

Proyeksi *EXIT Chart* untuk Memprioritaskan Data Komunikasi Manusia pada Jaringan Super Padat

KHOIRUN NI'AMAH, SOLICHAH LARASATI

Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Email: irun@ittelkom-pwt.ac.id

Received 8 Juni 2019 | *Revised* 15 Juli 2019 | *Accepted* 18 Agustus 2019

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menguji jaringan masa depan dengan melibatkan ribuan mesin. Teknik Coded Random Access (CRA) akan dijadikan bagian penting pada teknologi komunikasi seluler generasi ke-5 (5G) tahun 2020 yang diprediksi data komunikasi manusia bercampur dengan mesin. CRA pada penelitian ini dipandang sebagai skema multiple access terbaru yang memanfaatkan coding (repetition dan MDS codes), penelitian ini berdasarkan repetition codes untuk mendesain sub-optimal degree distribution pada grup manusia dan mesin. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan parameter proyeksi Extrinsic Information Transfer (EXIT) chart, throughput, dan packet-loss rate (PLR). Sub-optimal degree distribusi untuk grup manusia ((3,1),0.3, (8,1),0.7), grup mesin ((2,1),0.6, (4,1),0.4). Throughput grup manusia tanpa fading 0,775 paket/slot dengan fading 0,736 paket/slot dan grup mesin tanpa fading 0,669 paket/slot dengan fading 0,646 paket/slot. Kontribusi penelitian ini sangat signifikan karena data pada komunikasi manusia dapat diprioritaskan yang dilihat dari kinerja deteksi paket yang diterima tanpa error (throughput) pada grup manusia lebih tinggi dibanding mesin.

Kata kunci: *Repetition codes , EXIT Chart, Degree Distribusi, Manusia, Mesin.*

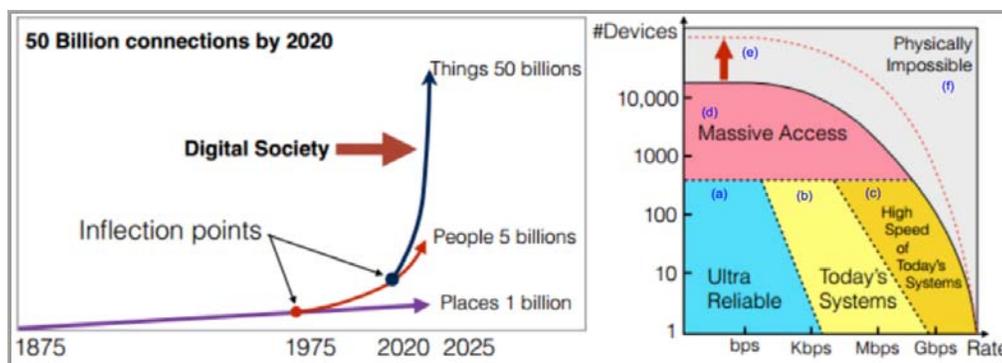
ABSTRACT

This research considers future super-dense networks. Coded Random Access (CRA) technique is expected to be important in fifth generation (5G) cellular communication in 2020 predicted that human data communication are mixed with machines. CRA as a new multiple access scheme which exploiting coding (repetition and MDS codes), this research is based on repetition codes for design sub-optimal degree distribution for human and machines groups. The performance of prioritized are evaluated based on parameters, e.g., projection Extrinsic Information (EXIT) chart, throughput, and packet-loss rate (PLR). Sub optimal degree distribution human ((3,1),0.3, (8,1),0.7), machines ((2,1),0.6, (4,1),0.4). Throughput human without fading 0,775 packet/slot with fading 0,736 packet/slot and machine without fading 0,669 packet/slot with fading 0,646 packet/slot. The contribution of this research is significant because the data on human communication can be prioritized as seen from the performance of correctly received packets (throughput) in the human group is higher than machines.

Keywords: *Repetition Codes, EXIT Chart, Degree Distribution, Human, Machines.*

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2020 akan dihadirkan paradigma baru teknologi telekomunikasi nirkabel generasi ke-5 (5G), komunikasi tidak hanya diperlukan oleh manusia tetapi juga oleh mesin (*machines*) yaitu *Internet-of-Things* (IoT). IoT melibatkan komunikasi yang sangat besar (*massive*) karena saat itu jumlah mesin yang akan terkoneksi ke internet diperkirakan mencapai 30 milyar, bahkan sampai 50 milyar (**Ericsson, 2011**), padahal jumlah penduduk dunia sekitar 5 milyar. Dengan asumsi bahwa 50 milyar ini benar terjadi, maka manusia hanya 1/10 bagian dalam jaringan tersebut. Gambar 1 menjelaskan fenomena ini.



Gambar 1. Prediksi Meningkatnya Jumlah Mesin yang Sangat Besar pada Tahun 2020 dan Hubungan Antara Teknologi Masa Kini dan Masa Depan Berdasarkan Bit-rate dan Jumlah Mesin (Ericsson, 2011)

Generasi 5G mensyaratkan setidaknya *ada triangle requirement Internasional Telecommunications Union-Recommendation (ITU-R) (ITU, 2015)*, yaitu (i) *enhanced mobile data rate*, (ii) *massive machine-type communications*, dan (iii) *ultra-reliable and low latency communications*. Masalah pada *massive machine-type communications* diselesaikan pada penelitian ini karena jumlah komunikasi mesin yang sangat besar maka perlu dilakukan prioritas pada data komunikasi manusia dibandingkan data komunikasi mesin. Keberhasilan komunikasi manusia perlu diutamakan, terutama jika komunikasi tersebut adalah komunikasi darurat seperti komunikasi petugas di mobil ambulans dengan dokter rumah sakit tujuan, atau komunikasi institusi pertahanan dan keamanan negara, seperti kepolisian, TNI, karena menyangkut keamanan masyarakat dan negara. Komunikasi seperti ini tidak boleh lebih buruk dibandingkan dengan komunikasi antar mesin, misalnya komunikasi suhu, sensor mobil di tempat parkir, sensor lampu otomatis rumah orang yang ditinggalkan pemiliknya ke luar kota. Data komunikasi antar manusia perlu diprioritaskan pada teknologi komunikasi 5G masa depan.

Jaringan komunikasi super padat berimbas pada lalu lintas pertukaran data yang terjadi dalam jaringan, hal ini mendesak untuk munculnya sebuah teknik *multiple access* baru yaitu *teknik multiple access CRA*, karena teknologi sebelumnya, misalnya, *Time Division Multiple access (TDMA)*, *Frequency Division Multiple access (FDMA)*, *Code Division Multiple Access (CDMA)* yang memerlukan transmit *scheduling*, tidak mampu memberikan solusi dalam menangani atau melayani jumlah *user* yang sangat banyak pada jaringan super padat (*super-dense network*) (**Anwar & Hasan, 2015**).

Jumlah *user* dan *machines* yang sangat besar memerlukan teknologi *multiple access* yang sesuai dan handal. Teknik *multiple access Coded Random Access (CRA)* sangat sesuai dengan jaringan *wireless* super padat (*wireless super-dense networks*) di masa depan karena

diperkirakan sulitnya melakukan *schedulling* untuk jumlah *devices* yang mencapai ribuan. Cara termudah adalah dengan *random access*, sehingga setiap *user* atau *device* dapat memilih *time-slot* manapun secara *random* tanpa diperlukan penjadwalan (*schedulling*). CRA merupakan salah satu teknik *multiple access* yang merupakan kombinasi antara *random access* dan *channel coding*. CRA melakukan transmit data secara *random* karena *user* bebas dalam memilih *time-slot* yang dituju dimana jumlah *user* lebih sedikit daripada jumlah *time-slot* yang tersedia untuk menjamin adanya *time-slot* yang memiliki *degree* satu atau *user* yang terdeteksi. CRA mempunyai dua kata kunci, yaitu *random* dan koding, dengan bantuan *successive interference cancellation* (SIC) untuk menghindari tabrakan data (interferensi). **(Anwar & Hasan, 2015).**

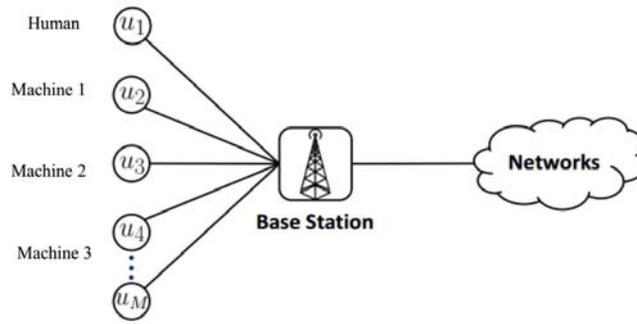
Beberapa teknik pengkodean pada penelitian sebelumnya seperti pada penggunaan *Convolutional Codes*, *Block Codes*, *Turbo Code*, *Low Density Parity Check* (LDPC) dan *Low Density Generator Matrix* (LDGM) dinilai masih belum bisa memenuhi kebutuhan pada *massive machines-type communication* karena memiliki *rate* yang tetap (tidak fleksibel) dan cukup kompleks. Permasalahan mengenai *massive-type communication* telah diselesaikan dengan menggunakan teknik *multiple access* CRA yang dapat melayani jutaan *user* **(Liva, 2011)**. Peneliti **(Anwar & Hasan, 2015)** mengusulkan teknik baru dengan menggunakan *repetition codes* untuk mendeteksi *user* dengan jumlah yang sangat besar dan *degree distribution* yang diusulkan sudah cukup optimal namun belum ada pembagian grup atau memberikan prioritas pada data komunikasi manusia, peneliti **(Toni & Frossard, 2015)** melakukan validasi antara teori dan simulasi untuk pembagian antara kelas yang diprioritaskan dan kelas yang tidak diprioritaskan dengan menggunakan kode *Irregular Repetition Slotted ALOHA* (IRSA). Jumlah *user* yang semakin banyak (*massive*) menyebabkan data antara komunikasi manusia dan mesin bercampur menjadi satu, sehingga pada penelitian ini dilakukan prioritas pada data komunikasi manusia.

Pada penelitian ini menggunakan teknik *multiple access* CRA berdasarkan *repetition codes* dan membagi *user* menjadi dua bagian yaitu grup manusia dan grup mesin dengan tujuan untuk memprioritaskan data komunikasi manusia dibandingkan data komunikasi mesin yang menjadi *urgent* didalam jaringan 5G dan jaringan super padat, karena bercampurnya seluruh data dalam jaringan super padat maka diperlukan *sub-optimal degree distribution* pada grup manusia dan mesin menggunakan bantuan proyeksi *EXIT chart*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Model Sistem Penelitian

Pada masa mendatang jaringan telekomunikasi *wireless* diprediksi akan memiliki tingkat lalu lintas pertukaran data yang padat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 terutama *link* antara *user* dengan *base station* (BS). Sejumlah *user* dari u_1 hingga u_M (manusia dan mesin) transmit paket ke BS untuk selanjutnya masuk ke jaringan internet. Jumlah transmisi dari *user* ke BS dibentuk dari *degree distribution*.



Gambar 2. Struktur Jaringan Super Padat (*Super-dense Network*) dengan Jumlah *User* yang Sangat Besar

Sistem model pada penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 3 yaitu sejumlah *user* dibagi menjadi dua grup manusia dan mesin (*human and machine groups*) sama-sama mengakses *time -slot* secara bebas dan acak (*random*). Lingkaran mewakili *user node* (UN) yang memiliki *degree* ℓ sedangkan kotak mewakili *slot node* (SN) yang memiliki *degree* d . *Erasure probability* yang keluar dari *user* manusia direpresentasikan dengan q^h dan *erasure probability* yang keluar dari *time -slot* manusia adalah p^h , sama halnya dengan grup mesin q^m dan p^m .

Grup manusia ditunjukkan dengan $U_h = U_1^H$ dan grup mesin $U_m = \{U_1^M, U_2^M, \dots, U_9^M\}$ dan total *time-slot* $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{20}\}$. Untuk memprioritaskan grup manusia dilakukan dengan memberikan kebebasan kepada grup manusia untuk mengakses semua *time -slot* sementara pada grup mesin hanya dapat mengakses sebagian *time -slot* saja. Sesuai dengan sistem model pada penelitian ini pada Gambar 3 grup manusia dapat mengakses semua *time -slot* ($t_1 - t_{20}$) sebanyak 20 *time -slot* dan grup mesin hanya dapat mengakses 18 *time -slot* ($t_3 - t_{20}$). Target dari skema CRA dengan prioritas ini adalah untuk memaksimalkan jumlah *user* M , pada penelitian ini jumlah *user* M sangat besar karena terdapat dua grup sementara pada penelitian (Anwar & Hasan, 2015) hanya satu grup saja, sehingga ada penelitian ini total seluruh *user* penjumlahan dari grup manusia dan mesin $M = M_h + M_m$ dan pada CRA sebisa mungkin meminimalkan jumlah *time -slot* N ($N_m < N_h$) sehingga nilai G (*offered traffic*) menjadi maksimal. Pada penelitian ini *offered traffic* (G) grup manusia dan mesin dapat dimaksimalkan karena merupakan penjumlahan dari *offered traffic* grup manusia dan mesin berbeda dengan penelitian (Anwar & Hasan, 2015) yang hanya dapat memaksimalkan *offered traffic* pada satu grup. *Offered traffic* pada prioritas dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

dimana,

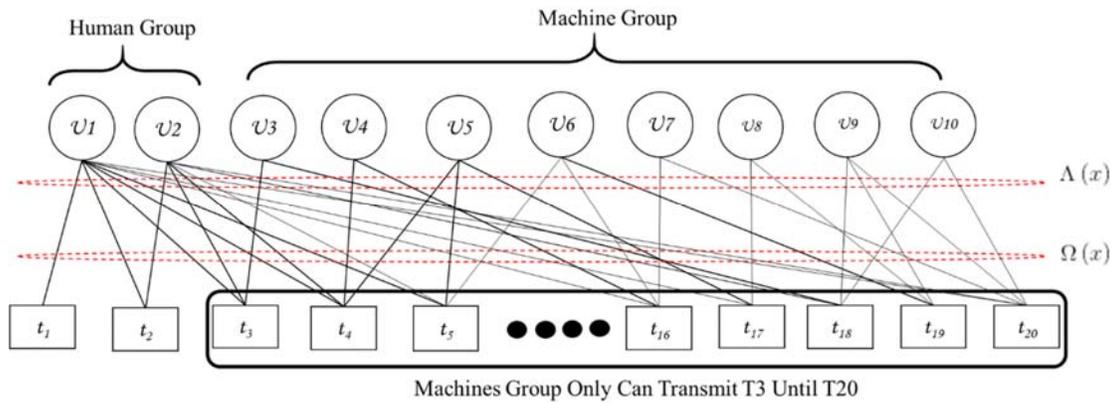
$$G_h = \frac{M_h}{N_h} \quad (2)$$

$$G_m = \frac{M_m}{N_m} \quad (3)$$

G_h dan G_m merupakan *offered traffic* manusia dan mesin.

M_h dan M_m merupakan jumlah *user* manusia dan mesin.

N_h dan N_m merupakan jumlah *time -slot* manusia dan mesin.



Gambar 3. Bipartite-graph CRA dengan Prioritas Manusia

Packet-loss Rate (PLR) merupakan perbandingan sejumlah paket yang gagal dideteksi dengan total paket yang dikirim yang bisa disebabkan hilang diperjalanan atau diterima tapi tidak berhasil dideteksi (Kythe, Prem, 2012).

$$P_L = \frac{b'}{b} \tag{4}$$

Dimana b' merupakan jumlah informasi yang diterima pada *receiver* setelah dilewatkan kanal dan b adalah informasi awal.

Throughput didefinisikan sebagai rasio dari jumlah paket benar diterima (tanpa *error*) dengan jumlah total paket yang dikirimkan termasuk paket yang salah yang dinyatakan dengan

$$\begin{aligned} T_h &= G_h * (1 - P_L^h) \\ T_m &= G_m * (1 - P_L^m) \end{aligned} \tag{5}$$

dimana P_L^h adalah PLR grup manusia dan P_L^m adalah PLR grup mesin. Jaringan super padat dengan teknik prioritas dikatakan berhasil apabila *throughput* pada grup manusia lebih tinggi dibandingkan dengan grup mesin. Total *throughput* dari teknik prioritas ini adalah penjumlahan antara *throughput* grup manusia dan mesin sehingga *throughput* yang dihasilkan dengan teknik prioritas ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian (Anwar & Hasan, 2015) yang tanpa menggunakan teknik prioritas dan pembagian *user*.

2.2 Degree Distribution pada User Node (UN) dan Slot Node (SN)

Degree distribution ini yang menjadi ciri utama dari teknik *multiple access* CRA. *Degree distribution* merupakan distribusi banyaknya transmisi dari *user* dan menjamin proses berlangsungnya transmisi secara terus-menerus tanpa adanya *error* dengan menggunakan bantuan *Successive Interference Cancellation* (SIC) di sisi *receiver*. Dalam SIC terjadi *cancel* interferensi yang berkelanjutan sampai mendapatkan *degree* satu yang artinya *user* yang berada pada *time-slot* tersebut sudah terdeteksi.

Meskipun *slot node* tidak dapat didesain dan dikontrol karena jumlah *time-slot* yang sangat tidak terbatas, namun pada *user node* yang jumlahnya besar dapat didesain dan dikontrol dengan menggunakan *degree distribution*. *Degree distribution* merupakan distribusi banyaknya transmisi dari *user*, digunakan untuk mendapatkan *throughput* yang tinggi dan

untuk menjamin keberlangsungan SIC dapat berjalan terus sampai mendapatkan *degree* satu sehingga semua *user* dapat terdeteksi. *Degree distribution* pada *user node* grup manusia berdasarkan *node-perspective* diekspresikan pada *polynomial* sebagai berikut

$$\Lambda^H(x) = \sum_{\ell=2}^L \Lambda_{\ell}^H x^{\ell} \quad (6)$$

dimana Λ_{ℓ}^H merupakan *fraction* dari UN manusia yang memiliki *degree* ℓ .

Untuk menganalisis performansi jaringan menggunakan *EXIT chart* memerlukan *degree distribution* berdasarkan *edge-perspective* yaitu turunan pertama dari *node-perspective degree distribution* dibagi dengan turunan pertama *node-perspective* dengan memasukkan nilai = 1. *Degree distribution* pada UN grup manusia berdasarkan *edge-perspective* diekspresikan sebagai berikut **(Ni'amah, Anwar, Ramatryana, 2018)**

$$\lambda^H(x) = \frac{\Lambda'(x)}{\Lambda'(1)} = \sum_{\ell=0}^L \lambda_{\ell}^H x^{\ell-1}, \quad (7)$$

Persamaan *degree distribution* tersebut juga diterapkan pada grup mesin Λ^M untuk *node-perspective* dan $\lambda^M(x)$ untuk *edge-perspective*. Dari persamaan *degree* tersebut *rate* pada manusia dan mesin juga dapat ditentukan. *Rate* untuk grup manusia dengan menggunakan *repetition codes* diekspresikan sebagai berikut **(Ni'amah, Anwar, Ramatryana, 2018)**

$$R_h = \frac{1}{\sum_{h=2}^{n_h} \Lambda^H n^H} \quad (8)$$

Sama hal nya *rate* untuk grup mesin diekspresikan dengan R_m .

Degree distribution pada SN, dengan akprosimasi probabilitas pada SN yang memiliki *degree* d . *Degree distribution* pada SN diekspresikan dengan:

$$\psi_d = \binom{M_h}{d_h} \binom{M_m}{d_m} \left(\frac{G_h}{R_h M_h}\right)^{d_h} \left(\frac{G_m}{R_m M_m}\right)^{d_m} \left(1 - \frac{G_h}{R_h M_h}\right)^{M_h - d_h} \left(1 - \frac{G_m}{R_m M_m}\right)^{M_m - d_m} \quad (9)$$

dimana $d = d_h + d_m$. Polynomial *degree distribution* SN diekspresikan dengan

$$\begin{aligned} \Omega(x) &= \sum_{d=0}^M \psi_d x^d = \left(1 - \frac{G_h}{R_h M_h} (1 - x_h)\right)^{M_h} \left(1 - \frac{G_m}{R_m M_m} (1 - x_m)\right)^{M_m} \\ &\approx \exp\left\{-\left(\frac{G_h}{R_h}\right) + \left(\frac{G_m}{R_m}\right) + \frac{G_h}{R_h} x_h + \frac{G_m}{R_m} x_m\right\} \end{aligned} \quad (10)$$

dimana $x = x_h + x_m$. Karena SN jumlahnya tidak terbatas sehingga *degree distribution* SN tidak dapat didesain atau dikontrol oleh karenanya menggunakan polynomial eksponensial.

2.3 Repetition Codes

Penelitian ini mengusulkan skema CRA menggunakan *repetition codes* untuk memprioritaskan data komunikasi manusia dibanding mesin. Kelebihan dari *repetition codes* adalah *low complexity* dan simpel dalam melakukan desain dan dianalisis karena satu bit informasi/paket digandakan untuk dikirimkan ke penerima sehingga paket yang dikirimkan dari pengirim akan sampai dipenerima sesuai dengan paket yang dikirimkan. *Repetition codes* $(n_h, 1)$ artinya paket diulang atau ditransmisiikan sebanyak n_h kali. *Repetition codes* cocok digunakan untuk sensor-sensor yang hanya membutuhkan data *rate* yang rendah karena memiliki *rate* lebih kecil dari 0,5 **(Abbas, Shirvanimoghaddam, 2017)**.

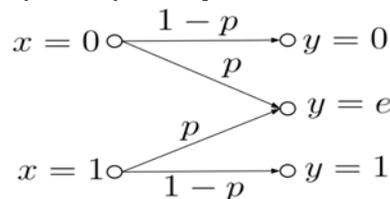
Degree distribution pada *repetition codes* sama seperti Persamaan (11). Erasure probabilitas yang keluar dari UN-manusia pada *repetition codes* diekspresikan sebagai berikut:

$$q^h = \sum_{\ell=2}^{n_c} \lambda_{\ell}^h (p^h)^{\ell-1} \tag{11}$$

dimana λ_{ℓ}^h adalah fraksi UN pada *edge-perspective*. Sama halnya dengan *erasure probability* pada grup mesin yaitu q^m . *Repetition codes* beroperasi pada *rate* $R \leq \frac{1}{2}$, dan *rate* $R > \frac{1}{2}$ untuk kode *maximum distance separable* (MDS), *repetition codes* disimbolkan dengan $(n_h, 1)$ dan kode MDS disimbolkan dengan (n_h, k) (Anwar, Astuti, 2018).

2.4 Binary Erasure Channel (BEC)

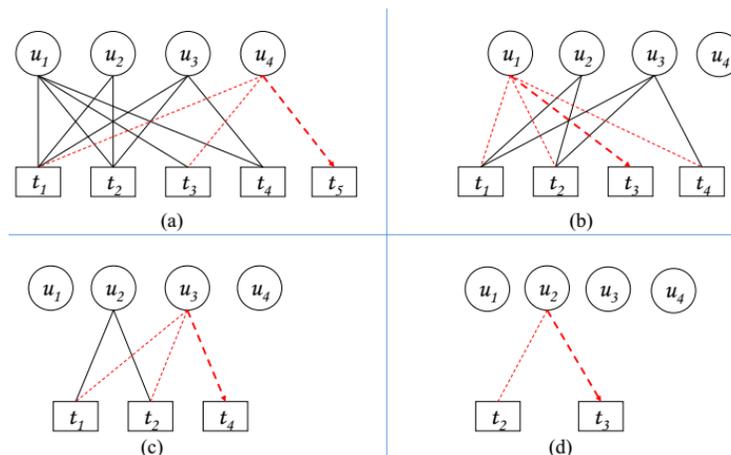
Penelitian ini menggunakan kanal BEC untuk dapat menghasilkan EXIT chart. Dalam suatu link komunikasi, terdapat kemungkinan bahwa data yang diterima oleh receiver mengandung data yang salah (error) (Shokrollahi, 2006), Gambar 4 menunjukkan BEC, dengan erasure probability P, yaitu probabilitas data x hilang dalam transmisi. BEC memiliki nilai P yang biasanya berkisar pada $0 \leq p \leq 1/2$, dengan model masukan yaitu x_1 dan x_2 dan tiga keluaran yaitu y_1, y_2 dan y_3 . Jika dikirimkan paket "0" probabilitas yang diterima adalah "e", hal yang sama berlaku untuk bit "1" (Kythe, Prem, 2012).



Gambar 4. BEC dengan Erasure probability p

2.5 Algoritma Decoding Successive Interference Cancellation (SIC) pada Repetition codes

Algoritma decoding SIC dideskripsikan dengan algoritma yang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan prosedur sebagai berikut (Ni'amah, Anwar, Ramatryana, 2018)



Gambar 5. Langkah-langkah Performansi Decoding yang Dilakukan BS pada Jaringan Super Padat menggunakan Repetition codes

- a. **Langkah 1:** Cari *user* u_i yang terkoneksi dengan salah satu *time -slots* yang memiliki *degree* d . Hapus transmisi sinyal pada *time -slot* t_i tersebut yang terhubung ke u_i sehingga *user* u_i tersebut semua transmisi sinyalnya berhasil dideteksi. Pada Gambar 5(a) *user* u_4 memiliki *degree* 1 yang terhubung dengan t_5 sehingga semua paket pada *user* u_4 telah diterima dengan benar tanpa terjadi *error*.
- b. **Langkah 2:** Ulangi langkah pertama secara berulang sampai tidak lagi ditemukan *degree* $d = 1$. Apabila tidak ditemukan lagi *degree* $d = 1$ maka proses *decoding* berhenti seperti yang ditampilkan pada gambar 5(d) semua *user* berhasil dideteksi. Apabila proses *decoding* berhenti ketika masih ada *user* yang tidak memiliki *degree* 1 maka dikatakan "*stopping set*".

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Hasil Simulasi *EXIT CHART*

Penelitian ini melakukan evaluasi teknik *multiple access* CRA berdasarkan *repetition codes* sebanyak 150 *user* (30 *user* manusia dan 120 *user* mesin) dan jumlah *time slot* ($N=200$) dengan 50 kali percobaan untuk melihat perubahan *degree distribution* agar didapatkan *degree distribution* yang optimal. Untuk mendapatkan hasil yang efisien dan kualitas yang tinggi, dibutuhkan *degree distribution* yang optimal, untuk mendapatkan *degree distribution* optimal dilakukan optimalisasi dengan:

$$\begin{aligned}
 &\text{maximize} && G = G_h + G_m, \\
 &\text{subject to} && N \leq 200 \\
 &&& T_h \geq T_m \\
 &&& \delta \leq 0,1 \\
 &&& f_{SN}(I_{A,SN}) > f_{UN}^{-1}(I_{E,UN})
 \end{aligned} \tag{12}$$

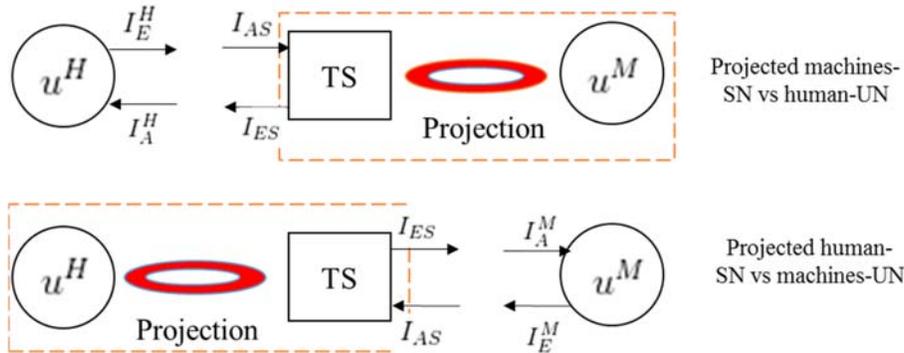
dimana δ merupakan target minimum, f_{SN} dan f_{UN} merupakan kurva dari fungsi *EXIT* SN dan UN.

Dari optimalisasi pada *degree distribution* didapatkan sub-optimal UN *degree distribution* untuk grup manusia dan mesin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Lambda^H(x) &= 0,3x^3 + 0,7x^8, \\
 \Lambda^M(x) &= 0,6x^2 + 0,4x^4,
 \end{aligned} \tag{13}$$

degree distribution pada grup manusia memiliki *rate* $R_h = 0,153$ artinya pada grup manusia 30% dari 100 % *user* manusia mentransmit sebanyak 3 kali ke *time-slot* secara *random* dan 70% lainnya men-transmit 8 kali ke *time-slot* secara random juga atau bebas ke seluruh *time-slot* manapun tanpa dibatasi dan pada grup mesin memiliki *rate* $R_m = 0,375$ dimana 60% dari 100% pada *user* mesin mentransmit sebanyak 2 kali ke *time-slot* secara *random* dan 40% lainnya men-transmit sebanyak 4 kali ke *time-slot* secara random namun hanya dapat men-transmit ke *time-slot* yang dikhususkan untuk grup mesin, untuk *offered traffic* pada grup manusia $G_H = 0,15$ dan grup mesin $G_m = 0,75$. *Rate* pada grup manusia lebih kecil dibandingkan dengan *rate* pada grup mesin karena bertujuan untuk memprioritaskan manusia, *rate* yang lebih rendah memiliki paket data *loss* yang rendah sehingga *error* pada pada paket yang dikirimkan kecil dan *throughput* yang ditinggi dibandingkan dengan *rate* yang tinggi memiliki paket data *loss* yang tinggi dan *throughput* yang lebih rendah.

Untuk mendesain *degree distribution* yang optimal membutuhkan analisis *EXIT chart* berdasarkan UN dan SN *edge-perspective degree distribution*. Karena pada penelitian ini menggunakan dua grup maka diperlukan proyeksi *EXIT chart*. Pada proyeksi *EXIT chart*, *time-slot* pada CRA dipengaruhi oleh iterasi grup manusia dan iterasi grup mesin. Kurva *EXIT* antara UN-grup manusia dengan *time-slot* yang dipengaruhi oleh iterasi grup mesin disebut dengan proyeksi SN-mesin vs UN-manusia karena *time-slot* dari UN-grup manusia juga dipengaruhi oleh *time-slot* dari grup mesin, sebaliknya kurva *EXIT* antara UN-grup mesin dengan *time-slot* yang dipengaruhi oleh iterasi grup manusia disebut dengan proyeksi-SN-manusia vs UN-mesin.



Gambar 6. Iterasi untuk Proyeksi EXIT Chart Grup Manusia dan Mesin

Penelitian ini didesain pada lapisan *network* dari OSI layer, dimodelkan dengan menggunakan kanal BEC sehingga diasumsikan paket yang tabrakan (*collided*) dihapus. Fungsi *EXIT chart* diekspresikan dengan menggunakan *mutual information* untuk grup manusia mutual informasi diekspresikan dengan:

$$\begin{aligned} I_{E,UN}^H &= 1 - q^h \\ I_{A,UN}^H &= 1 - p^h \end{aligned} \tag{14}$$

dimana $I_{E,UN}^H, I_{A,UN}^H$ adalah *extrinsic mutual information* dan *apriori mutual information* pada grup UN-manusia, p^h dan q^h adalah *erasure* probabilitas yang masuk dan keluar ke/dari grup UN-manusia. Mutual informasi ini juga diterapkan untuk grup mesin $I_{E,UN}^M, I_{A,UN}^M$.

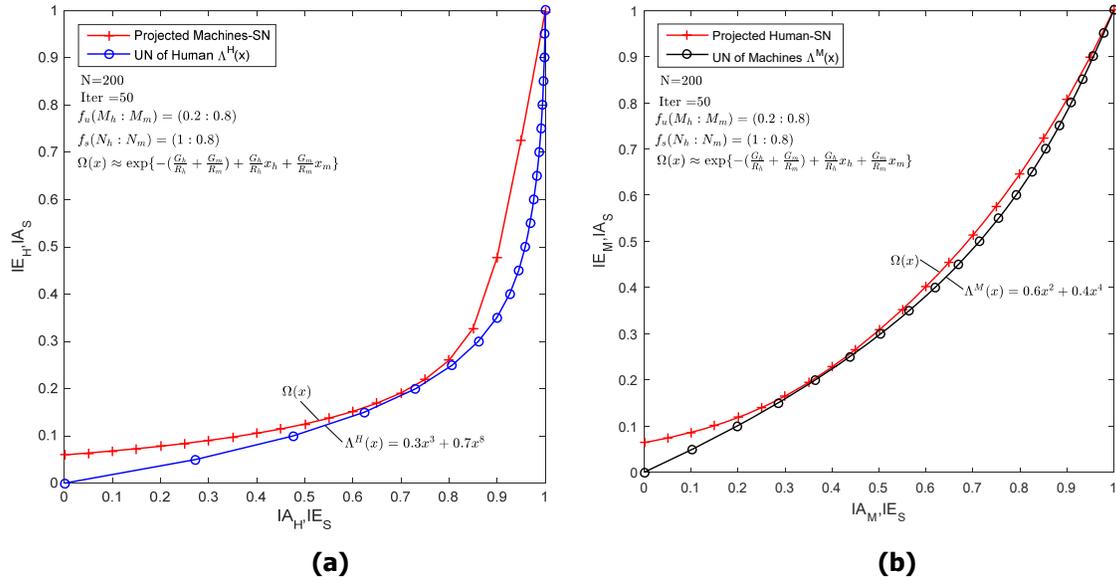
Arah p^h dan q^h diilustrasikan pada Gambar 3 begitu juga dengan grup mesin p^m dan q^m . Hubungan p^h dan q^h diekspresikan untuk UN dan SN.

$$q^h = \lambda^H(p^h) \tag{15}$$

dan

$$1 - p^h = \omega^H(1 - q^h) \cdot \omega^M(1 - q^m) = \exp\left\{-\frac{G_h}{R_h}(1 - q^h) - \frac{G_m}{R_m}(1 - q^m)\right\} \tag{16}$$

Rumus tersebut juga diterapkan pada grup mesin dengan *erasure* probabilitas q^m dan p^h .



Gambar 7. Proyeksi *EXIT Chart* pada: (a) SN-Mesin terhadap UN-Grup Manusia (b) SN Grup Manusia terhadap UN-Mesin yang Memiliki Gap yang Kecil Menunjukkan *Degree* Distribusi yang Optimal

Kurva *EXIT* dievaluasi pada *bipartite graph* untuk grup manusia dan mesin dengan jumlah *time slot* ($N=200$) dengan 50 iterasi. Gambar 7 menunjukkan proyeksi *EXIT chart*, kurva *EXIT* pada grup manusia dan grup mesin UN $\Lambda^H(x)$, $\Lambda^M(x)$ ditampilkan dengan tanda bulat "o" dan proyeksi antara SN-mesin dan SN-manusia ditampilkan dengan tanda positif "+". Kurva *EXIT* pada UN-manusia dan proyeksi antara SN-mesin dan manusia memiliki jarak (gap) yang kecil sehingga memiliki *loss rate* yang kecil begitu juga dengan grup mesin kurva *EXIT* antara UN-mesin dan proyeksi SN-manusia dan mesin memiliki jarak (gap) yang kecil juga sehingga memiliki *loss rate* yang kecil juga sehingga baik proyeksi *EXIT chart* pada grup manusia maupun mesin sama-sama memiliki *loss rate* yang kecil dan *degree distribution* yang diusulkan pada grup manusia dan mesin juga bisa digunakan untuk jaringan masa depan yang super padat.

3.2 Analisis Hasil Simulasi *Packet-loss Rate* (PLR)

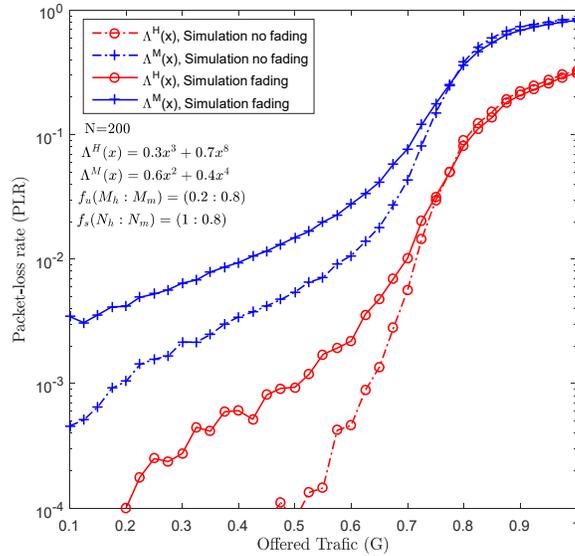
Penelitian ini menggunakan data UN *degree distribution* (manusia dan mesin) dari *nodes perspective* yaitu hasil analisis *EXIT chart* untuk menampilkan PLR secara simulasi. Untuk mengeksplorasi kedinamisan kanal *fading* dari fakta bahwa suatu *edge* dikatakan *drop* atau menghilang ketika daya terima $\gamma = |h|^2$ dibawah power threshold T_h , dengan probabilitas sebagai berikut:

$$P_r(\gamma \leq T_h) = 1 - e^{-\frac{T_h}{r}} \quad (17)$$

untuk kesederhaan analisis $T_h = 0,25$.

Gambar 8 menunjukkan kurva PLR untuk *degree* distribusi $\Lambda^H(x)$, $\Lambda^M(x)$ dengan $N= 200$ dan perbandingan manusia dan mesin 20:80. *Offered traffic* pada PLR 10^{-2} grup manusia tanpa *fading* diperoleh $G=0,7$ paket/*slot* dan dengan *fading* $G= 0,69$ paket/*slot* dan untuk grup mesin

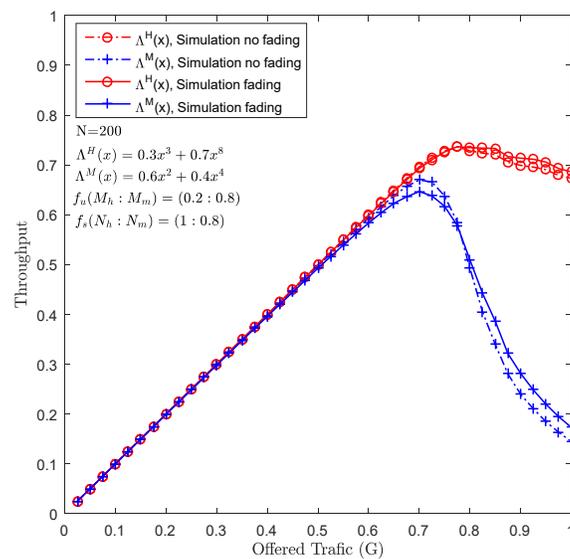
tanpa *fading* dengan $G=0,56$ paket/*slot* dan dengan *fading* $G=0,42$ paket/*slot*. PLR untuk grup manusia lebih bagus dibandingkan dengan grup mesin begitu juga dengan adanya *fading* tetap PLR grup manusia yang lebih bagus dibandingkan mesin dan untuk kasus PLR tanpa *fading* lebih bagus dibandingkan dengan adanya *fading*.



Gambar 8. Grafik Performansi PLR dengan Prioritas untuk N=200

3.3 Analisis Hasil Simulasi *Throughput*

Penelitian ini menggunakan data hasil simulasi PLR. Berdasarkan PLR yang didapatkan pada Gambar 8, *throughput* suatu *network* dikalkulasikan menggunakan Persamaan (5) dan didapatkan grafik *throughput* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Performansi *Throughput* dengan Prioritas untuk N=200

Pada Gambar 9 terlihat jelas puncak *throughput* untuk simulasi *degree distribution* tanpa *fading* dengan $N=200$ pada $G = 0,775$ paket/*slot* dan dengan *fading* $G = 0,736$ paket/*slot* pada grup manusia dan untuk grup mesin tanpa *fading* $G = 0,669$ paket dan dengan *fading* $G = 0,646$ paket. *Throughput* pada grup manusia lebih tinggi dibandingkan dengan grup mesin baik yang tanpa *fading* maupun ada *fading* yang mengindikasikan kesuksesan pada komunikasi data grup manusia lebih tinggi dibandingkan dengan grup mesin.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengusulkan teknik *multiple access* CRA menggunakan *repetition codes* untuk memberikan prioritas pada data komunikasi manusia di jaringan super padat. Dievaluasi dengan menggunakan proyeksi *EXIT chart* untuk mendapatkan *degree distribution* yang paling optimal untuk grup manusia dan mesin. Performansi dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer dan menunjukkan bahwa dengan menggunakan *proyeksi EXIT chart* didapatkan sub-optimal *degree distribution* untuk grup manusia $\Lambda^H(x) = 0,3x^3 + 0,7x^8$, dan untuk grup mesin $\Lambda^M(x) = 0,6x^2 + 0,4x^4$. Evaluasi performansi pada teknik prioritas juga dilihat dari parameter *throughput* yang dihasilkan pada grup manusia tanpa *fading* $T_h = 0,775$ paket/*slot* dengan *fading* $T_h = 0,736$ paket/*slot* dan untuk grup mesin tanpa *fading* $T_m = 0,669$ paket/*slot* dan dengan *fading* $T_m = 0,646$ paket/*slot*.

Dapat disimpulkan dengan melakukan teknik prioritas pada grup manusia bahwa (i) keberhasilan data komunikasi manusia dibandingkan dengan mesin yang dilihat dari *gap* atau jarak antara kurva *user node*-manusia dengan *slot node*-mesin dan sebaliknya pada proyeksi *EXIT chart* yang sangat kecil sehingga menunjukkan *error* yang kecil (ii) Performansi *throughput* pada grup manusia lebih tinggi dibandingkan grup mesin walaupun ada pengaruh dari *fading* dan (iii) Performansi PLR pada manusia juga lebih baik dibandingkan grup mesin walaupun ada pengaruh dari *fading*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Eng Khoirul Anwar yang telah memberikan ide, masukan-masukan dan bimbingan yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Telkom Purwokerto yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Abbas, R., Shirvanimoghaddam, M., Li, Y., & Vucetic, B. (2017). *Random Access for M2M Communications with QoS Guarantees*. *IEEE Transactions on Communication*, 90 (6778), 43–53.
- Anwar, K., & Astuti, R. P. (2016). Finite-length Analysis for *Wireless Super-dense Networks Exploiting Coded Random Access Over Rayleigh Fading Channels*. *IEEE Asia Pacific Wireless and Mobile Conference (APWIMOB)*. (pp. 1–6). Bandung.
- Anwar, K., Juansyah, Syihabuddin. B., & Adriansyah N. M. (2017). *Coded Random Access with Simple Header Detection for Finite Length Wireless*

- IoT Networks. *Eighth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications (IWSDA)*. (pp. 94-98). Japan.
- Kythe, Dave K & Prem, K. (2012). *Algebraic and Stochastic Coding Theory*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- 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)*, (pp. 2175–2180). London.
- ITU-R. (2015). IMT Vision Framework and Overall Objective of the Future Development of Int for 2020 and beyond.
- Liva, G. (2011). Graph-based analysis and optimization of contention resolution diversity slotted ALOHA. *IEEE Trans. on Communications*, *59*(2), 477-487.
- Ni'amah, K., Ramatryana. I. A & Anwar. K. (2018). *Coded Random Access Prioritizing Human Over Machines for Future IoT Networks*. *International Conference on Telematics and Future Generation Network (TAFGEN)*, (pp. 19-24). Malaysia.
- Shokrollahi, A. (2006). Raptor Codes. *IEEE Trans. on Information Theory*, *52*(6), 2551–2567.
- Toni, L., & Frossard, P. (2015). Prioritized *Random* MAC Optimization Via Graph-based Analysis. *IEEE Transactions on Communication*, *63*(12), 1-12.