengan prioritas menggunakan *frequency-flat Rayleigh fading channel*, dimana hasilnya juga menunjukkan manusia masih dapat diprioritaskan meskipun dalam kondisi terkena *fading*. Grup manusia lebih diprioritaskan daripada mesin dilihat dari nilai PLR dan *throughput* yang tinggi dibandingkan grup mesin. *Utility function* digunakan sebagai ukuran dari suatu jaringan. Performansi yang bagus dari usulan prioritas manusia dibandingkan mesin dengan menggunakan *MDS Codes* memiliki kontribusi yang signifikan terhadap jaringan super padat dimasa depan khususnya pada era 5G.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada Bapak Dr. Eng Khoirul Anwar, S.T., M.Eng yang telah memberikan bimbingan dan ide-idenya yang luar biasa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Terima Kasih juga penulis ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Telkom Purwokerto atas bantuan dan dukungannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Anwar, K. (2016). High-dense Multiway Relay Networks Exploiting Direct Links as side Information. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*. Kuala Lumpur, Malaysia, (pp. 1-6).
- Anwar, K., & Matsumoto, T. (2012). Accumulator-Assisted Distributed Turbo Codes for Relay Systems Exploiting Source-Relay Correlation. *Journal IEEE Communications Letters*. 16(7), 1114 – 1117.
- Anwar, K. (2016). Decoding for Wireless Super-dense networks and its Finite-length Analysis for Practical Applications). *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*. Bandung, Indonesia.
- Chung, S.-Y., Forney, G.D., Jr, F., Richardson, T.J., & Urbanke, R. (2011). On the Design of Low-density Parity-check Codes within 0.0045 db of the Shannon Limit. *Journal IEEE Communications Letters*. 5(2), 58-60.
- Ericsson. (2011). More than 50 billion connected devices. *Ericsson Whitepaper*, (pp. 1–12).
- Hasan, M.N., & Anwar, K. (2015). Massive Uncoordinated Multiway Relay Networks with Simultaneous Detections. *IEEE International Conf. on Comm. Workshop (ICCW)*. London, (pp. 2175–2180).
- Hasan, M.N., & Anwar, K. (2015). Uncoordinated Transmissions in Multi-way relaying Systems. *ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC)*. Hamburg, Germany, (pp. 1–5).
- Larasati, S., Ramatryana, I.N.A., & Anwar, K. (2018). High-rate Coded Random Access for Non-Orthogonal Multiple Access with Human Priority. *2nd International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN)*. Kuching, Malaysia.

- Purwita, A.A., & Anwar, K. (2016). Massive Multiway Relay Networks Applying Coded Random Access. *Journal IEEE Transaction on Communications*. 64(10), 1-12.
- Toni, L., & Frossard, P. (2015). Prioritized Random mac Optimization Via Graphbased Analysis. *Journal IEEE Transaction on Communications*. 63(12), 1-12.
- Woo, S.S., & Cheng, M.K. (2008). Prioritized LT codes. *Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*. Princenton, United States of America.