

## KOMPRESI DAN DEKOMPRESI DATA MENGGUNAKAN PROTOKOL KOMPRESI QUANTUM SCHUMACHER

M. Ramdhan Kirom<sup>1</sup>, Ahmad Rizal D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Sains, Institut Teknologi Telkom

Jl. Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu Bandung 40257

Telp (022)7564108 ext. 22027

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom

Jl. Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu Bandung 40257

E-mail: mrk@ittelkom.ac.id

### ABSTRAK

Konsep mekanika kuantum telah mampu diaplikasikan dalam dunia informasi dan telah menciptakan sebuah teori informasi kuantum. Data dalam konsep informasi kuantum direpresentasikan dalam bentuk quantum bit (qubit). Kompresi data dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam transmisi data tanpa mengurangi kualitas data (lossless). Kompresi kuantum adalah metode kompresi dengan menyatakan data dalam qubit, selanjutnya jumlah qubit direduksi. Kompresi Schumacher merupakan salah satu contoh dari protokol kompresi kuantum. Parameter-parameter yang dianalisa dan dibandingkan untuk sisi pengirim adalah pada rasio dan waktu kompresi, sedangkan untuk sisi penerima adalah akurasi dan waktu dekompresinya.

*Kata Kunci: Kompresi. qubit, Kompresi Schumacher*

### 1. PENDAHULUAN

Prospek dari informasi kuantum adalah kemampuannya untuk memanipulasi data tidak cuma sampai di level  $10^{-7}$  m, tapi telah mencapai level atom, sehingga ukuran dari perangkat dari komputer kuantum nantinya bisa sampai pada skala nanometer. Walaupun teknologi komputer kuantum ini masih dalam tahap pengembangan dan kemungkinan baru bisa diterapkan secara penuh 5-15 tahun ke depan namun simulasi komputer kuantum dapat dibuat di komputer klasik.

Pada komputer kuantum yang digunakan sebagai keadaan "0" dan "1" bukan lagi menggunakan arus listrik, tetapi sudah menggunakan status spin elektron/atom atau polarisasi foton. Meniru istilah komputer klasik, dua keadaan tersebut diberi nama qubit (*quantum bit*), dengan perbedaan dibandingkan bit klasik adalah adanya superposisi dari dua keadaan tersebut. Prinsip komputasi yang berlaku tidak lagi menggunakan prinsip-prinsip komputasi klasik, tetapi prinsip mekanika kuantum di mana qubit tersebut menyatakan fungsi keadaan dari spin elektron yang dinyatakan oleh  $|0\rangle$  dan  $|1\rangle$ . Dalam mekanika kuantum, keadaan spin tidak bisa dipastikan bernilai 0 atau 1 dikarenakan prinsip ketidakpastian Heisenberg. Nilai keadaan hanya dapat diperoleh dari harga ekspektasi atau harga kebolehjadiannya. Nilai kebolehjadian atau *fidelity* dapat diperbesar dengan penggunaan operator uniter untuk merubah keadaan dasar atau basis dari fungsi keadaan tersebut.

Teknik kompresi Schumacher (*Schumacher compression*) ini berdasarkan pada entropi Von Neumann  $S(\rho)$  dari *density matrix*  $\rho$ . Entropi ini merupakan terjemahan untuk kondisi kuantum dari entropi Shannon. Dengan perhitungan entropi ini

dapat menemukan subruang probabilitas tertinggi yaitu  $\Lambda$  yang berdimensi  $N^n$ , dimana  $n$  adalah panjang pesan sebelum dikodekan dan  $N$  adalah banyak nilai tidak-nol dalam satu *density matrix* sehingga qubit yang dikirim dapat dikompresi sebesar  $nS(\rho)$ .

### 2. DASAR TEORI

#### 2.1 Informasi kuantum

Informasi dalam kuantum dinyatakan dalam bentuk qubit berupa fungsi keadaan. Qubit direpresentasikan sebagai Kedua fungsi keadaan ini disebut keadaan dasar  $|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$  dan keadaan

tereksitasi  $|1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$  atau superposisi dari kedua

keadaan tersebut. Sehingga secara umum qubit dinyatakan oleh :

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

dengan  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ . Kedua fungsi keadaan  $|0\rangle$  dan  $|1\rangle$  menyatakan basis vektor dari fungsi keadaan  $|\psi\rangle$ . Dalam menyatakan fungsi keadaan  $|\psi\rangle$  tidak harus menggunakan basis vektor yang ortogonal.

Pemilihan basis vektor yang tidak ortogonal dapat meningkatkan *fidelity* dari qubit yang dicirikan oleh nilai entropi Von Neumann  $S(\rho)$  yang berkurang. Nilai entropi Von Neumann  $S(\rho)$  dinyatakan oleh :

$$S(\rho) = \text{Tr}(\rho \log \rho) \quad (2)$$

dengan  $\rho$  menyatakan *density matrix* :

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| \quad (3)$$

Kompresi kuantum dilakukan dengan menyatakan informasi berupa kumpulan qubit dalam bentuk ruang H berdimensi  $2^n$  dengan  $n$  menyatakan jumlah qubit. Dipilih subruang  $\Lambda$  dari H dengan *fidelity* tertinggi sehingga diperoleh jumlah qubit

yang dikirim lebih lebih kecil daripada informasi aslinya. Besar *fidelity* dinyatakan oleh proyeksi fungsi keadaan  $|\psi\rangle$  terhadap vektor basisnya  $|u_i\rangle$  :

$$F = \sum_i \langle u_i | \psi \rangle \quad (4)$$

Yang menjadi masalah dari teknik kompresi kuantum Schumacher ini adalah penentuan vektor basis yang tepat sehingga dapat dipilih subruang yang mempunyai *fidelity* tinggi. Metode yang dilakukan untuk mencari vektor basis ini menggunakan metode *Quantum Coin Toss*. Metode ini dilakukan dengan menyatakan pasangan vektor basis  $|0\rangle$  dan superposisi dari keadaan  $|0\rangle$  dan  $|1\rangle$ . Selanjutnya dihitung *density matrix* dari fungsi keadaan menggunakan basis vektor di atas. Komposisi spektral dari *density matrix* yang diperoleh merupakan vektor basis yang baru.

## 2.2 Kompresi Kuantum Schumacher

Protokol kompresi kuantum Schumacher dinyatakan dalam proses sebagai berikut :

- Sebagaimana pada kompresi klasik, *source message* dari metode kompresi kuantum juga adalah data teks berbasis ASCII.
- Kemudian akan dilakukan dua kali transformasi untuk merubah tiap huruf dari teks tersebut ke dalam bentuk qubit, yaitu penterjemahan teks ASCII ke 8 bit, lalu bit diubah ke vektor basis orthogonal untuk tiap 3 bit.
- Vektor basis orthogonal tadi diubah lagi ke bentuk basis *Quantum Coin Toss* (QCT) dengan menggunakan operator uniter evolusi  $V$ , evolusi ini untuk memperbesar *fidelity* dalam pengukuran qubit  $|0\rangle$  pada proses dekompresi dan memperkecil entropi.
- Dari  $V$  ditentukan  $E$  yang merupakan operator proyeksi dari  $H$  ke  $\Lambda$  yang berguna sebagai operator *projective measurement* sekaligus pemfilter apakah qubit yang dikirim merupakan *high probable state*. Dari  $E$  ditentukan  $P = Tr(\rho E)$  dan  $Q = I - P$ .
- Untuk hasil *trace post measurement*  $P \neq 0$  (otomatis hasil *trace post measurement*  $Q = 0$ ), maka *post measurement state* tersebut ditransformasi uniter dengan operator  $U$ . Operator ini berguna untuk memetakan *high probable subspace*  $\Lambda \geq nS(\rho)$  pertama qubit yang dikirim dan menjadi qubit standar dengan qubit terakhir  $|0\rangle$ . Hal ini dilakukan untuk rekonstruksi kembali di penerima, lalu kirim  $k$  qubit, sehingga yang dikirim adalah *pure state*.
- Untuk hasil *trace post measurement*  $Q \neq 0$  (otomatis hasil *trace post measurement*  $P = 0$ ) maka kirim  $k$  qubit awal dari *post measurement state* tersebut, sehingga yang dikirim adalah *mixed state*.

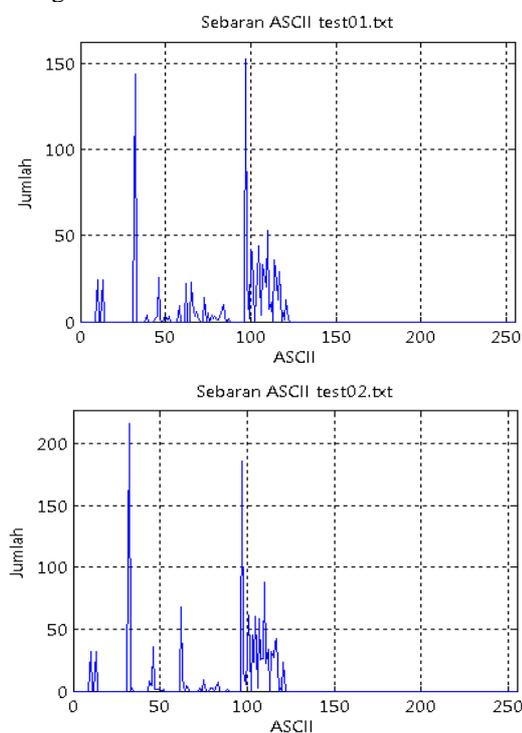
## 2.3 Dekompresi Kuantum Schumacher

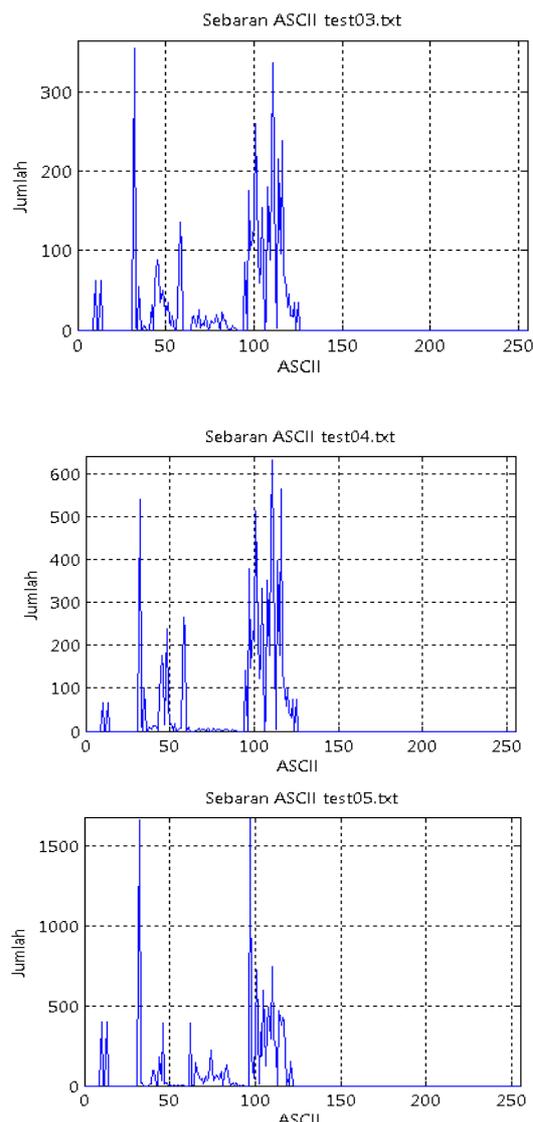
Proses dekompresi kuantum Schumacher dijelaskan sebagai berikut :

- *Mixed state*  $|x'\rangle^{\otimes k}$  dibubuhi  $|0\rangle$  sebanyak  $n - k$  yang kemudian dilakukan *kroncker product* pada keduanya  $\rightarrow |x'\rangle^{\otimes k} \otimes |0\rangle^{\otimes n-k}$ .
- Dilakukan pengukuran *fidelity* dengan menggunakan qubit *pure state*.
- Setelah itu dibandingkan hasil *fidelity* tersebut untuk tiap kemungkinan qubit diperoleh fungsi keadaan yang nanti akan dicocokkan kembali oleh penerima dengan asumsi pengukuran *fidelity* ini diketahui pada sisi pengirim (A) dan penerima (B), sehingga bisa diambil keputusan secara klasik informasi bit apa yang direpresentasikan oleh qubit *mixed state* yang telah dikirim, tanpa perlu merekonstruksi *pure state* qubit aslinya, dalam hal ini disebut sebagai *quantum look-up table*.

## 3. HASIL SIMULASI

Metode kompresi kuantum Schumacher dilakukan untuk data berupa teks yang terdiri dari 5 data teks dengan sebaran ASCII seperti pada gambar 1. Selain itu, sebagai pembanding dilakukan proses kompresi/dekompresi klasik menggunakan Rice Coding.





Gambar 1. Sebaran karakter ASCII untuk data text yang terdiri dari 5 file data teks

Sedangkan hasil kompresi kuantum dibandingkan dengan kompresi klasik dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2. Sedangkan perbandingan waktu proses dengan ukuran file dapat dilihat pada tabel 3. Dari tabel 1 diketahui bahwa kompresi kuantum dengan metode Schumacher lebih baik daripada metode Rice Coding dalam hal ukuran file rata-rata hasil kompresi, yaitu untuk metode Rice Coding sebesar 31700 bit sedangkan metode Schumacher hanya 30757 qubit. Namun untuk kasus file 'test02.txt' kompresi Rice Coding lebih baik daripada kompresi Schumacher dikarenakan kompresi kuantum Schumacher tidak memperhatikan sebaran data terlebih dahulu namun hanya memaksimalkan *typical subspace* dengan cara memodifikasi basis qubit 2 levelnya untuk memaksimalkan *fidelity measurement*, sedangkan kompresi klasik Rice Coding memanfaatkan *typical space* dari sebaran datanya.

Dari tabel 2 menunjukkan rasio kompresi kuantum yang konstan dan rasio kompresi klasik yang fluktuatif. Data tersebut memperlihatkan bahwa untuk kompresi klasik kemungkinan hilang data selalu terjadi, sedangkan pada kompresi kuantum tidak akan terjadi dengan syarat batasan entropi Von Neumann dipatuhi. Jika nilai entropi lebih kecil dari entropi Von Neumann maka ada kemungkinan data yang diterima berupa qubit yang tidak sesuai dengan data yang dikirimkan.

Tabel 1. Perbandingan hasil kompresi kuantum dan klasik.

Nama File	Bit Awal	Qubit Awal	Bit Kompresi	Qubit Kompresi
test01.txt	7984	7986	5494	5324
test02.txt	10344	10344	6359	6896
test03.txt	36216	36216	25630	24144
test04.txt	66264	66264	45657	44176
test05.txt	109864	109866	75361	73244

Tabel 2. Perbandingan rasio kompresi klasik dengan kompresi kuantum

Nama File	Rasio Klasik	Rasio Kuantum
test01.txt	0.688	0.667
test02.txt	0.615	0.667
test03.txt	0.707	0.667
test04.txt	0.689	0.667
test05.txt	0.685	0.667

Tabel 3. Perbandingan waktu kompresi klasik dengan kompresi kuantum

Nama File	Waktu Kompresi Rice Coding	Waktu Kompresi Schumacher	Rasio Waktu
test01.txt	0.14 detik	0.0447 detik	3,132
test02.txt	0.172 detik	0.0494 detik	3,484
test03.txt	0.5 detik	0.0667 detik	7,519
test04.txt	0.891 detik	0.0729 detik	12,20
test05.txt	1.406 detik	0.0776 detik	18,18

Tabel 3 memperlihatkan kelebihan yang sangat signifikan dari waktu kompresi dengan metode kompresi kuantum *Schumacher*. Semakin besar data yang diproses penghematan waktunya semakin meningkat secara eksponensial. Hal ini disebabkan sifat paralelisme komputasi kuantum sehingga pemrosesan data yang semakin banyak menghasilkan efisiensi waktu yang makin besar. Signifikansi penghematan waktu proses ini bisa ditinjau dari rasio waktu kompresi, rasio ini didapat dengan membagi waktu proses kompresi kuantum dengan kompresi klasiknya untuk tiap *source message*. Dengan demikian, untuk pengolahan kompresi data yang sangat besar kompresi kuantum lebih menguntungkan. Hal ini dapat diteliti untuk data selain teks, seperti suara dan gambar.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa rasio kompresi untuk kompresi klasik atau kompresi kuantum tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Rasio kompresi kuantum bernilai konstan sebagai akibat dari batasan nilai minimum dari entropi Von Neumann. Tetapi dalam kaitan dengan waktu kompresi, ternyata waktu kompresi menggunakan kompresi kuantum lebih singkat dibandingkan dengan kompresi klasik, terutama untuk data yang makin besar. Rasio perbandingan waktu kompresi klasik dengan waktu kompresi kuantum naik secara eksponensial dengan bertambahnya jumlah data.

## PUSTAKA

- Agrianto, Yanardian. (2005). *Analisis dan Simulasi Kinerja Protokol B92 Untuk Distribusi Kunci Pada Kriptografi Kuantum*, Jurusan Teknik Elektro STT Telkom, Bandung
- Bennett, C. H., (1995), *Quantum Information and Computation*, Physics Today, 24 - 30
- Bjelacovic, I. (2004). Disertasi : *Limit Theorems for Quantum Entropies*, Universitas Berlin, Jerman
- Brotosiswojo, B. S. (2006). *Pengantar Teori Komputasi Kuantum*. Penerbit ITB, Bandung
- Hayden, P., Jozsa, R., Winter, A., (2002), *Trading Quantum for Classical Resources in Quantum Data Compression*, J. of Math. Phys., vol. 43, no. 9, 4404
- Horodecki, M., Oppenheim, J., Winter, A., (2005), *Partial Quantum Information*, Nature Let., vol. 436, 673-676
- Jozsa, R. (2004). *Illustrating The Concept Of Quantum Information*, IBM J. Res. & Dev., Vol. 48, No. 1
- Nielsen, M. A., Chuang, I. L. (2002). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press. UK.
- Petz, D., Mosonyi, M., 2001, *Stationary Quantum Source Coding*, J. of Math. Phys., vol. 42, no. 10, 4857
- Reif, J. H., Chakraborty, S. (2007). *Efficient and Exact Quantum Compression*, Information & Computation, 205, 967-981
- Williams, C. P., Clearwater, S. H. (1997). *Explorations in Quantum Computing*. Springer-Verlag New York. USA