

**TELEPORTASI KUANTUM INFORMASI SATU DAN DUA QUBIT
MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT**

SKRIPSI

Oleh:
SOFIA RANI
NIM. 19640032



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**TELEPORTASI KUANTUM INFORMASI SATU DAN DUA QUBIT
MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
Sofia Rani
NIM. 19640032**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

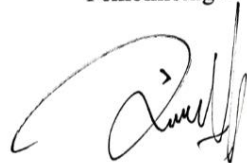
TELEPORTASI KUANTUM INFORMASI SATU DAN DUA QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT

SKRIPSI

Oleh:
Sofia Rani
NIM. 19640032

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 4 Desember 2023

Pembimbing I



Arista Romadani, M.Sc.
NIP. 19900905 201903 1 018

Pembimbing II



Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes.
NIP. 19750808 199903 1 003

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Muhammad Tazi, M.Si.
NIP. 19740730200312 1 002


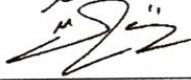


HALAMAN PENGESAHAN

TELEPORTASI KUANTUM INFORMASI SATU DAN DUA QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT

SKRIPSI

Oleh:
Sofia Rani
NIM. 19640032

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarja Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 4 Desember 2023

Penguji Utama :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si.</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Muhammad Taufiqi, M.Si</u> LB 64021	
Sekretaris Penguji :	<u>Arista Romadani, M.Sc.</u> NIP. 19900905 201903 1 018	
Anggota Penguji :	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes.</u> NIP. 19750808 1999031 003	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Muhammad Tazi, M.Si.
NIP. 19740730200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : SOFIA RANI
NIM : 19640032
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Teleportasi Kuantum Informasi Satu dan Dua Melalui
Keadaan Terbelit Tiga Qubit

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 Desember 2023

Yang Membuat Pernyataan



Sofia Rani

NIM. 19640032

MOTTO

“Teruslah belajar. Jangan hanya terpaku pada apa yang kamu pahami saat ini, karena hal itu masih terbatas. Bisa saja di luar sana masih ada wilayah ilmu yang belum kita jelajahi dan teori yang belum ditemukan”

Bpk. Agus Mulyono

“Semangat sampai Tujuan”

Bapak dari penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puja dan puji tiada henti saya panjatkan kepada Allah SWT, yang atas petunjuk dan limpahan rahmatNya selama ini. Telah memberikan kekuatan kepada saya untuk terus memiliki semangat serta keinginan mempelajari setiap ilmuNya. Dengan sebab ini Saya bisa menyelesaikan karya yang sedang anda baca. Shalawat serta Salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Karya sederhana ini, saya persembahkan spesial kepada kedua orang tua, guru-guru, teman, dan orang-orang baik yang tiada henti mendoakan kelancaran studi saya, yang tanpa doa mereka mungkin saya tidak akan bisa sampai di titik ini. Mereka adalah orang-orang baik yang telah memberikan banyak pembelajaran dalam hidup. Sebab ilmu dari mereka-mereka yang saya temui baik di bangku pendidikan ataupun di luar itu, menjadi bekal saya untuk terus melangkah.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Teleportsi Quantum Informasi Satu dan Dua Qubit Melalui Keadaan Terbelit Tiga Qubit”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Arista Romadani, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Skripsi dan Dosen Fisika Teori Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu penulis dalam proses pembelajaran mengenai fisika teori.
3. Muhammad Taufiqi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi dan Dosen Fisika Teori Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya untuk memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes. selaku Dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Quran.
5. Drs. Abdul Basid, M.Si. selaku Dosen Penguji yang senantiasa memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi dan ilmu pengetahuan.
6. Kedua orang tua saya, Bapak Dwi Susanto dan Ibu Siti Munyasaroh dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.

7. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengajarkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
8. Segenap ustad-ustadzah dari Pondok Pesantren Daruzzahra yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan serta doa barokah bagi penulis selama ini.
9. Teman-teman dekat yang telah membantu (Imala, Nindia, Regita, Tata, Pipit, Ulfa, Ursil, dan Afi) memberikan semangat dan membagi sebagian pengetahuannya saat proses penulisan skripsi.
10. Teman-teman angkatan 2019 serta *Seseorang* yang saya sebutkan dalam doa.
11. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 17 Desember 2023

Penulis

Sofia Rani

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
المخلص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Aljabar Linier	7
2.1.1 Ruang Vektor	7
2.2 Notasi Dirac	8
2.3 Qubit (Quantum Bit)	10
2.3.1 Perkalian Dalam	13
2.4 Matriks	15
2.5 Keterbelitan Quantum	16
2.5.1 Alice dan Bob	16
2.5.2 Perkalian Tensor	17
2.5.3 Keadaan Terbelit	19
2.5.4 Teorema Tanpa Penyalinan	20
2.6 Teleportasi Kuantum	22
2.7 Postulate Mekanika Kuantum	30
BAB III TELEPORTASI QUANTUM SATU QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT	
3.1 Kanal Terbelit	33
3.1.1 Kanal Terbelit GHZ (Grennberger, Horne, and Zeilinger)	33
3.1.2 Kanal Terbelit W	33
3.1.3 Kanal Terbelit GHZ-Like	33
3.2 Teleportasi Kuantum Satu Qubit	33

3.2.1 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ	33
3.2.2 Pengiriman Keadaan Terbelit W	38
3.3.3 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ-Like	41
BAB IV TELEPORTASI KUANTUM DUA QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT	
4.1 Teleportasi Kuantum Dua Qubit	50
4.1.1 Informasi Dua Qubit Khusus	50
4.1.1.1 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ	50
4.1.1.2 Pengiriman Keadaan Terbelit W	56
4.1.1.3 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ-Like.....	62
4.1.2 Informasi Dua Qubit Sembarang.....	69
4.1.2.1 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ	69
4.1.2.2 Pengiriman Keadaan Terbelit W	70
4.1.2.3 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ-Like.....	73
4.2 “Teleportasi” Dalam Al-Qur’an	76
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Keadaan qubit	11
Gambar 2.2	Keadaan kucing Schrödinger diekpresikan dalam bra-ket	12
Gambar 2.3	Keadaan Bob	17
Gambar 2.4	Keadaan Alice	17

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Keadaan sistem S_{AB}	17
Tabel 2.2	Operator yang digunakan Bob.....	13
Tabel 3.1	Skema satu qubit via kanal GHZ.....	36
Tabel 3.2	Skema satu qubit via kanal W	40
Tabel 3.3	Skema satu qubit via kanal GHZ-Like	45
Tabel 4.1	Skema dua qubit khusus via kanal GHZ	48
Tabel A.1	Skema terbelit kanal GHZ.....	86
Tabel A.2	Skema terbelit kanal W	88
Tabel A.3	Skema terbelit kanal GHZ-Like	91
Tabel B.1	Skema terbelit kanal GHZ.....	93
Tabel B.2	Skema terbelit kanal W	105
Tabel B.3	Skema terbelit kanal GHZ-Like	108
Tabel B.4.1	Skema terbelit kanal GHZ.....	109
Tabel B.4.2	Skema terbelit kanal W	111
Tabel B.4.3	Skema terbelit kanal GHZ-Like	114

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	TABEL KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT UNTUK MENGIRIMKAN INFORMASI SATU QUBIT.	86
Lampiran B	TABEL KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT UNTUK MENGIRIMKAN INFORMASI DUA QUBIT	93

ABSTRAK

Rani, Sofia. 2023. **Teleportasi Quantum Informasi Satu dan Dua Qubit Melalui Keadaan Terbelit Tiga Qubit**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Arista Romadani, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes.

Kata Kunci: Kanal terbelit, Qubit, Skema, Probabilitas, Efisiensi

Pada tugas akhir ini, telah dibuat perumusan teleportasi kuantum informasi satu dan dua qubit melalui keadaan terbelit tiga qubit. Informasi telah dibuat untuk satu qubit, dua qubit khusus, dan dua qubit sembarang. Serta dipersiapkan keadaan kanal terbelit maksimal (GHZ, W, dan GHZ-Like) dan basis pengukuran (basis Bell, Hadamard, Komputasional, GHZ, dan W). Sehingga berdasarkan perumusan tersebut dapat diperoleh skema-skema yang mampu mengirimkan informasi satu dan dua qubit. Informasi satu qubit dan dua qubit khusus tidak terbelit dapat dikirim melalui kanal terbelit tiga qubit (GHZ, W, dan GHZ-Like). Informasi dua qubit khusus terbelit hanya dapat terkirim melalui kanal GHZ. Informasi dua qubit sembarang tidak dapat dikirim melalui kanal tiga qubit (GHZ, W, dan GHZ-Like). Selain itu diperoleh nilai probabilitas dan efisiensi dari keberhasilan informasi yang terkirim, dengan hasil yang bervariasi.

ABSTRACT

Rani, Sofia. 2023. **Quantum Teleportation Information One and Two Qubit Through Three Qubit Entangled State**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor: (I) Arista Romadani, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes

Keywords: Entangled Canal; Qubit; Schemes; Probability; Efficiency

In this project, a formulation of quantum teleportation has been made for one and two qubit through three qubit entangled state. The formulation has been produced for one qubit, two spacial qubites, and two arbitrary qubit. As well as preparing the state of the maximum entangled state (GHZ, W, and GHZ-Like) and the measurement base (basis Bell, Hadamard, Komputasional, GHZ, dan W). thus, on the basis of the formulation can be obtained schemes that can transmit information one and two qubits. Information one qubit and two spacial unentangled qubit can be sent through three qubit entangled state (GHZ, W, dan GHZ-Like). Information two spacial unentangled qubit can only be sent through the GHZ channel. Information two arbitrary qubit can not be sent through three qubit entangled state (GHZ, W, dan GHZ-Like). in addition, the probability and efficiency values of the success of the information sent are obtained, with variable results.

المخلص

راني، صافيا. 2023. معلومات النقل الفضائي الكمي واحد واثنين من الكيوبتات من خلال الحالة المتشابكة لثلاثة كيوبتات. البحث الجامعي. برنامج دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) أرسنا رمضان، الماجستير (2) الدكتور الحاج أغوس مليونو، الماجستير.

الكلمات الأساسية: القنوات المتشابكة، الكيوبتات، مخطط، احتمال، كفاءة

في هذا المشروع النهائي، تمت صياغة النقل الآني الكمي للمعلومات واحد أو اثنين من الكيوبتات من خلال ثلاث حالات متشابكة من الكيوبتات. تم إنشاء معلومات الكيوبت واحد، واثنين من الكيوبتات الخاصة، واثنين من الكيوبتات العشوائية. وكذلك إعداد شروط القناة القصوى للتشابك (GHZ ، W ، و GHZ -Like) وقواعد القياس ($Bell$ ، $Computational$ ، $Hadamard$ ، GHZ ، و W). لذلك، بناءً على هذه الصيغة، يمكن الحصول على مخططات قادرة على نقل معلومات واحدة أو اثنين من الكيوبتات. يمكن إرسال معلومات خاصة غير متشابكة ذات 1 كيوبت و 2 كيوبتات عبر قنوات متشابكة ثلاثية الكيوبتات (GHZ ، W ، و GHZ -Like). لا يمكن إرسال معلومات اثنين من الكيوبتات المتشابكة الخاصة إلا عبر قناة GHZ . لا يمكن إرسال معلومات أي اثنين من الكيوبتات عبر قناة ثلاثية الكيوبتات (GHZ و W و GHZ -like). عدا عن ذلك، يتم الحصول على قيم الاحتمالية والكفاءة من نجاح المعلومات المرسل، بنتائج متفاوتة

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya ilmu pengetahuan sejalan dengan perkembangan ilmu fisika kuantum yang telah mengubah pandangan teori klasik berukuran makroskopis bersifat deterministik menjadi tingkatan terkecil menuju sifat probabilitas. Semua dimulai sampai akhir abad 19. Fisika yang saat itu dikenal sebagai fisika klasik memiliki dua cabang utama, yaitu mekanika klasik Newtonian dan teori medan elektromagnetik Maxwellian (Khuzaimah et al., 2018a). Kini mengalami perkembangan revolusioner, salah satunya adalah fisika kuantum yang mempelajari pemahaman terhadap objek mikro yang dipelopori oleh beberapa ilmuwan seperti Paul Dirac, Erwin Schrödinger, Max Planck, Werner Heisenberg dan lain-lain. Perkembangan cabang fisika ini terjadi karena beberapa fenomena fisis tidak dapat dijelaskan pada fisika klasik. Seperti dualisme gelombang-partikel, radiasi benda hitam, efek fotolistrik hingga spektrum atom hidrogen (Khuzaimah et al., 2018).

Pada tahun 1900, Max Planck memperkenalkan kuantisasi energi kuantum mengenai radiasi benda hitam yang bernilai diskrit. Selanjutnya di tahun 1926, Erwin Schrödinger memperkenalkan persamaan dualisme gelombang-partikel. Persamaan gelombang tersebut menjelaskan keadaan fisis dari sistem kuantum dan dianggap sebagai teori yang lengkap (Purwanto, 2018).

Pada awal perkembangan teori kuantum banyak ilmuwan tidak setuju dengan penjelasan yang ada. Diantaranya adalah Albert Einstein, bersama dua rekannya Boris Podolsky dan Nathan Rosen (dikenal sebagai paradoks EPR) dalam jurnalnya yang

terbit tahun 1935 mempertanyakan tentang kelengkapan perumusan mekanika kuantum disebabkan tidak dapat dijelaskannya prinsip lokalitas dan elemen realitas sebagai syarat kelengkapan dari suatu teori dalam menjelaskan fungsi persamaan gelombang. Pertama, prinsip lokalitas menyatakan bahwa sebuah sistem akan dipengaruhi langsung oleh sistem disekitarnya. Namun, apabila terpisah dalam jarak yang tak terbatas maka pengukuran satu sistem tidak akan mempengaruhi sistem yang lainnya. Kedua, elemen realitas menyatakan apabila diberikan suatu persamaan gelombang yang mengandung kuantitas momentum dianggap sebagai konstanta dan kuantitas koordinat dianggap sebagai variabel, kemudian dilakukan pengukuran maka akan diperoleh nilai dari momentum itu maka momentum dikatakan elemen realitas. Namun, apabila dilakukan pengukuran koordinat atau posisi suatu sistem maka nilai dari posisi tidak dapat diprediksi secara pasti karena bernilai probabilitas. Kedua syarat tersebut tidak terpenuhi dalam teori mekanika kuantum sehingga memungkinkan dibutuhkan suatu variabel tersembunyi (*hidden variable*) agar menjadi persamaan yang lengkap (Einstein, 1935).

Hal yang dijelaskan dalam jurnal EPR mengenai persamaan gelombang mekanika kuantum mendeskripsikan saat ada dua partikel berinteraksi kemudian dipisahkan dalam jarak yang sangat jauh seharusnya sudah tidak berada dalam keadaan lokal menghadirkan sebuah gagasan yang dilakukan oleh John S. Bell, ilmuwan yang bekerja di CERN menjelaskan bahwa tidak ada *hidden variable* seperti yang dikemukakan EPR. Suatu kesimpulan didapat bahwa pengukuran jarak jauh dapat terjadi dan berada dalam keadaan lokal dan terbelit (*entangled*). Artinya, ketika keadaan suatu sistem dipengaruhi maka keadaan lain secara spontanitas akan terpengaruh. Prinsip inilah yang

akan menjelaskan teleportasi kuantum dapat dilakukan jika dalam keadaan terbelit (BELL, 2001). “Keterbelitan” (*entanglement*) atau dalam literatur lain disebut “keterikatan” merupakan kata yang sebelumnya tidak muncul dari dari ketiga ilmuwan EPR. Setelah jurnal EPR terbit, Erwin Schrödinger menulis surat kepada Einstein bahasa Jerman di mana ia menuliskan kata *Verschränkung* (yang kemudian diartikan sebagai keterbelitan). Einstein kemudian mencemooh keterbelitan sebagai "*spukhafte Fernwirkung*" atau "aksi seram di kejauhan" (*spooky action at the distance*). Jika pengukuran momentum dilakukan pada partikel dan hasilnya $p_1 = p$ maka momentum partikel kedua akan bernilai $p_2 = -p$ (de Ronde & Massri, 2018).

Dalam memahami aksi seram (*spooky*) yang dimaksud, penting untuk memahami prinsip kuantum superposisi. Kuantum superposisi adalah sebuah gagasan dimana partikel berada dalam banyak keadaan (*state*) sekaligus. Ketika dilakukan pengukuran, akan memberikan hasil seolah-olah partikel memilih salah satu keadaan superposisi. Ambil permissalan, suatu partikel memiliki komposisi spin atas atau spin bawah dalam orientasi posisi tertentu. Keadaan ini secara bersamaan berada dalam superposisi spin atas dan spin bawah sampai ada pengukuran keadaan partikel tersebut. Kejadian tersebut dapat dikaji dari Al-Quran An-Nisa ayat 4 sebagai berikut:

انَّ اللَّهَ لَا يَظْلِمُ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ وَإِنْ تَكَ حَسَنَةً يُّضْعِفْهَا وَيُؤْتِ مِنْ لَدُنْهُ أَجْرًا عَظِيمًا

“Sesungguhnya Allah tidak akan menzalimi (seseorang) walaupun sebesar zarah. Jika (sesuatu yang sebesar zarah) itu berupa kebaikan, niscaya Allah akan melipatgandakannya dan memberikan pahala yang besar dari sisi-Nya.”

Dalam ayat tersebut, Allah mengingatkan kita agar selalu berbuat baik. Setiap kebaikan yang dikerjakan tidak akan dikurangi pahalanya walaupun hanya sebesar

zarah. Setiap kebaikan yang dikerjakan dengan niat yang ikhlas, oleh Allah akan diberikan pahala berlipat ganda. Dalam penyebutan jumlah pahala yang didapat, beberapa ayat lain dijelaskan dengan cara yang berbeda (seperti surat Al Baqarah: 261 dan Al-An'am: 160). Hal yang membuat ayat ini istimewa adalah Kata “ذَرَّةٌ” memiliki arti atom, yaitu zat terkecil penyusun materi. Menjadi petunjuk mengenai karakteristik partikel atom yang berhubungan dengan kata ‘ganda’, dalam artian berpasangan. Seolah-olah memberikan petunjuk tentang keberadaan atom yang terbelit.

Keterbelitan kuantum merupakan fenomena fisik persamaan fungsi gelombang ketika qubit-qubit saling berkorelasi satu sama lain. Keterbelitan memiliki kemampuan aneh sekaligus bermanfaat yang membuat komputer kuantum mampu bekerja lebih cepat daripada computer klasik. qubit (kuantum bit) sebagai satuan dasar informasi kuantum dengan notasi komputasional standar $|0\rangle$ dan $|1\rangle$. Perbedaan utama dari bit-bit klasik dengan qubit kuantum adalah memungkinkan membentuk kombinasi linear dari keadaan $|0\rangle$, $|1\rangle$, dan $|0\rangle$ sekaligus $|1\rangle$, yang disebut superposisi (Anita, 2021). Qubit dapat “terbelit” dan dapat memberikan informasi kuantum tersembunyi yang tidak terjadi pada ranah klasik. Implementasi yang bisa diberikan dari sistem qubit adalah keadaan elektron spin “atas” $|0\rangle$ dan spin “bawah” $|1\rangle$ (Hughes et al., 2021).

Teleportasi kuantum pertama kali diusulkan oleh Charless H. Bennet dan kawan-kawannya melalui jurnal yang mereka buat. Dalam jurnal tersebut peristiwa teleportasi kuantum dilakukan dengan mengirimkan partikel satu qubit menggunakan kanal (saluran terbelit) dua qubit yang disebut keadaan EPR (Bennet *et al*, 1993). Namun, saluran yang digunakan masih dalam bentuk yang sederhana. Penelitian lain dilakukan

pada satu qubit telah berhasil dilakukan menggunakan kanal terbelit tiga qubit keadaan GHZ (Gorbachev & Trubilko, 1999). Kemudian kanal dua qubit khusus dan sembarang, memberikan hasil bahwa probabilitas keberhasilan pengiriman qubit satu sebesar $\frac{1}{4}$ untuk empat suku dan $\frac{1}{9}$ untuk tiga suku untuk keadaan khusus, dan probabilitas $\frac{4}{25}$ untuk dua suku pada keadaan khusus (Januriyanto, 2017). Dilakukan juga teleportasi kuantum sistem terkontrol keadaan dua qubit sembarang menghasilkan 30 variasi pengukuran pasangan uniter positif-negatif, dan 2 variasi lainnya tidak berhubungan (Yuwana et al., 2017).

Pada penelitian ini akan diberikan variasi berupa penambahan kanal terbelit, serta menghitung nilai probabilitas dan efisiensi sistem teleportasi kuantum. Informasi yang digunakan merupakan partikel khusus dan sembarang yang ternormalisasi dan akan dibangun skema teleportasi kuantum secara matematis notasi Dirac bra-ket. Hasil akhir yang diharapkan dari penelitian ini yaitu keberhasilan skema protokol yang dibangun dalam melakukan teleportasi informasi kuantum yang kemudian hasil tersebut dapat dibandingkan dengan keadaan skema lainnya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menganalisa dan membangun skema protokol teleportasi kuantum menggunakan kanal terbelit tiga qubit?
2. Bagaimana menganalisa dan menghitung nilai probabilitas dari protokol yang sudah dibangun?

3. Bagaimana menganalisa dan menghitung nilai efisiensi dari protokol yang sudah dibangun?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui skema protokol teleportasi kuantum menggunakan kanal tiga qubit.
2. Untuk mengetahui nilai probabilitas dari protokol yang sudah dibangun.
3. Untuk mengetahui nilai efisiensi dari protokol yang sudah dibangun

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Skema yang digunakan dalam teleportasi kuantum informasi satu dan dua qubit melalui keadaan terbelit tiga qubit menggunakan komunikasi sistem satu arah.
2. Keadaan kanal yang diukur adalah keadaan murni (*pure state*), serta segala gangguan (*noise*) dan efek dekoheren diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat bermanfaat dalam memberikan informasi dan pemahaman untuk menteleportasikan keadaan informasi satu dan dua qubit satu arah melalui keadaan terbelit tiga qubit. Serta sebagai bahan

rujukan dan ide dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang informasi kuantum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aljabar Linier

Aljabar linear adalah ilmu yang mempelajari sebuah ruang vektor dan operasi linear yang bekerja dalam vektor tersebut. Hal ini merupakan langkah awal dalam memahami mekanika kuantum (Nielsen, 2011). Setelah ini akan dijabarkan standar penggunaan aljabar linear yang akan digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

2.1.1 Ruang Vektor

Diberikan elemen P sebagai suatu bidang, yang menghimpun operasi penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian. Ruang vektor adalah himpunan dimana dilakukan operasi penjumlahan dua vektor dan sebuah perkalian dari elemen P , disebut skalar (Nakahara, 2015).

Definisi 2.1. Suatu ruang vektor V merupakan himpunan dengan sifat-sifat sebagai berikut:

- Untuk setiap $u, v \in V$, dengan penjumlahan $u + v \in V$.
- Untuk setiap $c \in V$ dan $c \in P$, dengan perkalian skalar $uc \in V$.
- $(u + v) + w = u + (v + w)$ untuk setiap $u, v, w \in V$.
- $u + v = v + u$ untuk setiap $u, v \in V$
- Untuk elemen $0 \in V$ dimana $u + 0 = u \in V$ untuk setiap $u \in V$
- Untuk elemen $u \in V$, dimana elemen lain $v \in V$ dengan $u + v = 0$. Vektor v disebut inverse dari u dan dituliskan dengan $-u$

- $c(x + y) = cx + cy$ untuk setiap $c \in P$, $u, v \in V$.

2.2 Notasi Dirac

Simbol yang digunakan dalam mekanika kuantum diberikan oleh Dirac dalam sebuah buku karangannya berjudul *The Principle of Quantum Mechanics* yang terbit tahun 1930, hingga saat ini disebut Notasi Dirac. salah satu notasi yang ditemukan oleh Dirac adalah notasi Bra dan Ket untuk menunjukkan suatu struktur teori aljabar. notasi dirac bekerja sebagai fungsi berikut (Longair, 2010):

- Fungsi gelombang $\Psi(x, t)$ menggabungkan pengetahuan mengenai evolusi suatu sistem. Secara umum didefinisikan dalam suatu ruang fungsi yang tidak terbatas, disebut sebagai ruang Hilbert (*Hilbert space*). $\Psi(x, t)$ dianggap sebagai ruang vektor yang terdiri dari fungsi koordinat spasial dan waktu pada koordinat spin. hal ini merujuk pada keadaan (*state*) suatu sistem, atau vektor keadaan yang dituliskan dengan $|\Psi\rangle$, yang berarti 'keadaan dengan fungsi keadaan $\Psi(x, t)$ '. Untuk kasus bebas waktu (*time-independent*) menggunakan lambang $|\psi\rangle$ yang artinya 'keadaan bebas waktu dengan fungsi keadaan $\psi(x)$ '
- Diperlukan kompleks konjugate fungsi gelombang untuk fungsi eigen yang diberikaan perumusan integral sebagai berikut;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^*(x) \psi(x) dx \quad (2.1)$$

Dirac memperkenalkan notasi $\langle\varphi|$ dan ditulis perumusan integral menjadi:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^*(x) \psi(x) dx = \langle\varphi|\psi\rangle \quad (2.2)$$

sehingga, $|\psi\rangle$ dan $\langle\varphi|$ adalah notasi untuk fungsi gelombang ψ dan kompleks

konjugat dari fungsi gelombang φ , untuk kombinasi keduanya dituliskan $\langle\varphi|\psi\rangle$, adalah singkatan dari persamaan integral nomor (2). Jika fungsi gelombang dinormalisasi, berlaku:

- $|\psi\rangle$ disebut vektor ket

- $\langle\psi|$ disebut vektor bra, kompleks konjugate dari ψ

- $\langle\varphi|\psi\rangle$ disebut Bra-Ket, atau suatu perkalian dalam (*inner product*) dari suatu keadaan vector.

- Diberikan operator A . kemudian, suatu keadaan beroperasi ψ dengan A dilambangkan $|A\psi\rangle$. Hal yang serupa dilakukan pada vektor bra dengan relasi $\varphi^*(x) \rightarrow \langle\varphi|\psi\rangle$, maka:

$$(A\psi)^* = \langle A\psi| \quad (2.3)$$

dalam bentuk integral.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^* A \psi dx \quad (2.4)$$

dalam notasi Dirac.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^* A \psi dx = \langle\varphi|A|\psi\rangle \quad (2.5)$$

Kuantitas $\langle\varphi|A|\psi\rangle$ disebut matriks elemen yang berasosiasi dengan vektor keadaan $|\psi\rangle|\varphi\rangle$. Aturan-aturan dalam membentuk kompleks konjugat dari keadaan-keadaan (*states*) dan adjoint A ,

$$\langle\varphi|A|\psi\rangle^* = \langle\psi|A^\dagger|\varphi\rangle \quad (2.6)$$

dimana A^\dagger adalah adjoint A . dengan $A^\dagger A = I$, dimana I adalah matriks identitas.

- Dalam notasi Dirac, persamaan nilai eigen (*eigenvalue*) ditulis,

$$A|\varphi\rangle = a|\psi\rangle \quad (2.7)$$

$|\psi\rangle$ adalah keadaan eigen (*eigenstate*) yang sesuai dengan operator A dan a adalah nilai eigen. $|\psi\rangle(x)$ disebut fungsi eigen yang selaras dengan operator A . Contoh dari operator yang digunakan yaitu momentum operator $p \equiv \left(\frac{\hbar}{2\pi i}\right) \partial/\partial x$ dalam satu dimensi operator Hamiltonian adalah:

$$H = T + V = \frac{\hbar^2}{8\pi^2 m_e} \nabla^2 + V(x) \quad (2.8)$$

dimana T sebagai operator energi kinetik dan V sebagai operator energi potensial. maka, persamaan nilai eigen untuk keadaan stasioner suatu sistem diberikan.

$$H \psi = T \psi + V \psi = \frac{\hbar^2}{8\pi^2 m_e} \nabla^2 \psi + V(x) = E \psi \quad (29)$$

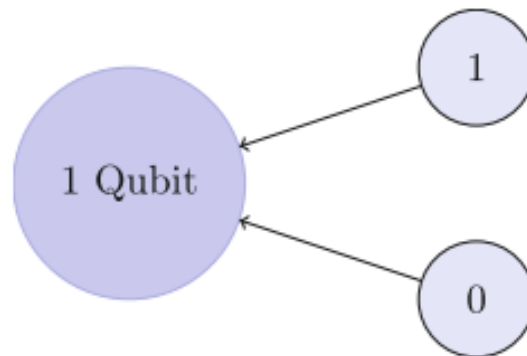
yang merupakan persamaan Schrodinger bebas waktu dengan nilai eigen E .

2.3 Qubit (Kuantum Bit)

Dalam komputer klasik, informasi direpresentasikan sebagai angka biner 0 dan 1, disebut bit atau bit klasik (*classical bit*). Misalnya, angka 1 dalam representasi biner 5-bit akan ditulis 00001 dan angka 2 ditulis 00010. Setiap komputer klasik menerjemahkan setiap bit-bit menjadi informasi yang dapat dibaca manusia dalam berbagai perangkat elektronik. Perangkat keras komputer memahami 1-bit sebagai arus listrik yang mengalir, sedangkan 0-bit adalah kebalikannya. Sinyal-sinyal yang

diberikan dapat dianggap "on" (1-bit) atau "off" (0-bit), kemudian memproseskan bit 1 atau 0 menjadi kata-kata, video, gambar dll seperti yang kita lihat pada layar komputer.

Kuantum bit, atau disingkat qubit memiliki persamaan dengan bit dalam menjelaskan dua status pengukuran keadaan, yaitu keadaan 0 dan keadaan 1. Namun, tidak seperti bit klasik, qubit juga dapat berupa keadaan superposisi dan keadaan 0 dan 1 (gambar 2.1). Perhitungan yang biasanya dilakukan secara terpisah dalam bit komputer klasik, kini dapat diselesaikan dalam satu operasi dalam komputer kuantum. Hal yang perlu diperhatikan meskipun satu qubit berada dalam superposisi, ketika diukur tetap menghasilkan satu bit informasi: 0 atau 1 (Hughes et al., 2021).



Gambar 2.1 Keadaan qubit

Dalam notasi Dirac, diberikan keadaan qubit yang diapit oleh ket, sebuah qubit $|\psi\rangle$ bisa dalam keadaan $|0\rangle$, $|1\rangle$, atau superposisi $|0\rangle$ dan $|1\rangle$. Dapat ditulis sebagai:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (2.10)$$

dimana α dan β disebut Amplitudo yang umumnya ditulis dalam bilangan kompleks (gambar 2.2). Amplitudo mewakili semua kemungkinan superposisi. Amplitudo

memberikan kemungkinan untuk menemukan partikel dalam keadaan tertentu saat melakukan pengukuran. Penjelasan diatas merupakan deskripsi matematis bit kuantum. (Hughes et al., 2021)

$$|\text{cat}\rangle = \alpha \left| \text{cat sitting} \right\rangle + \beta \left| \text{cat lying} \right\rangle$$

Gambar 2. 2 keadaan kucing Schrödinger diekpresikan dalam bra-ket

Sebuah qubit dapat menggambarkan vektor yang didefinisikan sebagai $|v\rangle \in \mathbb{C}^2$, diketahui sebagai keadaan ruang dari qubit (Wehner & Ng, n.d. 2022). Peluang untuk mengukur partikel dalam keadaan $|0\rangle$ adalah $|\alpha|^2$ hal yang sama pada partikel keadaan $|1\rangle$ adalah $|\beta|^2$. Dilakukan pengkuadratan pada α dan β untuk mencari probabilitas, mirip dengan mengkuadratkan amplitudo gelombang untuk menemukan energi gelombang yang memenuhi aturan berikut:

Definisi 2.2 - qubit. keadaan qubit murni (*pure state*) direpresentasikan sebagai ket dua dimensi vektor $|\psi\rangle \in \mathbb{C}^2$.

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \text{ dimana } \alpha, \beta \in \mathbb{C}^2 \text{ dan } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Dalam keadaan matriks, qubit dituliskan sebagai dua dimensi vektor dimana amplitudo adalah komponen vektor. dituliskan dalam keadaan standar. (Hughes et al., 2021)

Definisi 2.3 standar, tinjau ruang vektor kompleks 2 dimensi \mathbb{C}^2 . standar atau istilah lain komputasional: $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ adalah orthonormal dimana vektor dituliskan sebagai:

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Untuk lebih dari satu qubit, disebut multi qubit. Contohnya dua qubit, tiga qubit dan seterusnya. ditulis dengan representasi matriks sebagai berikut:

$$0_A 0_B \rightarrow |00\rangle_{AB} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

$$0_A 1_B \rightarrow |01\rangle_{AB} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

$$1_A 0_B \rightarrow |10\rangle_{AB} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

$$1_A 1_B \rightarrow |11\rangle_{AB} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

dengan qubit pertama A dan qubit kedua B (Yuwana et al., 2017).

2.3.1 Perkalian Dalam

Adalah suatu bentuk fungsi yang mengambil input dua vektor $|v\rangle$ dan vector $|w\rangle$ dari vektor ruang dan menghasilkan bilangan kompleks sebagai output. vektor ket memiliki pasangan dual, yaitu bra. dimana setiap ket $|A\rangle$ memiliki bra $\langle A|$ di dalam ruang dual. Didefinisikan dalam notasi linier:

$$(|v\rangle \cdot \sum_i \lambda_i |w_i\rangle) = \sum_i \lambda_i (|v\rangle \cdot |w_i\rangle) \quad (2.17)$$

Normalisasi vector $|v\rangle$ diberikan.

$$\| |v\rangle \| = \sqrt{\langle v|v\rangle} \quad (2.18)$$

Perkalian dalam pada ruang hilbert dapat diberikan melalui representasi matriks:

$$\begin{aligned} \langle v|w\rangle &= \sum_i v_i \langle i|. \sum_j w_j |j\rangle) = \sum_{ij} v_i * w_j \delta_{ij} = \sum_i v_i * w_i \\ &= [v_1 * \dots v_n *] \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Dimana $|w\rangle$ dan $|v\rangle$ adalah vector yang berhubungan pada basis orthonormal $|i\rangle$, dan berlaku fungsi:

$$\langle i|j\rangle = \delta_{ij} \quad (2.20)$$

Dalam mempresentasikan operator linear perkalian dalam, digunakan perkalian luar (*outer product*). Anggap $|v\rangle$ adalah sebuah vektor perkalian dalam V, dan $|w\rangle$ adalah vektor perkalian dalam W, didefinisikan:

$$(|w\rangle\langle v|)(|v'\rangle) \equiv |w\rangle \langle v|v'\rangle = \langle v|v'\rangle |w\rangle. \quad (2.21)$$

Kegunaan notasi perkalian luar akan dapat mencapai kelengkapan hubungan dalam vektor orthonormal. Jika diberikan $|i\rangle$ sebagai orthonormal untuk ruang vektor V, maka vektor $|v\rangle$ dapat ditulis:

$$(\sum_i |i\rangle\langle i|) |v\rangle = \sum_i |i\rangle\langle i|v\rangle = \sum_i v_i |i\rangle = |v\rangle \quad (2.22)$$

$$\text{hasil akhir untuk} \quad \sum_i |i\rangle\langle i| = I \quad (2.23)$$

(Nielsen, 2011)

2.4 Matriks

Jika diberikan suatu himpunan ket yang memiliki dimensi -n yaitu $\{|b_1\rangle, |b_2\rangle, |b_3\rangle, \dots, |b_n\rangle\}$, membentuk $n \times n$ matriks A , kemudian di-transposkan:

$$A^T = \begin{bmatrix} \langle b_1| \\ \langle b_2| \\ \vdots \\ \langle b_n| \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

kemudian, hitung hasil $A^T A$

$$\begin{aligned} A^T A &= \begin{bmatrix} \langle b_1| \\ \langle b_2| \\ \vdots \\ \langle b_n| \end{bmatrix} [|b_1\rangle \ |b_2\rangle \dots \ |b_n\rangle] \\ &= \begin{bmatrix} \langle b_1|b_1\rangle & \langle b_1|b_2\rangle & \dots & \langle b_1|b_n\rangle \\ \langle b_2|b_1\rangle & \langle b_2|b_2\rangle & \dots & \langle b_2|b_n\rangle \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \langle b_n|b_1\rangle & \langle b_n|b_2\rangle & \dots & \langle b_n|b_n\rangle \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Pada elemen diagonal utama akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai satuan ket. Elemen luar diagonal utama untuk menghitung ket saling ortogonal. Dapat disimpulkan himpunan vektor adalah basis orthonormal jika dan hanya jika $A^T A = I_n$. kemudian diberikan ket $|v\rangle$ dengan mengekspresikan sebagai kombinasi linear dari vektor, dapat ditulis:

$$|v\rangle = \langle b_1|v\rangle |b_1\rangle + \langle b_2|v\rangle |b_2\rangle + \dots + \langle b_n|v\rangle |b_n\rangle \quad (2.26)$$

kemudian ditranposekan A^T :

$$A^T|v\rangle = \begin{bmatrix} \langle b_1| \\ \langle b_2| \\ \vdots \\ \langle b_n| \end{bmatrix} |v\rangle = \begin{bmatrix} \langle b_1|v\rangle \\ \langle b_2|v\rangle \\ \vdots \\ \langle b_n|v\rangle \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

(Schumacher & Westmoreland, 2010)

2.5 Keterbelitan Kuantum

2.5.1 Alice dan Bob

Membicarakan sistem gabungan, seperti sistem A dan sistem B yang menjelaskan keadaan ruang (*space of state*). Sebagian besar fisikawan menggunakan bahasa informal, yaitu Alice dan Bob menjadi sistem Alice (S_A) dan sistem Bob (S_B). Dalam mekanika kuantum, misalnya sistem Alice menjelaskan keadaan koin yang memiliki dua keadaan, yaitu Gambar dan Angka yang dapat menunjukkan satu keadaan atau superposisi.

$$\alpha_G|G\rangle + \alpha_A|A\rangle \quad (2.28)$$

kemudian pada sistem Bob memiliki dadu 6 keadaan, yaitu

$$|1\rangle. |2\rangle. |3\rangle. |4\rangle. |5\rangle. |6\rangle \quad (2.30)$$

Kemudian S_A dan S_B digabung menjadi S_{AB} dengan cara perkalian tensor dari S_A dan S_B , dapat dituliskan:

$$S_{AB} = S_A \otimes S_B \quad (2.31)$$



Gambar 2.3 keadaan Bob



Gambar 2.4 keadaan Alice

Pada gambar tabel diatas menunjukkan kolom untuk enam vektor Bob dan baris untuk dua vektor Alice. Setiap kotak mewakili vektor untuk sistem S_{AB} . misalnya, pada kotak G4, atau ditulis $|G\rangle \otimes |4\rangle$ atau disingkat $|G4\rangle$ mewakili keadaan S_{AB} dengan koin gambar G dan dadu angka 4. Total sistem gabungan S_{AB} diatas adalah dua belas vektor (Suskind, 2013).

2.5.2 Perkalian Tensor

Perkalian tensor dibangun dari suatu ruuang Hilbert \mathcal{H}_1 dan \mathcal{H}_2 yang memiliki operator dan sudah diketahui elemen matrks, maka:

$$\mathcal{H} = \mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2 \quad (2.32)$$

dapat dilakukan penggabungan secara langsung. Berikut adalah aturan mengabung-

-kan matriks 2x2:

$$\begin{aligned} A \otimes B &= \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} A_{11} \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} & A_{12} \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} \\ A_{21} \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} & A_{22} \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.33)$$

(Susskind, n.d. 2014) Jika

dimisalkan suatu keadaan qubit $|0\rangle$ dan $|1\rangle$ yang dikenakan perkalian tensor, akan ditulis:

$$|00\rangle = |0\rangle \otimes |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ 0 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

$$|01\rangle = |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

$$|10\rangle = |1\rangle \otimes |0\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ 1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.36)$$

$$|11\rangle = |1\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 1 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.37)$$

(Rahayu, 2017)

Apabila suatu sistem memiliki lebih dari satu qubit keadaan. misalkan untuk bit klasik bilangan 3 dan 5 yang secara berurutan dituliskan 11 dan 101, maka penulisan secara kuantum dapat ditulis $|1\rangle \otimes |1\rangle$ dan $|1\rangle \otimes |0\rangle \otimes |1\rangle$. Secara ringkas dapat ditulis $|11\rangle$ dan $|101\rangle$.

Secara umum sistem keadaan n-qubit ditulis sebagai berikut:

$$|\psi\rangle = |\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle \otimes |\psi_3\rangle \otimes \dots \otimes |\psi_n\rangle \quad (2.38)$$

atau

$$|\psi\rangle = (\alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle) \otimes (\alpha_2|0\rangle + \beta_2|1\rangle) \otimes \dots \otimes (\alpha_n|0\rangle + \beta_n|1\rangle) \quad (2.39)$$

(Trenggana, 2017).

Kemudian bentuk persamaan umum qubit rangkap dua dapat dituliskan sebagai berikut: $|\psi\rangle = C_0|00\rangle + C_1|01\rangle + C_2|10\rangle + C_3|11\rangle$ (2.40) Seperti halnya sistem satu qubit, keadaan koefisien C_0, C_1, C_2, C_3 , harus memenuhi keadaan ternormalisasi:

$$|C_0|^2 + |C_1|^2 + |C_2|^2 + |C_3|^2 = 1 \quad (2.41)$$

persamaan (2.41) dapat disederhanakan dalam bentuk notasi sigma sebagai berikut:

$$|\psi\rangle = \sum_{ij=0}^1 a_{ij} |ij\rangle \quad (2.42)$$

Kemudian, persamaan umum keadaan qubit rangkap tiga di ruang Hilbert dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle = & C_0|000\rangle + C_1|001\rangle + C_2|010\rangle + C_3|011\rangle + C_4|100\rangle \\ & + C_5|101\rangle + C_6|110\rangle + C_7|111\rangle \end{aligned} \quad (2.43)$$

dengan notasi sigma $|\psi\rangle = \sum_{ijk=0}^1 a_{ijk} |ijk\rangle$ (2.44)

yang memenuhi keadaan ternormalisasi (López et al., 2017).

2.5.3 Keadaan Terbelit

Secara fisis, suatu keadaan terbelit atau *entagled state* dapat dideskripsikan sebagai dua sistem atau lebih objek kuantum, seperti partikel - partikel saling terkait sedemikian rupa sehingga keadaan satu objek tidak dapat dijelaskan secara independen dengan keadaan sistem lainnya. Fenomena ini melibatkan keterikatan kuantum antar objek-objek, dimana perubahan keadaan di salah satu objek dapat mempengaruhi secara

langsung keadaan lainnya (Khuzaimah et al., 2018b). Ambil satu kasus, saat memiliki dua sistem koin A dan koin B yang memiliki keadaan terbelit dan melakukan suatu pengukuran. Koin A menghasilkan gambar (G), secara otomatis akan mengetahui tanpa perlu melihat keadaan koin B juga akan menghasilkan gambar (G). Begitupun sebaliknya, dalam keadaan pengukuran koin A yang menghasilkan Angka (A) otomatis akan mengetahui keadaan koin B adalah angka (A) (Hughes et al., 2021). Secara matematis, keadaan terbelit adalah keadaan yang tidak dapat dipisahkan (*separable*) ke dalam perkalian tensor. Diberikan definisi umum keadaan terbelit (Rahayu, 2017):

Definisi 2.4 Keadaan terbelit $|\psi\rangle$ secara umum jika untuk $|\varphi_1\rangle$ dan $|\varphi_2\rangle$ apapun maka $|\psi\rangle \neq |\varphi_1\rangle \otimes |\varphi_2\rangle$ (Lai et al., 2016).

2.5.4 Teorema Tanpa Penyalinan.

Berbeda dengan sistem klasik yang dapat melakukan penyalinan (*cloning*) pada informasi yang dikirim, sistem kuantum tidak demikian. Pada informasi kuantum khususnya teleportasi kuantum, tidak memungkinkan terjadi penyadapan informasi di luar sistem yang dibuat. Lebih rinci, dalam teleportasi kuantum keadaan yang dikirim adalah keadaan yang tidak diketahui dan tidak dapat disalin dengan operasi uniter. Untuk pembuktian, jika terdapat operasi transformasi uniter U yang digunakan untuk menyalin suatu data pada keadaan $|\varphi\rangle$ yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Nakahara dan Ohmi, (2008):

$$U : |\varphi 0\rangle \rightarrow |\varphi \varphi\rangle \quad (2.45)$$

jika dimisalkan duah buah keadaan $|\varphi\rangle$ dan $|\phi\rangle$ yang saling bebas linier (*linier independet*), dapat ditulis sebagai:

$$U |\phi 0\rangle = |\phi \phi\rangle \quad (2,46)$$

dan

$$U |\varphi 0\rangle = |\varphi \varphi\rangle \quad (2,47)$$

Kemudian transformasi uniter U diberikan pada kombinasi linear keadaan $|\varphi\rangle$ dan $|\phi\rangle$ yang dapat ditulis sebagai:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\varphi\rangle + |\phi\rangle)$$

$$U |\psi 0\rangle = U \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (|\varphi 0\rangle + |\phi 0\rangle) \right)$$

$$U |\psi 0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (U(|\varphi 0\rangle + |\phi 0\rangle))$$

$$U |\psi 0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\varphi \varphi\rangle + |\phi \phi\rangle) \quad (2.48)$$

Karena U berlaku transformasi uniter yang bisa melakukan penyalinan, maka dapat juga ditulis:

$$U |\psi 0\rangle = |\psi \psi\rangle$$

$$U |\psi 0\rangle = |\psi\rangle \otimes |\psi\rangle$$

$$\begin{aligned} U |\psi 0\rangle &= \left[\frac{1}{\sqrt{2}} (|\varphi\rangle + |\phi\rangle) \right] \otimes \left[\frac{1}{\sqrt{2}} (|\varphi\rangle + |\phi\rangle) \right] \\ &= \frac{1}{2} (|\varphi \varphi\rangle + |\varphi \phi\rangle + |\phi \varphi\rangle + |\phi \phi\rangle) \end{aligned} \quad (2.49)$$

Berdasarkan hasil persamaan 48 dan 49 dimana operator yang sama dan keadaan yang sama seharusnya menghasilkan nilai yang sama. Namun, ternyata menunjukkan kontradiksi atau ketidakkonsisten pada persamaan 48 dan persamaan 49. hal ini

menunjukkan operator transformasi uniter tidak dapat menyalin keadaan $|\psi\rangle$, yang kemudian dikenal sebagai teorema tanpa penyalinan (*No Cloning Theorem*) (Nielsen, 2011).

2.6 Teleportasi Kuantum

Saat ini perkembangan fisika kuantum di bidang informasi kuantum telah menarik banyak perhatian khususnya mempelajari teleportasi kuantum (Yang et al., 2009). Teleportasi dapat dipahami sebagai suatu proses atau perbuatan untuk memindahkan suatu objek secara instan dari satu tempat ke tempat lain. Dalam fisika, teleportasi kuantum adalah suatu teknik yang mentransmisikan suatu keadaan sistem kuantum ke keadaan sistem kuantum lain tanpa melanggar aturan relativitas khusus (Aydin, 2010). Dimana qubit yang digunakan sebagai informasi kuantum dihancurkan atau dilebur dalam suatu kanal sehingga peristiwa teleportasi kuantum tidak bertentangan dengan teorema tanpa penyalinan (Khuzaimah et al., 2018).

Teleportasi kuantum dapat dibuktikan secara teoretis melalui artikel yang terbit tahun 1993 oleh C.H Bennet dkk. Mereka memperkenalkan skema perumusan teleportasi kuantum untuk pengiriman informasi satu arah pada keadaan kuantum. Teleportasi kuantum menghubungkan sistem komunikasi antara Alice sebagai pengirim informasi kepada Bob sebagai penerima yang keduanya berada dalam keadaan kuantum. Misalkan Alice memiliki informasi kuantum berupa $|\phi\rangle$ yang tidak diketahui Bob, dan menginginkan Bob memiliki informasi yang sama. caranya tentu mengirimkan informasi $|\phi\rangle$ langsung kepada Bob. Namun, karena jarak yang saling berjauhan akan membutuhkan waktu yang lama dan mungkin keadaan informasi akan

terganggu oleh lingkungan (*noise*), yang kemudian hal ini bisa ditasi dengan memanfaatkan keadaan terbelit.

Sistem teleportasi kuantum akan bekerja dengan langkah berikut: diberikan 3 buah partikel dalam ruang Hilbert yaitu partikel A, B dan C yang masing masing memiliki persamaan untuk partikel 1, partikel 2, dan partikel 3. Partikel A sebagai partikel Alice akan melakukan teleportasi kepada Bob berupa informasi satu qubit yang dituliskann sebagai berikut:

$$|X\rangle = X_1|0\rangle + X_2|1\rangle \quad (2.50)$$

dan berlaku $|X_1|^2 + |X_2|^2 = 1$.

Sistem B dan C memiliki keadaan terbelit yang telah dibuat sebagai kanal kuantum. Informasi kuantum yang dikirimkan akan dilebur bersama dengan kanal kuantum yang melibatkan perkalian tensor antara informasi kuantum yang dikirim dengan kanal yang digunakan. Informasi yang telah dilebur tidak dapat diidentifikasi kembali. Agar teleportasi kuantum yang diinginkan tercapai, Alice melakukan pengukuran bersama antara A dan B melalui pengukuran keadaan bell atau BSM (*bell state measurement*). Pengukuran ini akan merekonstruksi ulang keadaan kuantum yang akan diterima Bob sehingga menghasilkan partikel yang sama dengan keadaan keadaan awal (Bennett et al., 1993).

Berikut adalah skema teleportasi kuantum satu arah satu qubit kanal 2 qubit:

1. Informasi kuantum seperti pada persamaan (50), keadaan tersebut berada pada ruang Hilbert \mathcal{H}_A dan partikel tersebut tak lain adalah partikel milik Alice yang

kemudian akan dilebur bersama dengan kanal partikel terbelit. Salah satu dari dua partikel keadaan terbelit merupakan partikel 2 sebagai pengirim yaitu Alice dan partikel 3 sebagai penerima yaitu Bob. Agar dapat melakukan pengiriman informasi untuk satu qubit, Alice akan melakukan pengukuran pada partikel 1 dan partikel 2. Maka dituliskan:

$$\begin{aligned}
|\Psi\rangle_{123} &= |X\rangle_1 \otimes |\psi\rangle_{23} \\
&= (X_1|0\rangle + X_2|1\rangle)_1 \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle) \right)_{23} \\
&= \frac{X_1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_1|0\rangle_2|1\rangle_3 + |0\rangle_1|1\rangle_2|0\rangle_3) \\
&\quad + \frac{X_2}{\sqrt{2}} (|1\rangle_1|0\rangle_2|1\rangle_3 + |1\rangle_1|1\rangle_2|0\rangle_3)
\end{aligned} \tag{2.51}$$

2. Kemudian tahap pengukuran dilakukan kepada Alice untuk partikel 1 dan 2 dengan perkalian langsung dengan pengukuran keadaan Bell. Dimana pengukuran keadaan Bell memiliki persamaan umum:

$$B_{xy} = [|0y\rangle + (-1)^x|1\bar{y}\rangle] \tag{2.52}$$

maka keadaan Bell menghasilkan:

$$B_{00} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle) \tag{2.53}$$

$$B_{01} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle) \tag{2.54}$$

$$B_{10} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle - |11\rangle) \tag{2.55}$$

$$B_{11} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle) \quad (2.56)$$

apabila digunakan pengukuran B_{00} , maka:

$$\begin{aligned} \langle B_{00} | \otimes I | \Psi \rangle_{123} &= \left[\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | + \langle 11 |)_{12} \otimes I \right] \\ &\quad \left[\frac{X_1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_1 |0\rangle_2 |1\rangle_3 + |0\rangle_1 |1\rangle_2 |1\rangle_3) + \right. \\ &\quad \left. \frac{X_2}{\sqrt{2}} (|1\rangle_1 |0\rangle_2 |1\rangle_3 + |1\rangle_1 |1\rangle_2 |0\rangle_3) \right] \\ &= \frac{1}{2} (X_1 |1\rangle + X_2 |0\rangle) \end{aligned} \quad (2.57)$$

(Bennett et al., 1993)

3. Kemudian Alice akan melakukan komunikasi klasik kepada Bob, dengan menginformasikan kepada Bob hasil pengukuran di persamaan (57). Ternyata, hasil yang dilakukan pada pengukuran keadaan Bell B_{00} tidak sesuai dengan keadaan awal. Maka konsekuensi yang dilakukan yaitu Bob menerapkan operator uniter yang sesuai untuk merekonstruksi ulang hasil dari keadaan kuantum persamaan (57). Operator uniter yang sesuai yaitu operator σ_x , dimana σ_x adalah matriks pauli. dapat ditulis:

$$\begin{aligned} \sigma_x (X_1 |1\rangle + X_2 |0\rangle) &= (X_1 \sigma_x |1\rangle + X_2 \sigma_x |0\rangle) \\ &= X_1 \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + X_2 \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ &= X_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + X_2 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ &= X_1 |0\rangle + X_2 |1\rangle \end{aligned} \quad (2.58)$$

Akhirnya, Bob akan menerima informasi kuantum yang sesuai dengan keadaan awal yang dikirim oleh Alice. Teleportasi kuantum selesai dilakukan. Untuk keadaan bell yang lain pada persamaan (57) jika diterapkan pada proyeksi pengukuran, operator uniter yang akan digunakan Bob dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Operator yang digunakan Bob

Pengukuran Keadaan Bell	Operator Uniter
$B_{01} = \frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	I
$B_{10} = \frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\sigma_x \sigma_z$
$B_{11} = \frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	σ_z

Melalui postulate 2 mekanika kuantum yang menjelaskan mengenai evolusi, dimana evolusi dari suatu sistem tertutup dapat dijelaskan dengan tranformasi matriks uniter.

Definisi 2.3 jika A adalah operator uniter pada suatu ruang Hilbert, A akan uniter jika $A^\dagger A = AA^\dagger = I$.

Berikut adalah bentuk matriks operator yang digunakan oleh Bob:

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.59)$$

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.60)$$

$$\sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad (2.61)$$

$$\sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (2.62)$$

(Yuwana et al., 2017)

4. Dihitung besar probabilitas dan efisiensi keberhasilan pengiriman informasi menggunakan persamaan:

- Probabilitas

$$P = \sum_i p_i = \sum_i \langle \psi | P_i^\dagger P_i | \psi \rangle \quad (2.63)$$

Dimana P_i adalah probabilitas operator i yang membuat teleportasi terkirim.

Apabila hasil pengukuran = $X_1|0\rangle + X_2|1\rangle$, maka:

$$P = \left| \frac{1}{2} (X_1 \langle 1| + X_2 \langle 0|) \otimes (X_1|1\rangle + X_2|0\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{2} \right|^2 = \frac{1}{4}$$

- Efisiensi

$$= \frac{\sum \text{Qubit yang dikirim}}{\sum \text{Qubit kanal} + \sum \text{Qubit klasik}} \quad (2.64)$$

$$= \frac{1}{2 + 2} = \frac{1}{4}$$

Berikut adalah skema teleportasi kuantum satu arah satu qubit kanal terbelit 3 qubit:

1. Informasi yang dikirim adalah informasi dari persamaan (2.50) dan mempersiapkan tiga qubit yang akan digunakan: A (pengirim), B (pengirim), dan C (penerima)
2. Qubit yang terbelit tak lain adalah partikel B dan C, yang dimana digunakan kanal GHZ = $\frac{1}{\sqrt{2}} (|000\rangle + |111\rangle)$

Informasi akan dilebur pada kanal terbelit:

$$\begin{aligned}
 |\Psi\rangle &= (X_1|0\rangle + X_2|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)\right) \\
 &= \frac{X_1}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{X_2}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \quad (2.65)
 \end{aligned}$$

Apabila pengukuran $|\Pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|011\rangle + |100\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
 \langle\Pi| \otimes I |\Psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 011| + \langle 100|) \otimes I\right) \\
 &\quad \left[\frac{X_1}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{X_2}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right] \\
 &= \frac{1}{2}(x_1|1\rangle + x_2|0\rangle) \quad (2.66)
 \end{aligned}$$

3. Kemudian pengirim akan melakukan komunikasi klasik kepada penerima, dengan menginformasikan kepada penerima hasil pengukuran di persamaan (2.66). Ternyata, hasil yang dilakukan pada pengukuran tidak sesuai dengan keadaan awal. Maka konsekuensi yang dilakukan yaitu penerima menerapkan operator uniter yang sesuai untuk merekonstruksi ulang hasil dari keadaan kuantum persamaan (2.66). Operator uniter yang sesuai yaitu operator σ_x . Akhirnya, penerima akan menerima informasi kuantum yang sesuai dengan keadaan awal yang dikirim oleh pengirim. Teleportasi kuantum selesai dilakukan.
4. Dihitung besar probabilitas dan efisiensi keberhasilan pengiriman informasi persamaan:

- Probabilitas

Apabila hasil pengukuran $(x_1 |1\rangle + x_2 |0\rangle)$, maka:

$$P = \left| \frac{1}{2} (X_1 \langle 1| + X_2 \langle 0|) \otimes (X_1 |1\rangle + X_2 |0\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{2} \right|^2 = \frac{1}{4}$$

- Efisiensi: $\frac{1}{3+2} = \frac{1}{5}$

Berikut adalah skema teleportasi kuantum satu arah satu qubit kanal tidak terbelit 3 qubit:

1. Informasi yang dikirim adalah informasi dari persamaan (2.50) dan mempersiapkan kanal tiga qubit.
2. Qubit yang terbelit tak lain adalah partikel B dan C, yang dimana digunakan kanal tidak terbelit.

$$\begin{aligned} |x\rangle &= (a_1|0\rangle + a_2|1\rangle)_A \otimes (b_1|0\rangle + b_2|1\rangle)_B \\ &= (a_1b_1|00\rangle + a_1b_2|01\rangle + a_2b_1|10\rangle + a_2b_2|11\rangle)_{AB} \end{aligned} \quad (2.67)$$

Informasi akan dilebur pada kanal terbelit:

$$\begin{aligned} |\Psi\rangle &= (X_1|0\rangle + X_2|1\rangle) \otimes (a_1b_1|00\rangle + a_1b_2|01\rangle + a_2b_1|10\rangle + a_2b_2|11\rangle) \\ &= x_1(a_1b_1|000\rangle + a_1b_2|001\rangle + a_2b_1|010\rangle + a_2b_2|011\rangle) + \\ & x_2(a_1b_1|100\rangle + a_1b_2|101\rangle + a_2b_1|110\rangle + a_2b_2|111\rangle) \end{aligned} \quad (2.68)$$

Apabila pengukuran $|\Pi\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle$ maka:

$$\begin{aligned} (\langle \Pi| \otimes I) |\Psi\rangle &= (\alpha\langle 00| + \beta\langle 01| + \gamma\langle 10| + \delta\langle 11|) \otimes I \\ & [X_1(a_1b_1|000\rangle + a_1b_2|001\rangle + a_2b_1|010\rangle + a_2b_2|011\rangle) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& X_2 (a_1 b_1 |100\rangle + a_1 b_2 |101\rangle + a_2 b_1 |110\rangle + a_2 b_2 |111\rangle) \\
& = [X_1 (\alpha a_1 b_1 |0\rangle + \alpha a_1 b_2 |1\rangle + \beta a_2 b_1 |0\rangle + \beta a_2 b_2 |1\rangle)] + \\
& \quad X_2 (\gamma a_1 b_1 |0\rangle + \gamma a_1 b_2 |1\rangle + \delta a_2 b_1 |0\rangle + \delta a_2 b_2 |1\rangle) \quad (2.69)
\end{aligned}$$

Hasil pengukuran tidak dapat diubah menggunakan transformasi uniter, sehingga teleportasi gagal (Purwanto et al., 2018).

2.8 Postulate Mekanika Kuantum.

Mekanika kuantum disusun di atas postulat-postulat yang dibangun atas dasar asumsi-asumsi dimana suatu kebenaran tidak perlu pembuktian secara lanjut, karena sudah jelas dengan sendirinya. Berikut diberikan 3 bunyi postulate Mekanika Kuantum. (Nielsen, 2011).

1. Ruang Keadaan (State Space)

” Segala sistem yang terisolasi adalah ruang vektor yang didalamnya dilakukan perkalian dalam (Ruang Hilbert) dikenal sebagai ruang keadaan dari sistem. Sistem digambarkan secara lengkap oleh vektor keadaan, yang merupakan vektor satuan dalam ruang keadaan sistem”

2. Evolusi

“Evolusi dari suatu sistem tertutup dapat dijelaskan oleh transformasi uniter, dimana suatu keadaan $|\psi\rangle$ pada waktu t_1 berhubungan dengan keadaan $|\psi'\rangle$ pada waktu t_2 yang dihubungkan dengan operator uniter U yang hanya bergantung pada t_1 dan t_2 .”

3. Pengukuran Quantum

“Pengukuran kuantum dijelaskan sebagai suatu kumpulan (M_m) dari operator-operator pengukuran. Dimana operator-operator ini bertindak pada ruang keadaan pada sistem yang sedang diukur. Indeks m mengacu pada hasil pengukuran yang mungkin terjadi pada eksperimen. Jika keadaan suatu sistem quantum adalah $|\psi\rangle$ tepat sebelum dilakukan pengukuran maka probabilitas hasil m adalah:

$$p(m) = \langle \psi | M_m^\dagger M_m | \psi \rangle \quad (2.70)$$

BAB III

TELEPORTASI KUANTUM SATU QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT

Telah dibuat perumusan teleportasi kuantum satu qubit melaui kanal terbelit tiga qubit. Perumusan ini digunakan untuk mencari keadaan-keadaan qubit terbelit yang mampu mengirim informasi satu qubit. Berikut adalah bentuk kanal terbelit (*entangled*) yang digunakan:

3.1. Kanal Terbelit

3.1.1 Kanal Terbelit GHZ (Greenberger, Horne and Zeilinger)

Berikut adalah perhitungan matematis untuk proses teleportasi qubit rangkap tiga yang mampu menteleportasi keadaan qubit. Dimana untuk setiap sistem dari jumlah n qubit, keadaan GHZ dapat dirumuskan dengan:

$$|GHZ\rangle = \frac{|0\rangle^{\otimes n} \pm |1\rangle^{\otimes n}}{\sqrt{2}} \tag{3.1}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle). \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle - |111\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|001\rangle + |110\rangle). \frac{1}{\sqrt{2}}(|001\rangle - |110\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|010\rangle + |101\rangle). \frac{1}{\sqrt{2}}(|010\rangle - |101\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|011\rangle + |100\rangle). \frac{1}{\sqrt{2}}(|011\rangle - |100\rangle)$$

3.1.2 Kanal Terbelit W

Berikut adalah perhitungan matematis untuk proses teleportasi qubit rangkap tiga yang mampu menteleportasi keadaan qubit. Berikut adalah perhitungan matematis untuk proses teleportasi qubit rangkap tiga yang mampu menteleportasi keadaan qubit. Dimana untuk setiap sistem dari jumlah n qubit, keadaan W dapat dirumuskan dengan:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle). \frac{1}{\sqrt{3}}(-|100\rangle + |010\rangle + |111\rangle) \\ & \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle + |101\rangle + |011\rangle). \frac{1}{\sqrt{3}}(-|011\rangle + |101\rangle + |000\rangle) \\ & \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle - |010\rangle + |111\rangle). \frac{1}{\sqrt{3}}(|100\rangle + |001\rangle + |111\rangle) \\ & \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle - |101\rangle + |000\rangle). \frac{1}{\sqrt{3}}(|011\rangle + |110\rangle + |000\rangle) \end{aligned}$$

(Cunha et al., 2019)

3.1.3 Kanal Terbelit GHZ-Like

Keadaan Terbelit GHZ-Like dapat dibangun dari keadaan Bell dan keadaan qubit tunggal yang diberikan sebagai berikut:

- Keadaan kubit tunggal:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$$

- Keadaan Bell:

$$B_{00} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle), \quad B_{01} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$$

$$B_{10} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle), \quad B_{11} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

(Yang et al., 2009)

3.1.4 Teleportasi Kuantum Satu Qubit

Diberikan keadaan atau informasi satu qubit: $|x\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Dimana berlaku $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Informasi partikel satu qubit akan dikirim dari Alice menuju Bob melalui berbagai protokol berikut:

3.2.1 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$ Informasi satu qubit dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)\right) \\ &= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right) \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

- a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right) \\ &\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right] = \frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\beta}{2}|11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 0| + \langle 1|) \otimes I\right) (\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{2}}|1\rangle.$$

- b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| - \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right] = \frac{\alpha}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$. maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 0| + \langle 1|) \otimes I \right) (\alpha |00\rangle - \beta |11\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}} |0\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{2}} |1\rangle \quad \text{c)}$$

Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right] = \frac{\alpha}{2} |11\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 0 | + \langle 1 |) \otimes I \right) (\alpha |11\rangle + \beta |00\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}} |1\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{2}} |0\rangle$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right] = \frac{\alpha}{2} |11\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 0 | + \langle 1 |) \otimes I \right) (\alpha |11\rangle - \beta |00\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}} |1\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{2}} |0\rangle.$$

e) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right] = \frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\beta}{2}|11\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I) | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 0| - \langle 1|) \otimes I\right) (\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{2}}|1\rangle.$$

f) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| - \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right] = \frac{\alpha}{2}|00\rangle - \frac{\beta}{2}|11\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$ maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I) | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 0| - \langle 1|) \otimes I\right) (\alpha|00\rangle - \beta|11\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{2}}|1\rangle$$

g) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| + \langle 10|) \otimes I\right)$$

$$\left[\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right] = \frac{\alpha}{2}|11\rangle + \frac{\beta}{2}|00\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I) | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 0| - \langle 1|) \otimes I\right) (\alpha|11\rangle + \beta|00\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}}|1\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{2}}|0\rangle$$

h) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	16,6 %
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	

$$(\langle\pi_1| \otimes I)|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| - \langle 10|) \otimes I$$

$$[\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)] = \frac{\alpha}{2}|11\rangle - \frac{\beta}{2}|00\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$ maka:

$$(\langle\pi_2| \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 0| - \langle 1|) \otimes I\right) (\alpha|11\rangle - \beta|00\rangle) = \frac{\alpha}{\sqrt{2}}|1\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{2}}|0\rangle$$

Tabel 3.1 Tabel satu qubit via kanal GHZ

- Skema 1

Pada skema di atas akan dihitung nilai probabilitas dan efisiensi sebagai berikut:

-Probabilitas

Apabila hasil pengukuran pertama $\frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle$, maka:

$$P1 = \left| \frac{1}{2} (\alpha \langle 1| + \beta \langle 0|) \otimes (\alpha |1\rangle + \beta |0\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{2} \right|^2 = \frac{1}{4}$$

Apabila hasil pengukuran kedua $\frac{\alpha}{\sqrt{2}} |0\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{2}} |1\rangle$, maka:

$$P2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} (\alpha \langle 1| + \beta \langle 0|) \otimes (\alpha |1\rangle + \beta |0\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right|^2 = \frac{1}{2}$$

$$\text{Maka } P1 \cdot P2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{1}{3+3} = \frac{1}{6},$$

Untuk hasil perhitungan skema 2 hingga 8 akan ditampilkan pada lampiran A.

3.2.2 Pengiriman Satu Qubit Via Kanal W.

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|W\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)$

Informasi dilebur dalam kanal: $|\psi\rangle = (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle) \right)$

$$= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right)$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00| + \langle 11|) \otimes I \right)$$

$$\left[\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \right]$$

$$= \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |10\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |00\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle + \beta |00\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | - \langle 11 |) \otimes I \right)$$

$$\left[\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \right]$$

$$= \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |10\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{6}} |00\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle - \beta |00\rangle) = \alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left[\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \right]$$

$$= \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |00\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |10\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \beta |01\rangle + \beta |10\rangle) = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \\ &= \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |00\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{6}} |01\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{6}} |10\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |00\rangle - \beta |01\rangle - \beta |10\rangle) = \alpha |0\rangle - \beta |1\rangle$$

e) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | + \langle 11 |) \otimes I \right) \\ & \left[\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \right] \\ &= \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |10\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |00\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 1 | \otimes I) (\alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle + \beta |00\rangle) = \alpha |0\rangle$$

f) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right) \\ & \left[\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \right] \\ &= \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |00\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |10\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 1 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \beta |01\rangle + \beta |10\rangle) = \beta |0\rangle$$

Tabel 3.2 Skema satu qubit via kanal W

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	40 %
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 0\rangle$	-	-	-

Dihitung besar probabilitas dan efisiensi keberhasilan pengiriman informasi menggunakan persamaan:

Probabilitas: Apabila hasil pengukuran pertama $\frac{\alpha}{\sqrt{6}}|01\rangle + \frac{\alpha}{\sqrt{6}}|10\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}}|00\rangle$, maka:

$$P1 = \left| \frac{1}{\sqrt{6}} (\alpha\langle 01| + \alpha\langle 10| + \beta\langle 00|) \otimes (\alpha|01\rangle + \alpha|10\rangle + \beta|00\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{6}} \right|^2 = \frac{1}{6}$$

Apabila hasil pengukuran kedua $\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle$, maka:

$$P2 = |(\alpha\langle 1| + \beta\langle 0|) \otimes (\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle)|^2 = |1|^2 = 1$$

$$\text{Maka } P1 \cdot P2 = \frac{1}{6} \cdot 1 = \frac{1}{6}$$

- Efisiensi = $\frac{1}{3+2} = \frac{1}{5}$, untuk hasil perhitungan skema 2 hingga 8 akan ditampilkan pada lampiran A.

3.2.3 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ-Like

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|\phi\rangle = (|\psi\rangle \otimes |B_{00}\rangle)$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) = \frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |111\rangle)$$

Kemudian dilakukan gerbang C-Not Gate untuk $|\phi\rangle$, dimana qubit 1 sebagai kontrol dan qubit 2 sebagai target. Menghasilkan: $\frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$.

Informasi dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle) \\ &= \left(\frac{\alpha}{2}(|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2}(|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right) \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengukuran:

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1| \otimes I\rangle|\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right) \left(\frac{\alpha}{2}(|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2}(|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right) \\ &= \frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\alpha}{2}|11\rangle + \frac{\beta}{2}|10\rangle + \frac{\beta}{2}|01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = (|0\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_2| \otimes I\rangle|\psi\rangle = (\langle 0| \otimes I) (\alpha|00\rangle + \alpha|11\rangle + \beta|10\rangle + \beta|01\rangle) = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1| \otimes I\rangle|\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| - \langle 11|) \otimes I\right) \left(\frac{\alpha}{2}(|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2}(|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right) \\ &= \frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\alpha}{2}|11\rangle - \frac{\beta}{2}|10\rangle - \frac{\beta}{2}|01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle\pi_2| \otimes I |\psi\rangle = (\langle 0| \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle - \beta |10\rangle - \beta |01\rangle) = \alpha |0\rangle - \beta |1\rangle$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\pi_1| \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| + \langle 10|) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle\pi_2| \otimes I |\psi\rangle = (\langle 0| \otimes I) (\alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle + \beta |00\rangle + \beta |11\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle\pi_1| \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| - \langle 10|) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$ maka:

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\pi_1| \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| - \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle - \frac{\beta}{2} |10\rangle - \frac{\beta}{2} |01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle\pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle - \beta |10\rangle - \beta |01\rangle) = \alpha |0\rangle - \beta |1\rangle$$

e) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle\pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle + \beta |00\rangle + \beta |11\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

f) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$. maka:

$$\langle\pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle\pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle - \beta |00\rangle - \beta |11\rangle) = \alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$$

- Skema 2

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00 | + \langle 11 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle + \frac{\beta}{2} |10\rangle + \frac{\beta}{2} |01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = (|1\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I | \psi\rangle = (\langle\langle 1 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle + \beta |10\rangle + \beta |01\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

maka hasil pengukuran kedua berlaku $\alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$.

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00 | - \langle 11 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle - \frac{\beta}{2} |10\rangle - \frac{\beta}{2} |01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$ maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I | \psi\rangle = (\langle\langle 1 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle - \beta |10\rangle - \beta |01\rangle) = \alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I | \psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$ maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I | \psi\rangle = (\langle\langle 1 | \otimes I) (|10\rangle + \alpha |01\rangle + \beta |00\rangle + \beta |11\rangle) = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$ maka:

$$\langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |1\rangle$ maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 1 | \otimes I) (\alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle - \beta |00\rangle - \beta |11\rangle) = \alpha |0\rangle - \beta |1\rangle$$

Tabel 3.3 Tabel satu qubit via kanal GHZ-Like

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2} (000\rangle + 110\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}} (00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}} (00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}} (01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}} (01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 2

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	

Dihitung besar probabilitas dan efisiensi keberhasilan pengiriman informasi:

- Probabilitas

Apabila hasil pengukuran pertama $\frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\alpha}{2}|11\rangle + \frac{\beta}{2}|10\rangle + \frac{\beta}{2}|01\rangle$ maka:

$$P1 = \left| \frac{1}{2} (\alpha\langle 00| + \alpha\langle 11| + \beta\langle 10| + \beta\langle 01|) \otimes (\alpha|00\rangle + \alpha|11\rangle + \beta|10\rangle + \beta|01\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{2} \right|^2 = \frac{1}{4}$$

Apabila hasil pengukuran kedua $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, maka:

$$P2 = |(\alpha\langle 1| + \beta\langle 0|) \otimes (\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle)|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right|^2 = \frac{1}{2}, \text{ Maka } P1 \cdot P2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{1}{3+2} = \frac{1}{5}$$

Untuk hasil perhitungan skema 3 hingga 8 akan ditampilkan pada lampiran A.

BAB IV

TELEPORTASI KUANTUM DUA QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT

Telah dibuat perumusan teleportasi kuantum dua qubit khusus dan sembarang melalui kanal terbelit tiga qubit. Perumusan ini digunakan untuk mencari keadaan-keadaan qubit terbelit yang mampu mengirim informasi dua qubit. Kanal yang digunakan sudah disebutkan dalam Bab III yaitu kanal terbelit maksimal (*maximal entangled*) GHZ, W, dan GHZ-Like.

4.1 Teleportasi Kuantum Dua Qubit

4.1.1 Informasi Dua Qubit Khusus

4.1.1.1 Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ

Diberikan keadaan atau informasi dua qubit khusus. $|\mathbf{x}\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$.

Dimana berlaku $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Informasi partikel dua qubit khusus akan dikirim dari Alice menuju Bob melalui berbagai protokol berikut:

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$

Alice akan menerapkan operasi CNOT pada qubit informasi. Dimana qubit 1 sebagai kontrol dan qubit 2 sebagai target, maka hasilnya $\alpha|00\rangle + \beta|10\rangle$. Kemudian dilakukan $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \otimes |0\rangle$. Informasi di awal sudah diubah ke bentuk $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Informasi dua qubit dilebur dalam kanal:

$$|\psi\rangle = (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle) \right) =$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right)$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | + \langle 11 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle$$

b) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | - \langle 11 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle$$

c) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |11\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle$$

d) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |11\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle$$

Tabel 4.1 Skema dua qubit khusus via kanal GHZ

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	

Dihitung besar probabilitas dan efisiensi keberhasilan pengiriman informasi:

- Probabilitas

Apabila hasil pengukuran $\frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\beta}{2}|11\rangle$, maka:

$$P1 = \left| \frac{1}{2} (\alpha\langle 00| + \beta\langle 11|) \otimes (\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle) \right|^2 = \left| \frac{1}{2} \right|^2 = \frac{1}{4}$$

- Efisiensi = $\frac{2}{3+2} = \frac{2}{5}$, untuk hasil perhitungan skema lainnya akan ditampilkan pada lampiran B. Apabila diberikan informasi dua qubit khusus $\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$. Kemudian keadaan informasi dapat dipisah menjadi $|0\rangle \otimes \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ maka perumusan teleportasi adalah sebagai berikut:

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan:

$$|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$$

$$|\psi\rangle = (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle) \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right),$$

Kemudian

dilakukan pengukuran.

a) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2}|00\rangle + \frac{\beta}{2}|11\rangle$$

b) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| - \langle 11|) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2}|00\rangle - \frac{\beta}{2}|11\rangle$$

c) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| + \langle 10|) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2}|11\rangle + \frac{\beta}{2}|00\rangle$$

d) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| - \langle 10|) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2}|11\rangle - \frac{\beta}{2}|00\rangle$$

- Skema 2

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$

Informasi satu qubit dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)\right) \\ &= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right) \end{aligned}$$

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 000| + \langle 111|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right) = \frac{\alpha}{2}|0\rangle + \frac{\beta}{2}|1\rangle$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|001\rangle + |110\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 001| + \langle 110|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right) = -$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|010\rangle + |101\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 010| + \langle 101|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right) = -$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|011\rangle + |100\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 011| + \langle 100|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle)\right) = \frac{\alpha}{2}|1\rangle + \frac{\beta}{2}|0\rangle$$

Pada hasil pengukuran, Alice akan memberitahukan kepada Bob melalui komunikasi klasik. Kemudian Bob akan melakukan rekonstruksi ulang dengan melakukan transformasi uniter dan perkalian langsung pada qubit pertama dengan $|0\rangle$. Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Jika diberikan keadaan atau informasi dua qubit khusus sebagai berikut: $|x\rangle = (\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle)$. Kemudian Alice akan menerapkan operasi CNOT pada qubit informasi. Dimana qubit 1 sebagai kontrol dan qubit 2 sebagai target, maka hasilnya $\alpha|01\rangle + \beta|11\rangle$. Kemudian dilakukan $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \otimes |1\rangle$. Informasi di awal sudah diubah ke bentuk $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Maka:

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|001\rangle + |110\rangle)$

Informasi dua qubit dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|001\rangle + |110\rangle)\right) \\ &= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0001\rangle + |0110\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1001\rangle + |1110\rangle)\right) \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} (\langle\pi_1| \otimes I)|\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right) \\ &\quad \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0001\rangle + |0110\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1001\rangle + |1110\rangle)\right) \\ &= \frac{\alpha}{2}|01\rangle + \frac{\beta}{2}|10\rangle \end{aligned}$$

b) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | - \langle 11 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0001\rangle + |0110\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1001\rangle + |1110\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |01\rangle - \frac{\beta}{2} |10\rangle$$

c) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0001\rangle + |0110\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1001\rangle + |1110\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\beta}{2} |01\rangle$$

d) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$ maka:

$$\langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0001\rangle + |0110\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1001\rangle + |1110\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |10\rangle - \frac{\beta}{2} |01\rangle$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Jika Diberikan keadaan atau informasi dua qubit Khusus: $\alpha|01\rangle + \beta|11\rangle$. Kemudian keadaan informasi dapat dipisah menjadi $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \otimes |1\rangle$ maka perumusan teleportasi adalah sebagai berikut:

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$, Informasi dua qubit dilebur dalam kanal:

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$

$$|\psi\rangle = (\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle) \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|10000\rangle + |10111\rangle) \right)$$

a) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | + \langle 11 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right) = -$$

b) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\Pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right)$$

$$= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|000\rangle + |111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|000\rangle + |111\rangle) \right)$$

Alice melakukan pengukuran kembali menggunakan $|\Pi_2\rangle = |0\rangle$ maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle$$

$$= \langle 0 | \otimes I (\alpha |000\rangle + \alpha |111\rangle + \beta |111\rangle + \beta |000\rangle) = \alpha |00\rangle + \beta |00\rangle$$

c) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\Pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right) =$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|000\rangle + |111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|000\rangle + |111\rangle) \right)$$

Alice melakukan pengukuran kembali $|\Pi_2\rangle = |1\rangle$. maka:

$$\begin{aligned} \langle \langle \pi | \otimes I) | \psi \rangle &= (\langle \langle 1 | \rangle \otimes I) \\ &= (\langle \langle 0 | \otimes I) (\alpha | 000 \rangle + \alpha | 111 \rangle + \beta | 111 \rangle + \beta | 000 \rangle) = \alpha | 11 \rangle + \beta | 11 \rangle \end{aligned}$$

Pada hasil pengukuran, Alice akan memberitahukan kepada Bob melalui komunikasi klasik. Kemudian Bob akan melakukan rekonstruksi ulang dengan melakukan transformasi uniter dan perkalian langsung pada kubit kedua dengan $|1\rangle$. Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|01\rangle + \beta|11\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Jika diberikan keadaan atau informasi dua qubit Khusus $\alpha|00\rangle + \beta|10\rangle$. Kemudian keadaan informasi dapat dipisah menjadi $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \otimes |0\rangle$. maka perumusan teleportasi adalah sebagai berikut:

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$

Informasi satu qubit dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle) \right) \\ &= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right) \end{aligned}$$

- a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \langle \pi_1 | \otimes I) | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 000 | + \langle 111 |) \otimes I \right) \\ &= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |0\rangle + \frac{\beta}{2} |1\rangle \end{aligned}$$

- b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|001\rangle + |110\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I \rangle | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 001 | + \langle 110 | \otimes I)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = -$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|010\rangle + |101\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I \rangle | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 010 | + \langle 101 | \otimes I)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = -$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|011\rangle + |100\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I \rangle | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 011 | + \langle 100 | \otimes I)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|0000\rangle + |0111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|1000\rangle + |1111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |1\rangle + \frac{\beta}{2} |0\rangle$$

Pada hasil pengukuran, Alice akan memberitahukan kepada Bob melalui komunikasi klasik. Kemudian Bob akan melakukan rekonstruksi ulang dengan melakukan transformasi uniter dan perkalian langsung pada kubit kedua dengan $|0\rangle$. Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|00\rangle + \beta|10\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B.

4.1.1.2. Pengiriman Keadaan Terbelit W

Untuk informasi $\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|W\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)$, Informasi satu

qubit dilebur dalam kanal:

$$|\psi\rangle = (\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle) \right)$$

$$= \frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00001\rangle + |00010\rangle + |00100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|11001\rangle + |11010\rangle + |11100\rangle)$$

a) Apabila menggunakan pengukuran $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka: $(\langle \Pi_1 | \otimes I)|\psi\rangle =$

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00001\rangle + |00010\rangle + |00100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|11001\rangle + |11010\rangle + |11100\rangle)$$

$$= \frac{\alpha}{2} |001\rangle + \frac{\alpha}{2} |010\rangle + \frac{\alpha}{2} |100\rangle + \frac{\beta}{2} |001\rangle + \frac{\beta}{2} |010\rangle + \frac{\beta}{2} |100\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$(\langle \Pi_2 | \otimes I)|\psi\rangle (\langle 0| \otimes I) (\alpha |001\rangle + \alpha |010\rangle + \alpha |100\rangle + \beta |001\rangle + \beta |010\rangle + \beta |100\rangle)$$

$$= \alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle + \beta |01\rangle + \beta |10\rangle$$

b) Apabila menggunakan pengukuran $|\Pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$(\langle \Pi | \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| + \langle 10|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00001\rangle + |00010\rangle + |00100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|11001\rangle + |11010\rangle + |11100\rangle)\right)$$

$$= -$$

c) Apabila menggunakan pengukuran $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$(\langle \Pi_1 | \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00001\rangle + |00010\rangle + |00100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|11001\rangle + |11010\rangle + |11100\rangle)\right)$$

$$= \frac{\alpha}{2} |001\rangle + \frac{\alpha}{2} |010\rangle + \frac{\alpha}{2} |100\rangle + \frac{\beta}{2} |001\rangle + \frac{\beta}{2} |010\rangle + \frac{\beta}{2} |100\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |1\rangle$, maka:

$$(\langle \Pi_2 | \otimes I)|\psi\rangle =$$

$$\begin{aligned}
& ((\langle 1|) \otimes I) (\alpha |001\rangle + \alpha |010\rangle + \alpha |100\rangle + \beta |001\rangle + \beta |010\rangle + \beta |100\rangle) \\
& = \alpha |00\rangle + \beta |00\rangle
\end{aligned}$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Apabila diberikan informasi dua qubit khusus $\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$. Kemudian keadaan informasi dapat dipisah menjadi $|0\rangle \otimes \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ maka perumusan teleportasi adalah sebagai berikut:

- Skema 1

Keadaan terbelit yang digunakan: $|W\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)$, informasi satu qubit dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned}
|\psi\rangle &= (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle) \right) = \\
& \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right)
\end{aligned}$$

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
(\langle \pi_1 | \otimes I) |\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00| + \langle 11|) \otimes I \right) \\
& \left[\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle) \right) \right] \\
& = \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |10\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |00\rangle
\end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$(\langle \pi_2 | \otimes I) |\psi\rangle = (\langle 0| \otimes I) (\alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle + \beta |00\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | - \langle 11 |) \otimes I$$

$$\begin{aligned} & [(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle)) + (\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle))] \\ & = \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |10\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{6}} |00\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $| \pi_2 \rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle \langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle - \beta |00\rangle) = \alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$$

Hasil pengukuran kedua berlaku $\alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$.

c) Apabila pengukuran yang digunakan $| \pi_1 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I$$

$$\begin{aligned} & [(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle)) + (\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle))] \\ & = \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |00\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |01\rangle + \frac{\beta}{\sqrt{6}} |10\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $| \pi_2 \rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle \langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \beta |01\rangle + \beta |10\rangle) = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $| \pi_1 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I$$

$$\begin{aligned} & (\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|0001\rangle + |0010\rangle + |0100\rangle)) + (\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|1001\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle)) \\ & = \frac{\alpha}{\sqrt{6}} |00\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{6}} |01\rangle - \frac{\beta}{\sqrt{6}} |10\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $| \pi_2 \rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \langle \pi_2 | \otimes I \rangle | \psi \rangle = (\langle \langle 0 | \otimes I \rangle (\alpha |00\rangle - \beta |01\rangle - \beta |10\rangle) = \alpha |0\rangle - \beta |1\rangle$$

Pada hasil pengukuran, Alice akan memberitahukan kepada Bob melalui komunikasi klasik. Kemudian Bob akan melakukan rekonstruksi ulang dengan melakukan transformasi uniter dan perkalian langsung pada kubit pertama dengan $|0\rangle$. Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Apabila diberikan informasi dua qubit khusus $\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$. Maka:

- Skema 1

a) Apabila menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi_1 | \otimes I \rangle | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | + \langle 11 |) \otimes I \right)$$

$$\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle) = -$$

b) Apabila menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi | \otimes I \rangle | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)$$

$$= \frac{\alpha}{2} |001\rangle + \frac{\alpha}{2} |010\rangle + \frac{\alpha}{2} |100\rangle + \frac{\beta}{2} |001\rangle + \frac{\beta}{2} |010\rangle + \frac{\beta}{2} |100\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$. maka:

$$\langle \langle \pi_2 | \otimes I \rangle | \psi \rangle$$

$$(\langle \langle 0 | \otimes I \rangle (\alpha |001\rangle + \alpha |010\rangle + \alpha |100\rangle + \beta |001\rangle + \beta |010\rangle + \beta |100\rangle)$$

$$= \alpha |01\rangle + \alpha |10\rangle + \beta |01\rangle + \beta |10\rangle$$

c) Apabila menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \langle \pi_1 | \otimes I \rangle | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}} (|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |001\rangle + \frac{\alpha}{2} |010\rangle + \frac{\alpha}{2} |100\rangle + \frac{\beta}{2} |001\rangle + \frac{\beta}{2} |010\rangle + \frac{\beta}{2} |100\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$. maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_2 | \otimes I\rangle|\psi\rangle &= (\langle\langle 1 | \otimes I) (\alpha |001\rangle + \alpha |010\rangle + \alpha |100\rangle + \beta |001\rangle + \beta |010\rangle + \beta |100\rangle) \\ &= \alpha |00\rangle + \beta |00\rangle \end{aligned}$$

- Skema 3

Keadaan terbelit yang digunakan: $|W\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)$

Informasi dua qubit dilebur dalam kanal:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha |01\rangle + \beta |10\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{3}} (|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)\right) \\ &= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

- a) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I\rangle|\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{3}} (\langle 001 | + \langle 010 | + \langle 100 |) \otimes I\right) \\ &\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) \\ &= \frac{\alpha}{3} |01\rangle + \frac{\beta}{3} |01\rangle + \frac{\beta}{3} |10\rangle \end{aligned}$$

- b) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (-|100\rangle + |010\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I\rangle|\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{3}} (-\langle 001 | + \langle 010 | + \langle 111 |) \otimes I\right) \\ &\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) = - \end{aligned}$$

c) Apabila pengukuran digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle + |101\rangle + |011\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 110| + \langle 101| + \langle 011|) \otimes I) \\ &\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}}(|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) \\ &= \frac{\alpha}{3}|00\rangle + \frac{\beta}{3}|00\rangle \end{aligned}$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(-|011\rangle + |101\rangle + |000\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(-\langle 011| + \langle 101| + \langle 000|) \otimes I) \\ &\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}}(|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) \\ &= \frac{\alpha}{3}|00\rangle + \frac{\beta}{3}|00\rangle \end{aligned}$$

e) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle - |010\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 001| - \langle 010| + \langle 111|) \otimes I) \\ &\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}}(|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) \\ &= -\frac{\alpha}{3}|10\rangle - \frac{\alpha}{3}|01\rangle \end{aligned}$$

f) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|100\rangle + |001\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 100| + \langle 001| + \langle 111|) \otimes I) \\ &\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{3}}(|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) = - \end{aligned}$$

g) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle - |101\rangle + |000\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I) | \psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 110| - \langle 101| + \langle 000|) \otimes I)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) = \frac{\beta}{3}|00\rangle$$

h) Apabila pengukuran yang digunakan, $|\Gamma\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|011\rangle + |110\rangle + |000\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\Gamma_1 | \otimes I\rangle\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 011| + \langle 110| + \langle 000|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|01001\rangle + |01010\rangle + |01100\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|10001\rangle + |10010\rangle + |10100\rangle)\right) = \frac{\alpha}{3}|00\rangle$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B.

4.1.1.3. Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ-Like

Untuk informasi $(\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle)$

- Skema 1

keadaan terbelit yang digunakan $|\phi\rangle = (|\psi\rangle \otimes |B_{00}\rangle)$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

$$= \frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |111\rangle)$$

Kemudian dilakukan gerbang C-Not Gate untuk $|\phi\rangle$ dimana qubit 1 sebagai kontrol dan qubit 2 sebagai target. Menghasilkan: $\frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$.

Informasi dilebur dalam kanal

$$|\psi\rangle = (\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle) \otimes \frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$$

$$= \left(\frac{\alpha}{2}(|00000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2}(|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle)\right)$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\pi_1| \otimes I |\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00| + \langle 11|) \otimes I \right) \\ &\left(\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) \right) \\ &\left(\frac{\beta}{2} (|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle) \right) \\ &= \frac{\alpha}{2} |000\rangle + \frac{\alpha}{2} |011\rangle + \frac{\alpha}{2} |110\rangle + \frac{\alpha}{2} |101\rangle + \frac{\beta}{2} |000\rangle + \frac{\beta}{2} |011\rangle + \frac{\beta}{2} |110\rangle + \frac{\beta}{2} |101\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = (|0\rangle)$ maka:

$$\begin{aligned} \langle\pi_2| \otimes I |\psi\rangle &= ((\langle 0|) \otimes I) (\alpha |000\rangle + \alpha |011\rangle + \alpha |110\rangle + \alpha |101\rangle + \beta |000\rangle + \beta |011\rangle + \\ &\beta |110\rangle + \beta |101\rangle) = \alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle + \beta |00\rangle + \beta |11\rangle \end{aligned}$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\pi_1| \otimes I |\psi\rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01| + \langle 10|) \otimes I \right) \\ &\left(\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) \right) \\ &\left(\frac{\beta}{2} (|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle) \right) = - \end{aligned}$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Jika diberikan keadaan atau informasi dua qubit Khusus $\alpha|00\rangle + \beta|10\rangle$. Kemudian keadaan informasi dapat dipisah menjadi $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \otimes |0\rangle$. maka perumusan teleportasi adalah sebagai berikut:

- Skema 1

keadaan terbelit yang digunakan: $|\phi\rangle = (|\psi\rangle \otimes |B_{00}\rangle)$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) = \frac{1}{2} (|000\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |111\rangle)$$

Kemudian dilakukan gerbang C-Not Gate untuk $|\phi\rangle$, dimana qubit 1 sebagai kontrol dan qubit 2 sebagai target. Menghasilkan: $\frac{1}{2} (|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$, informasi dilebur dalam kanal

$$|\psi\rangle = (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) \otimes \frac{1}{2} (|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$$

$$= \left(\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right)$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)$$

$$= \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle + \frac{\beta}{2} |10\rangle + \frac{\beta}{2} |01\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = (|0\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I |\psi\rangle = (\langle 0| \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle + \beta |10\rangle + \beta |01\rangle) = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi | \otimes I |\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| - \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \left(\frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right) \\ & = \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle - \frac{\beta}{2} |10\rangle - \frac{\beta}{2} |01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle - \beta |10\rangle - \beta |01\rangle) = \alpha |0\rangle - \beta |1\rangle$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \left(\frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right) \\ & = \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle + \beta |00\rangle + \beta |11\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I\right)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \left(\frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle)\right) \\ & = \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 0 | \otimes I) (\alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle - \beta |00\rangle - \beta |11\rangle) = \alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$$

- Skema 2

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00| + \langle 11|) \otimes I \right) \\ &\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle + \frac{\beta}{2} |10\rangle + \frac{\beta}{2} |01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = (|1\rangle)$, maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = ((\langle 1|) \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle + \beta |10\rangle + \beta |01\rangle) = \alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$$

maka hasil pengukuran kedua berlaku $\alpha |1\rangle + \beta |0\rangle$.

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \Pi | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00| - \langle 11|) \otimes I \right) \\ &\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\alpha}{2} |11\rangle - \frac{\beta}{2} |10\rangle - \frac{\beta}{2} |01\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |1\rangle$, maka:

$$\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = ((\langle 1|) \otimes I) (\alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle - \beta |10\rangle - \beta |01\rangle) = \alpha |1\rangle - \beta |0\rangle$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \Pi | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01| + \langle 10|) \otimes I \right) \\ &\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) + \frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle + \frac{\beta}{2} |00\rangle + \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$, maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 1 | \otimes I) (|10\rangle + \alpha|01\rangle + \beta|00\rangle + \beta|11\rangle) = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle \pi_1 | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | - \langle 10 |) \otimes I \right) \\ & \left(\frac{\alpha}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |0110\rangle + |0101\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{2} (|1000\rangle + |1011\rangle + |1110\rangle + |1101\rangle) \right) \\ &= \frac{\alpha}{2} |10\rangle + \frac{\alpha}{2} |01\rangle - \frac{\beta}{2} |00\rangle - \frac{\beta}{2} |11\rangle \end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$ maka:

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle = (\langle 1 | \otimes I) (\alpha|10\rangle + \alpha|01\rangle - \beta|00\rangle - \beta|11\rangle) = \alpha|0\rangle - \beta|1\rangle$$

Pada hasil pengukuran, Alice akan memberitahukan kepada Bob melalui komunikasi klasik. Kemudian Bob akan melakukan rekonstruksi ulang dengan melakukan transformasi uniter dan perkalian langsung pada qubit pertama dengan $|0\rangle$. Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B. Jika diberikan keadaan atau informasi dua qubit Khusus $\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$.

- Skema 1

Informasi dilebur dalam kanal

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= (\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle) \otimes \frac{1}{2} (|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle) \\ &= \left(\frac{\alpha}{2} (|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{2} (|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle) \right) \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila Alice menggunakan pengukuran basis $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}(|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle)\right) +$$

$$\left(\frac{\beta}{2}(|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle)\right) = -$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| + \langle 10|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}(|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2}(|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle +$$

$$|10101\rangle)\right) = \frac{\alpha}{2}|000\rangle + \frac{\alpha}{2}|011\rangle + \frac{\alpha}{2}|110\rangle + \frac{\alpha}{2}|101\rangle + \frac{\beta}{2}|000\rangle + \frac{\beta}{2}|011\rangle + \frac{\beta}{2}|110\rangle + \frac{\beta}{2}|101\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan menggunakan $|\pi_2\rangle = |0\rangle$,

$$\langle\langle\pi_2 | \otimes I)|\psi\rangle = (\langle 0| \otimes I)(\alpha|000\rangle + \alpha|011\rangle + \alpha|110\rangle + \alpha|101\rangle$$

$$+ \beta|000\rangle + \beta|011\rangle + \beta|110\rangle + \beta|101\rangle)$$

$$= \alpha|00\rangle + \alpha|11\rangle + \beta|11\rangle + \beta|00\rangle$$

- Skema 2

a) Apabila Alice menggunakan pengukuran $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}(|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle)\right) +$$

$$\left(\frac{\beta}{2}(|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle)\right) = -$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\pi_1 | \otimes I)|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 01| + \langle 10|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}(|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{2}(|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle)\right)$$

$$= \frac{\alpha}{2} |000\rangle + \frac{\alpha}{2} |011\rangle + \frac{\alpha}{2} |110\rangle + \frac{\alpha}{2} |101\rangle + \frac{\beta}{2} |000\rangle + \frac{\beta}{2} |011\rangle + \frac{\beta}{2} |110\rangle + \frac{\beta}{2} |101\rangle$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan menggunakan $|\pi_2\rangle = |1\rangle$,

$$\langle \pi_2 | \otimes I | \psi \rangle$$

$$= (\langle 1 | \otimes I) (\alpha |000\rangle + \alpha |011\rangle + \alpha |110\rangle + \alpha |101\rangle + \beta |000\rangle$$

$$+ \beta |011\rangle + \beta |110\rangle + \beta |101\rangle)$$

$$= \alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle + \beta |10\rangle + \beta |01\rangle$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi $\alpha |01\rangle + \beta |10\rangle$ akan ditampilkan pada lampiran B.

4.2. Informasi Dua Qubit Sembarang

Diberikan keadaan atau informasi dua qubit sembarang.

$$|x\rangle = \alpha |00\rangle + \beta |01\rangle + \gamma |10\rangle + \delta |11\rangle$$

Dimana berlaku $|\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2 + |\delta|^2 = 1$.

4.2.1.1 Kanal Terbeli GHZ

- Skema 1

keadaan terbelit yang digunakan: $|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$

Informasi dilebur dalam kanal

$$|\psi\rangle = (\alpha |00\rangle + \beta |01\rangle + \gamma |10\rangle + \delta |11\rangle) \otimes \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)\right)$$

$$= \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|00000\rangle + |00111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \\ \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11000\rangle + |11111\rangle) \right)$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

- a) Apabila menggunakan pengukuran $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 000 | + \langle 111 |) \otimes I \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|00000\rangle + |00111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11000\rangle + |11111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |00\rangle + \frac{\delta}{2} |11\rangle$$

- b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|100\rangle + |011\rangle)$, maka:

$$\langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 100 | + \langle 011 |) \otimes I \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|00000\rangle + |00111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11000\rangle + |11111\rangle) \right) = \frac{\beta}{2} |11\rangle + \frac{\gamma}{2} |00\rangle$$

- c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|110\rangle + |001\rangle)$, maka:

$$\langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 110 | + \langle 001 |) \otimes I \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} (|00000\rangle + |00111\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} (|01000\rangle + |01111\rangle) \right) + \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10000\rangle + |10111\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11000\rangle + |11111\rangle) \right) = \frac{\alpha}{2} |11\rangle + \frac{\delta}{2} |00\rangle$$

- d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|101\rangle + |010\rangle)$, maka:

$$\langle \pi | \otimes I | \psi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 101 | + \langle 010 |) \otimes I$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|00000\rangle + |00111\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}}(|01000\rangle + |01111\rangle)\right) + \\ & \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}}(|10000\rangle + |10111\rangle)\right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}(|11000\rangle + |11111\rangle)\right) = \frac{\gamma}{2}|11\rangle + \frac{\delta}{2}|00\rangle \end{aligned}$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi dua qubit sembarang akan ditampilkan pada lampiran B.

4.2.1.2 Pengiriman Keadaan Terbelit W

- **Skema 1**

Keadaan terbelit yang digunakan: $|W\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|100\rangle + |010\rangle + |001\rangle)$

Informasi dilebur dalam kanal

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle \otimes \frac{1}{\sqrt{3}}(|100\rangle + |010\rangle + |001\rangle) = \\ & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle)\right) + \\ & \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}}(|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle)\right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}(|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle)\right) \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila menggunakan pengukuran $|\Pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|100\rangle + |010\rangle + |001\rangle)$,

$$\text{maka: } (\langle\Pi| \otimes I)|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 100| + \langle 010| + \langle 001|) \otimes I$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle)\right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle)\right) + \\ & \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}}(|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle)\right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}(|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle)\right) \\ & = \frac{\alpha}{3}|00\rangle + \frac{\beta}{3}|10\rangle + \frac{\beta}{3}|01\rangle + \frac{\gamma}{3}|10\rangle + \frac{\gamma}{3}|01\rangle \end{aligned}$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|000\rangle + |110\rangle + |011\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\pi| \otimes I |\psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 000| + \langle 110| + \langle 011|) \otimes I \\ & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) + \right. \right. \\ & \left. \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}}(|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}(|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) \right) \\ &= \frac{\alpha}{3} |10\rangle + \frac{\alpha}{3} |01\rangle + \frac{\beta}{3} |00\rangle + \frac{\delta}{3} |10\rangle + \frac{\delta}{3} |01\rangle \end{aligned}$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle - |010\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned} \langle\pi| \otimes I |\psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 111| + \langle 010| - \langle 001|) \otimes I \\ & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) + \right. \right. \\ & \left. \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}}(|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}(|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) \right) \\ &= -\frac{\alpha}{3} |00\rangle + \frac{\beta}{3} |01\rangle + \frac{\beta}{3} |10\rangle + \frac{\delta}{3} |00\rangle \end{aligned}$$

Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|111\rangle + |100\rangle + |001\rangle)$:

d)
$$\begin{aligned} \langle\pi| \otimes I |\psi\rangle &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 111| + \langle 100| + \langle 001|) \otimes I \\ & \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}}(|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}}(|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) + \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}}(|10100\rangle + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. |10010\rangle + |10001\rangle) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}(|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) \right) \\ &= \frac{\alpha}{3} |00\rangle + \frac{\gamma}{3} |10\rangle + \frac{\delta}{3} |00\rangle \end{aligned}$$

e) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle - |101\rangle + |000\rangle)$, maka:

$$\langle\pi| \otimes I |\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 000| + \langle 110| - \langle 101|) \otimes I$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) \\
& = \frac{\alpha}{3} |01\rangle + \frac{\alpha}{3} |10\rangle - \frac{\gamma}{3} |00\rangle + \frac{\delta}{3} |10\rangle + \frac{\delta}{3} |01\rangle
\end{aligned}$$

f) Apabila pengukuran digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(-|100\rangle + |010\rangle + |111\rangle)$, maka:

$$(\langle\pi| \otimes I)|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 111| - \langle 100| + \langle 010|) \otimes I)$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) \\
& = \frac{\beta}{3} |10\rangle + \frac{\beta}{3} |01\rangle - \frac{\gamma}{3} |10\rangle - \frac{\gamma}{3} |01\rangle + \frac{\delta}{3} |00\rangle
\end{aligned}$$

g) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|110\rangle + |101\rangle + |011\rangle)$, maka:

$$(\langle\pi| \otimes I)|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 110| + \langle 101| + \langle 011|) \otimes I)$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) \\
& = \frac{\beta}{3} |00\rangle + \frac{\gamma}{3} |00\rangle + \frac{\delta}{3} |01\rangle + \frac{\delta}{3} |10\rangle
\end{aligned}$$

h) Apabila pengukuran yang digunakan $|\pi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(-|011\rangle + |101\rangle + |000\rangle)$,

$$\text{maka: } (\langle\pi| \otimes I)|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(\langle 101| + \langle 000| - \langle 011|) \otimes I)$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\alpha}{\sqrt{3}} (|00100\rangle + |00010\rangle + |00001\rangle) \right) + \left(\frac{\beta}{\sqrt{3}} (|01100\rangle + |01010\rangle + |01001\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{\sqrt{2}} (|10100\rangle + |10010\rangle + |10001\rangle) \right) + \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} (|11100\rangle + |11010\rangle + |11001\rangle) \right) = \\
& \frac{\alpha}{3} |01\rangle + \frac{\alpha}{3} |10\rangle - \frac{\beta}{3} |00\rangle + \frac{\gamma}{3} |00\rangle
\end{aligned}$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi dua qubit sembarang akan ditampilkan pada lampiran B.

4.2.1.3. Pengiriman Keadaan Terbelit GHZ-Like

- skema 1

keadaan terbelit yang digunakan: $|\phi\rangle = (|\psi\rangle \otimes |B_{00}\rangle)$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) = \frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |111\rangle)$$

Kemudian dilakukan gerbang C-Not Gate untuk $|\phi\rangle$ dimana qubit 1 sebagai kontrol dan qubit 2 sebagai target. Menghasilkan: $\frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$, informasi dilebur dalam kanal

$$|\psi\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle \otimes \frac{1}{2}(|000\rangle + |011\rangle + |110\rangle + |101\rangle)$$

$$= \left(\frac{\alpha}{2}(|00000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) +$$

$$\left(\frac{\beta}{2}(|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle)\right) +$$

$$\left(\frac{\gamma}{2}(|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle)\right) +$$

$$\left(\frac{\delta}{2}(|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle)\right)$$

Kemudian dilakukan pengukuran.

a) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Gamma_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\langle\langle\Gamma_1 | \otimes I\rangle|\psi\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\langle 00| + \langle 11|) \otimes I\right)$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}(|00000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) +$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\beta}{2} (|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{2} (|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\delta}{2} (|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle) \right) \\
= & \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |101\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |101\rangle
\end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = (|0\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \langle \Pi_2 | \otimes I \rangle | \psi \rangle &= (\langle \langle 0 | \otimes I) \\
& (\alpha |000\rangle + \alpha |011\rangle + \alpha |110\rangle + \alpha |101\rangle + \delta |000\rangle + \delta |011\rangle + \delta |110\rangle + \delta |101\rangle) \\
&= \alpha |00\rangle + \alpha |11\rangle + \delta |00\rangle + \delta |11\rangle
\end{aligned}$$

b) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \langle \Pi_1 | \otimes I \rangle | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right) \\
& \left(\frac{\alpha}{2} (|00000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) + \right. \\
& \left. \frac{\beta}{2} (|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{2} (|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\delta}{2} (|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle) \right) \\
= & \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |101\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |101\rangle
\end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |0\rangle$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \langle \Pi_2 | \otimes I \rangle | \psi \rangle &= (\langle \langle 0 | \otimes I) \\
& (\beta |000\rangle + \beta |011\rangle + \beta |110\rangle + \beta |101\rangle + \gamma |000\rangle + \gamma |011\rangle + \gamma |110\rangle + \gamma |101\rangle) \\
&= \beta |00\rangle + \beta |11\rangle + \gamma |00\rangle + \gamma |11\rangle
\end{aligned}$$

c) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \langle \Pi_1 | \otimes I \rangle | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 00 | + \langle 11 |) \otimes I \right) \\
& \left(\frac{\alpha}{2} (|00000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) + \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\beta}{2} (|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{2} (|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\delta}{2} (|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle) \right) \\
= & \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\alpha}{2\sqrt{2}} |101\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\delta}{2\sqrt{2}} |101\rangle
\end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = (|1\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle &= (\langle 1 | \otimes I) (\alpha |000\rangle + \alpha |011\rangle + \alpha |110\rangle + \alpha |101\rangle + \delta |000\rangle + \\
& \delta |011\rangle + \delta |110\rangle + \delta |101\rangle) = \alpha |10\rangle + \alpha |01\rangle + \delta |10\rangle + \delta |01\rangle
\end{aligned}$$

d) Apabila pengukuran yang digunakan $|\Pi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle)$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \Pi_1 | \otimes I | \psi \rangle &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} (\langle 01 | + \langle 10 |) \otimes I \right) \\
& \left(\frac{\alpha}{2} (|00000\rangle + |00011\rangle + |00110\rangle + |00101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\beta}{2} (|01000\rangle + |01011\rangle + |01110\rangle + |01101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\gamma}{2} (|10000\rangle + |10011\rangle + |10110\rangle + |10101\rangle) \right) + \\
& \left(\frac{\delta}{2} (|11000\rangle + |11011\rangle + |11110\rangle + |11101\rangle) \right) \\
= & \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\beta}{2\sqrt{2}} |101\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |000\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |110\rangle + \frac{\gamma}{2\sqrt{2}} |101\rangle
\end{aligned}$$

Alice melakukan pengukuran kembali dengan $|\Pi_2\rangle = |1\rangle$, maka:

$$\begin{aligned}
\langle \Pi_2 | \otimes I | \psi \rangle &= (\langle 1 | \otimes I) \\
& (\beta |000\rangle + \beta |011\rangle + \beta |110\rangle + \beta |101\rangle + \gamma |000\rangle + \gamma |011\rangle + \gamma |110\rangle + \gamma |101\rangle) \\
= & \beta |01\rangle + \beta |10\rangle + \gamma |01\rangle + \gamma |10\rangle
\end{aligned}$$

Tabel hasil perumusan teleportasi informasi dua qubit sembarang akan ditampilkan pada lampiran B.

4.3 “TELEPORTASI” Dalam Al-Qur’an.

Teleportasi memiliki arti memindahkan suatu materi dari satu tempat ke tempat lain dalam sekejap. Salah satu kesuksesan dalam mengembangkan informasi kuantum adalah teleportasi kuantum, yaitu sebuah peristiwa mentransfer keadaan kuantum dari satu tempat ke tempat lain. Konsep teleportasi sendiri sudah banyak ditampilkan dalam berbagai imajinasi manusia, seperti dalam ranah fiksi ilmiah, contohnya film *Star Trek* karya Gene Roddenbery. Dalam serial itu, peristiwa teleportasi melibatkan mesin guna memindai tubuh seseorang, dan mesin di tempat lain mengumpulkan kembali bentuk tubuh yang dikirim. Dengan tubuh asli di awal dipindai untuk mengekstrak informasi-informasi yang diperlukan sebelum melakukan teleportasi. Sehingga saat sampai di stasiun penerima akan dibuat replika seperti bentuk aslinya. (Ciaran, 2021). Semua kehebatan tersebut membuat para ilmuwan bertanya-tanya: apakah teleportasi mungkin dilakukan di kehidupan nyata?. Jawabannya adalah Ya, secara teknis seperti yang telah dipaparkan dalam skripsi ini. Namun, proses hingga saat ini masih sangat jauh dari kata berhasil sampai manusia sendiri dapat melakukan perpindahan secara singkat seperti film fiksi yang kita tonton.

Berdasarkan teori Eistein tentang relativitas: “Tidak ada yang lebih cepat daripada kecepatan cahaya” (*nothing can travel faster than the speed of light*), yang dapat diartikan sesuatu yang menghilang dari satu tempat dan muncul di tempat lain dalam sekejap adalah hal yang mustahil. Jika memang saat ini teleportasi belum dapat dilakukan dengan manusia sungguhan melalui kecepatan cahaya, setidaknya masih dapat mengirimkan informasi yang secara efektif dapat memindahkan susunan biologis ke tempat lain melalui informasi yang diterima. Namun, jika yang ditransmisikan hanya

berupa informasi biologis manusia, bukan dari atom sebenarnya. Artinya manusia yang asli sudah tidak ada lagi dan digantikan secara replika.

Masalah lain yang berkaitan dengan teleportasi adalah Prinsip Ketidakpastian Heisenberg, yang memberitahu bahwa kita tidak dapat mengetahui atau menentukan secara tepat bagaimana dan dimana atom itu berada, yang mana kedua hal itu sangat penting untuk menciptakan kembali manusia yang diteleportasi.

Dalam beberapa tahun terakhir, para ilmuwan telah berhasil melakukan teleportasi dalam ranah kuantum atau tingkat subatom melalui keterikatan kuantum, yang terjadi ketika sifat-sifat partikel saling mempengaruhi walaupun jarak antar partikel terpisah sangat jauh. Salah satu ilmuwan yang berhasil mendemostrasikan teleportasi ini adalah Carless Bennet dan kawan-kawannya melalui jurnal yang terbit tahun 1993. Dalam jurnal tersebut dijelaskan bahwa teleportasi kuantum dapat terjadi jika bentuk aslinya dihancurkan. Kemudian akan dilebur melalui kanal terbelit, yang merupakan kunci dari teleportasi kuantum. Karya Bennet tentang teleportasi telah dikembangkan oleh ilmuwan lain dan akan terus berlanjut hingga sampai pada tahapan secara eksperimen. Melihat peluang yang ada hingga saat ini. Tentu tidak mungkin mustahil teleportasi dapat dilakukan dalam skala yang lebih besar, contoh teleportasi pada benda atau manusia.

Dalam Al-Qur'an pun membicarakan berbagai peristiwa yang berkaitan dengan teleportasi. Salah satunya ada di dalam surat An-Naml ayat 38 hingga 40 yang berbunyi:

قَالَ يَا أَيُّهَا الْمَلَأُوا أَيُّكُمْ يَأْتِينِي بِعَرْشِهَا قَبْلَ أَنْ يَأْتُونِي مُسْلِمِينَ
قَالَ عَفْرَيْتُ مِنَ الْجِنَّ أَنَا أُنِيبُ بِهِ قَبْلَ أَنْ تَقُومَ مِنْ مَقَامِكَ وَإِنِّي عَلَيْهِ لَقَوِيٌّ أَمِينٌ

قَالَ الَّذِي عِنْدَهُ عِلْمٌ مِّنَ الْكِتَابِ أَنَا آتِيكَ بِهِ قَبْلَ أَنْ يَرْتَدَّ إِلَيْكَ طَرْفُكَ فَلَمَّا رآهُ مُسْتَعْزِزًا عِنْدَهُ قَالَ هَذَا مِنْ فَضْلِ رَبِّي لِيَبْلُوَنِي ءَأَشْكُرُ أَمْ أَكْفُرُ وَمَنْ شَكَرَ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ ۗ وَمَنْ كَفَرَ فَإِنَّ رَبِّي غَنِيٌّ كَرِيمٌ

Yang artinya: Dia (Sulaiman) berkata, “Wahai para pembesar, siapakah di antara kamu yang sanggup membawakanku singgasananya sebelum mereka datang menyerahkan diri?” [38]

Ifrit dari golongan jin berkata, “Akulah yang akan membawanya kepadamu sebelum engkau berdiri dari singgasanamu. Sesungguhnya aku benar-benar kuat lagi dapat dipercaya.” [39]

Seorang yang mempunyai ilmu dari kitab suci berkata, “Aku akan mendatangiimu dengan membawa (singgasana) itu sebelum matamu berkedip.” Ketika dia (Sulaiman) melihat (singgasana) itu ada di hadapannya, dia pun berkata, “Ini termasuk karunia Tuhanku untuk mengujiku apakah aku bersyukur atau berbuat kufur. Siapa yang bersyukur, maka sesungguhnya dia bersyukur untuk (kebaikan) dirinya sendiri. Siapa yang berbuat kufur, maka sesungguhnya Tuhanku Maha Kaya lagi Maha Mulia.”[40]

Di dalam al-Qur’an terdapat kisah-kisah yang penuh dengan pelajaran berharga. Diantaranya yaitu kisah Nabi Sulaiman ‘alaihissalaam. Alkisah, Nabi Sulaiman mendapatkan berita dari kerajaan Yaman yang saat itu dipimpin oleh seorang Ratu, bernama Balqis atau Ratu Saba’ (*Queen of Sheba*). Bahwa sang ratu beserta rombongannya akan datang menuju Syam Mengunjungi kerajaan Sulaiman untuk menyaksikan sendiri keadaan Sang Nabi beserta agama yang diserukannya. Ratu Balqis memerintahkan para pengawal agar singgasana yang terbuat dari berbagai batu permata dan lapis emas dijaga dan melarang seorang pun untuk masuk hingga sang ratu kembali. Sementara itu, Nabi Sulaiman ingin memperlihatkan kepadanya tanda-tanda Kebesaran Allah agar Ratu Balqis dan kaumnya beriman kepada Allah. Beliau mengumpulkan semua jin dan manusia yang berada di bawah kekuasannya, lalu ia berkata “*Wahai para pembesar, siapakah di antara kamu yang sanggup membawakanku singgasananya sebelum mereka datang menyerahkan diri?*”.

Mendengar seruan Nabi Sulaiman, datanglah makhluk dari golongan jin 'Ifrit menawarkan diri seraya berkata. *“Akulah yang akan membawanya kepadamu sebelum engkau berdiri dari singgasanamu. Sesungguhnya aku benar-benar kuat lagi dapat dipercaya.”*. Dalam tafsir tahlili dijelaskan maksud dari *‘sebelum engkau berdiri dari singgasanamu’* ialah sebelum waktu tengah hari.

Nabi Sulaiman merasa belum puas dengan kemampuan Ifrit dan menginginkan perpindahan singgasana yang lebih cepat. Kemudian datanglah seorang yang telah memperoleh ilmu dari al-Kitab Taurat dan Zabur berkata *“Aku akan mendatangimu dengan membawa (singgasana) itu sebelum matamu berkedip.”* Apa yang dikatakan orang berilmu itu-pun terbukti. Ada beberapa riwayat menjelaskan siapa orang berilmu yang dimaksud, salah satunya dalam kitab Ibn Katsir bahwa ia adalah laki-laki solih bernama Asif Ibn Barkhiya. Ayat di atas juga menjelaskan tentang seorang berilmu yang menawarkan diri untuk membawa dan memindahkan singgasana Nabi Sulaiman dalam waktu kedipan mata. Jika ditelusuri ke ayat sebelumnya, yaitu ayat 39. Dikisahkan jin menawarkan memindahkan singgasana sebelum orang berilmu menawarkan diri. Pada akhirnya, pemindahan dilakukan oleh orang berilmu dan dapat menginterpretasikan bahwa proses tersebut tidak dilakukan pada dimensi lain, yaitu dimensi jin, tetapi dilakukan pada dimensi manusia. Dengan kata lain, ayat ini tidak membawa kita kepada pemahaman keberadaan ruang dan waktu, tetapi lebih kepada peristiwa perpindahan objek dalam waktu singkat yang kemudian dapat dijadikan acuan dan landasan untuk sistem teleportasi (purwanto, 2007).

Kisah yang sudah diceritakan diatas merupakan cikal bakal munculnya teleportasi kuantum. QS. An Naml ayat 38-40 memberikan gambaran dari fenomena teleportasi paling jelas yang bisa menggambarkan kecanggihan teknologi yang telah dimiliki Kerajaan Nabi Sulaiman yang hidup di zaman 3000 tahun lalu.

Peristiwa lain yang berkaitan dengan teleportasi adalah perjalanan Isra' Mi'raj Nabi Muhammad SAW melalui QS Al-Isra ayat 1 yang berbunyi:

Allah Subhanahu wa Ta'ala berfirman:

سُبْحَانَ الَّذِي أَسْرَى بِعَبْدِهِ لَيْلًا مِّنَ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ إِلَى الْمَسْجِدِ الْأَقْصَا الَّذِي بَرَكْنَا حَوْلَهُ لِنُرِيَهُ مِنَ
أَيْنَمَا أَنَّهُ هُوَ السَّمِيعُ الْبَصِيرُ

Maha Suci (Allah) yang telah memperjalankan hamba-Nya (Nabi Muhammad) pada malam hari dari Masjidilharam ke Masjidilaqsa yang telah Kami berkahi sekelilingnya⁴²⁵ agar Kami perlihatkan kepadanya sebagian tanda-tanda (kebesaran) Kami. Sesungguhnya Dia Maha Mendengar lagi Maha Melihat.

Isra' Mi'raj merupakan peristiwa atas perintah Allah kepada Nabi Muhammad di malam hari yang bertujuan untuk melaksanakan perintah sholat. Peristiwa tersebut dijelaskan melalui hadist yang diriwayatkan oleh Ahmad dari Anas bin Malik. Bahwa Raulullah SAW bersabda: “Didatangkan kepadaku Buraq, yaitu binatang putih lebih besar dari himār, dan lebih kecil dari bigāl. Ia melangkahakan kakinya sejauh pandangan mata. Kemudian saya mengendarainya, lalu ia membawaku sehingga sampai ke Baitul Makdis. Kemudian saya mengikatnya pada tempat para nabi mengikatkan kendaraannya. Kemudian saya salat dua rakaat di dalamnya, lalu saya keluar. Kemudian Jibril membawa kepadaku sebuah bejana yang berisi minuman keras (khamar) dan sebuah lagi berisi susu; lalu saya pilih yang berisi susu, lantas Jibril berkata, “Engkau telah memilih fitrah sebagai pilihan yang benar.”

Jika dilihat dari makna yang terkandung dari kedua ayat tersebut memiliki kesamaan dan perbedaan. Kesamaan kedua ayat di atas yaitu menjelaskan peristiwa teleportasi. Perbedaannya adalah merujuk pada dimensi waktu yang digunakan. Teleportasi di Surat An-Naml terjadi perpindahan tempat di bumi, sedangkan surat Al-Isra terjadi dari bumi menuju langit dan sebaliknya hanya dalam waktu satu malam. Artinya, surat An-Naml menjelaskan hanya peristiwa perpindahan sedangkan surat Al-Isra menjelaskan peristiwa perpindahan dengan memunculkan dimensi antar ruang-waktu (Purwanto, 2015).

Melalui kedua peristiwa di atas, sudah seharusnya sebagai muslim meneladani dan menyadari kebenaran fakta bahwa peristiwa tersebut terjadi secara nyata dan bukan dongeng belaka. Al-Qur'an dapat dijadikan pelajaran bagi para ilmuwan masa kini agar dapat berpikir serta menggali lebih jauh isyarat ilmu pengetahuan dan teknologi tingkat tinggi yang secara tersirat dijelaskan dalam ayat-ayat Al-Qur'an di atas. Saat ini teknologi masih terus dikembangkan dan di suatu waktu dapat menteleportasikan manusia atau bahkan memindahkan singgasana seperti dalam kisah Nabi Sulaiman. Hingga akhirnya, segala puja dan puji hanya bagi Allah SWT. Tuhan seluruh alam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pada Bab III dan Bab IV mengenai pengiriman informasi satu dan dua qubit melalui kanal terbelit tiga qubit diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Keadaan kanal tiga qubit yang mampu mengirim keadaan satu dan dua qubit adalah sebagai berikut:
 - Informasi satu qubit dan dua qubit khusus untuk keadaan tidak terbelit dapat dikirim melalui kanal tiga qubit (GHZ, W, dan GHZ-Like)
 - Informasi dua qubit khusus untuk keadaan terbelit hanya dapat dikirim melalui kanal GHZ.
 - Dua qubit sembarang tidak dapat dikirim melalui kanal tiga qubit (GHZ, W, dan GHZ-Like)
 - Keadaan kanal terbelit tiga qubit yang mampu mengirim keadaan satu dan dua qubit menghasilkan probabilitas keberhasilan pengiriman sebagai berikut:
2. Informasi satu qubit, probabilitas tertinggi ada pada kanal GHZ dan GHZ-like yang seluruhnya menghasilkan probabilitas 100%. Kemudian kanal W hanya menghasilkan probabilitas sebesar 66,6%. Informasi dua qubit khusus baik yang terbelit atau tidak menghasilkan variasi nilai probabilitas. Informasi dua qubit sembarang tidak menghasilkan probabilitas.

3. Informasi satu qubit, efisiensi tertinggi ada pada kanal W dan GHZ-Like memiliki efisiensi sebesar 20%, kemudian kanal GHZ dengan efisiensi 16,6%. Informasi dua qubit khusus untuk semua skema pada kanal GHZ, W, dan GHZ-Like mampu mengirimkan keadaan informasi memiliki efisiensi 40%. Informasi dua qubit sembarang tidak menghasilkan efisiensi.

5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya beralih pada teleportasi kuantum qubit kanal terbelit rangkap 4.

DAFTAR PUSTAKA

- Cunha, M. M., Fonseca, A., & Silva, E. O. (2019). Tripartite entanglement: Foundations and applications. *Universe*, 5(10), 1–33. <https://doi.org/10.1007/s12648-010-0096-x>
- Aydin, A. (2010). Quantum Teleportation. *Indian Journal of Physics*, 84(8), 1021–1029. <https://doi.org/10.1007/s12648-010-0096-x>
- BELL, J. S. (2001). on the Einstein Podolsky Rosen Paradox. *John S Bell on the Foundations of Quantum Mechanics*, 1(3), 7–12. https://doi.org/10.1142/9789812386540_0002
- Bennett, C. H., Brassard, G., Crepeau, C., Jozsa, R., Peres, A., & Wootters, W. K. (1993). Teleporting an. *Physical Review*, 70(13). doi.org/10.3390/universe5100209
- de Ronde, C., & Massri, C. (2018). *Against Collapses, Purity and Separability Within the Definition of Quantum Entanglement*. 1–18. <http://arxiv.org/abs/1808.10030>
- Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.47.777>
- Gorbachev, V. N., & Trubilko, a. I. (1999). *Quantum teleportation of EPR pair by three-particle entanglement. 1*, 1–7. <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9906110v1>
- Hughes, C., Isaacson, J., Perry, A., Sun, R. F., & Turner, J. (2021). Quantum Computing for the Quantum Curious. In *Quantum Computing for the Quantum Curious*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61601-4>
- Khuzaimah, F., Sukamto, H., & Purwanto, A. (2018a). Teleportasi Kuantum Informasi Satu Qubit dan Dua Qubit Sembarang Melalui Keadaan Gugus Empat Qubit. In *Jurnal Sains dan Seni ITS* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i1.28824>
- Khuzaimah, F., Sukamto, H., & Purwanto, A. (2018b). Teleportasi Kuantum Informasi Satu Qubit dan Dua Qubit Sembarang Melalui Keadaan Gugus Empat Qubit. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(1). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i1.28824>
- Lai, A. C., Pedicini, M., & Rognone, S. (2016). Quantum entanglement and the Bell matrix. *Quantum Information Processing*, 15(7), 2923–2936. <https://doi.org/10.1007/s11128-016-1302-3>
- Longair, M. (2010). Quantum concepts in physics: An alternative approach to the understanding of quantum mechanics. In *Quantum Concepts in Physics: An Alternative Approach to the Understanding of Quantum Mechanics* (Vol. 9781107017). <https://doi.org/10.1017/CBO9781139062060>
- López, G. V., Montes, G., Avila, M., & Rueda-Paz, J. (2017). About Factorization of

- Quantum States with Few Qubits. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 05(02), 469–480. <https://doi.org/10.4236/jamp.2017.52042>
- Nakahara, M. (2015). Quantum computing. *Machine Design*, 87(1), 36–41. <https://doi.org/10.1145/3402127.3402131>
- Nielsen, M. (2011). Quantum Computation and Quantum Information, by M.A. Nielsen and I.L. Chuang. In *Contemporary Physics* (Vol. 52, Issue 6). <https://doi.org/10.1080/00107514.2011.587535>
- Purwanto, A. (2015). *ayat-ayat-semester AGUS PURWANTO.pdf* (pp. 1–534).
- Purwanto, A., Sukanto, H., & Yuwana, L. (2018). Formal Conditions on Quantum Teleportation. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(18), 1–6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i18/122371>
- Rahayu, I. (2017). *Teleportasi Kuantum Informasi Dua Qubit Melalui Keadaan Terbelit Tiga Qubit*.
- Schumacher, B., & Westmoreland, M. (2010). Quantum Processes Systems, and Information. In *Quantum Processes Systems, and Information*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511814006>
- Susskind, L. (2014). *QUANTUM MECHANIC the theoretical minimum*. Basic Books.
- The theoretical minimum: what you need to know to start doing physics. (2013). *Choice Reviews Online*. <https://doi.org/10.5860/choice.50-6241>
- Trenggana, A. (2017). *Perumusan umum teleportasi kuantum qubit tunggal sembarang melalui qubit rangkap tiga*.
- Wehner, S., & Ng, N. (n.d.). *Lecture Notes*.
- Yang, K., Huang, L., Yang, W., & Song, F. (2009). Quantum teleportation via GHZ-like state. *International Journal of Theoretical Physics*, 48(2), 516–521. <https://doi.org/10.1007/s10773-008-9827-6>
- Yuwana, L., Purwanto, A., . E., & Januriyanto, D. (2017). Entanglement identification of arbitrary two-qubit quantum channels and the capabilities to realise quantum teleportation. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(43), 1–4. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i43/11848>

LAMPIRAN A

TABEL KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT UNTUK MENGIRIMKAN INFORMASI SATU QUBIT.

Berikut adalah hasil perhitungan teleportasi informasi satu qubit melalui kanal terbelit tiga qubit:

A.1 Keadaan Terbelit GHZ

- Skema 2

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle - 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$-i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	

- Skema 3

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	

- Skema 4

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle - 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{8}$	

- Skema 5

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	

- Skema 6

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle - 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{8}$	

- Skema 7

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	

- Skema 8

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle - 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	16,6%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle + 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$-i\sigma_y$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{8}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(0\rangle - 1\rangle)$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{8}$	

A.2 Keadaan Terbelit W

- **Skema 2**

Keadaan Terbelit $ W\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 1\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit $ W\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\beta 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\alpha 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	

- **Skema 4**

Keadaan Terbelit $ W\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 001\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 1\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle$	–	–	–

- **Skema 5**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 1\rangle$	–		20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle$	–		
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	

- **Skema 6**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\beta 1\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle$	–	–	–

- **Skema 7**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 1\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\beta 1\rangle$	–	–	–

- **Skema 8**

Keadaan Terbelit $ W\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(011\rangle + 110\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{6}$	

A.2 Keadaan Terbelit GHZ-Like

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(000\rangle - 011\rangle + 110\rangle - 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$-i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 4**

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$-i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 5**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(001\rangle + 010\rangle + 111\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 6**

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 7**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle - 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 8**

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$-I$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	

LAMPIRAN B

TABEL KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT UNTUK MENGIRIMKAN INFORMASI DUA QUBIT.

Berikut adalah hasil perhitungan teleportasi informasi dua qubit melalui kanal terbelit tiga qubit:

B.1 Dua Qubit Khusus

B.1.1 Keadaan Terbelit GHZ

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$.

- **Skema 2**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle - 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$-\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	$-i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$-\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	—	—	—
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \beta 10\rangle$	—	—	—
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \beta 01\rangle$	—	—	—
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \beta 01\rangle$	—	—	—

- **Skema 4**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle - 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$-\alpha 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$-\alpha 10\rangle - \beta 01\rangle$	–	–	–

- **Skema 5**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 10\rangle - \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 01\rangle - \beta 10\rangle$	–	–	–

- **Skema 6**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle - 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 10\rangle - \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$- 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$- 01\rangle - \beta 10\rangle$	–	–	–

- Skema 7

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle - 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$-\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	$-I$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 8

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$-\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	$-I$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle - 111\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle - 110\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 2

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle - 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle - 111\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$-\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	$-i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle - 110\rangle)$	$-\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$-\sigma_x$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operato	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	–	–	–	–

- **Skema 4**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle - 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle - 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	–	–	–	–

- **Skema 5**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	–	–	–	–

- **Skema 6**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle - 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$-\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	–	–	–	–

- **Skema 7**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	$-I$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 8

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle - 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 11\rangle + 00\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	$-\sigma_z$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$-\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	$-I$	$\frac{1}{4}$	

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$.

- **Skema 1**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	–	–	

- **Skema 2**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{4}$	
--	---	--------------------------------------	-----------------------	---------------	--

- **Skema 4**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	—	—	—	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	—	—	—	

- **Skema 5**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	—	—	—	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	—	—	—	

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = (\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle)$.

• **Skema 1**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	–	–	–

• **Skema 2**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \beta 10\rangle$	σ_z	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \beta 01\rangle$	σ_x	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \beta 01\rangle$	$i\sigma_y$	–	

• **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \beta 01\rangle$	σ_x	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \beta 01\rangle$	$i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	I	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \beta 10\rangle$	σ_z	$\frac{1}{4}$	

• **Skema 4**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \beta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	–	–	–

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$-\alpha 00\rangle - \beta 11\rangle$	-	-	-
--	---	---------------------------------------	---	---	---

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = (\alpha|01\rangle + \beta|11\rangle)$.

- **Skema 1**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 11\rangle$	-	-	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle$	-	-	

- **Skema 2**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	-	-	-	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	-	-	-	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	-	-	-	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	-	-	-	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 4**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	–	–	–	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	–	–	–	

- **Skema 5**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	–	–	–	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 1\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	–	–	–	

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = (\alpha|00\rangle + \beta|10\rangle)$.

- **Skema 1**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	

- **Skema 2**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 3

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	—	—	—	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	—	—	—	

- Skema 4

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	—	—	—	40%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(001\rangle + 110\rangle)$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$\sigma_x \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(010\rangle + 101\rangle)$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$I \otimes 0\rangle$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(011\rangle + 100\rangle)$	—	—	—	

B.1.2 Keadaan Terbelit W

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$.

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \beta 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$		–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 00\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	

- Skema 2

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 11\rangle + \beta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$		–	–	–	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \beta 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	

- **Skema 3**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator, Probabilitas, dan efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$-\alpha 01\rangle - \alpha 10\rangle + \beta 01\rangle + \beta 10\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 11\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 11\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 001\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 11\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(011\rangle + 110\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 11\rangle$	–

- **Skema 4**

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator, Probabilitas Dan efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 01\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \beta 00\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$-\alpha 01\rangle + \beta 01\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\beta 00\rangle - \beta 11\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$-\alpha 11\rangle + \alpha 00\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 001\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 01\rangle$	–

	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \alpha 11\rangle + 00\rangle - \beta 11\rangle$	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(011\rangle + 110\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle - \beta 00\rangle - \beta 11\rangle$	-

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$.

• **Skema 2**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 1\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes -I$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{6}$	

• **Skema 3**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 1\rangle$	-		
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle$	-		
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{6}$	

- **Skema 4**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\beta 1\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 0\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle$	-	-	-

- **Skema 5**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\beta 0\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$-\alpha 0\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 001\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 1\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle$	-	-	-

- **Skema 7**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(011\rangle + 110\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 0\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{6}$	

- **Skema 8**

Kadaan Terbelit $ W\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{6}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{6}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\alpha 1\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$-\beta 1\rangle$	–	–	–

Untuk informasi dua qubit khusus. $|x\rangle = \alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$.

- **Skema 1**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$		–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \beta 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 00\rangle + \beta 00\rangle$	-	-	
--	---	-------------	--------------------------------------	---	---	--

- **Skema 2**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Pi_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 11\rangle + \beta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$		-	-	-	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \beta 01\rangle + \beta 10\rangle$	-	-	

- **Skema 3**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Pi_1\rangle$	Kadaan Bob	Operator, Probabilitas, dan efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle$	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 00\rangle$	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \beta 00\rangle$	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$-\alpha 10\rangle - \alpha 01\rangle$	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 001\rangle + 111\rangle)$	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\beta 00\rangle$	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(011\rangle + 110\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle$	-

- Skema 4

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Bob	Operator, Probabilitas, dan efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle + 010\rangle + 100\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \alpha 00\rangle + \beta 11\rangle - \beta 00\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \alpha 00\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$-\alpha 10\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 001\rangle + 111\rangle)$	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\beta 10\rangle - \beta 11\rangle$	–
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(011\rangle + 110\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \alpha 00\rangle$	–

Keadaan Terbelit GHZ-Like

Untuk informasi $\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle$

- Skema 1

Keadaan Terbelit (GHZ-Like)	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(001\rangle + 010\rangle + 111\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \beta 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	–	–	–	–

- Skema 2

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \beta 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	–	–	–	–

- Skema 3

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi_1\rangle$	Keadaan Alice $ \pi_2\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(000\rangle + 011\rangle + 110\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \beta 00\rangle + \beta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	–	–	–	–

- Skema 4

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	–	–	–	–

Untuk informasi $\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle$

- Skema 1

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{4}$	

- Skema 2

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(000\rangle + 110\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle + \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes I$	$\frac{1}{4}$	20%
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle - 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 0\rangle - \beta 1\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_z$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle + \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes \sigma_x$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle - 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 1\rangle - \beta 0\rangle$	$ 0\rangle \otimes i\sigma_y$	$\frac{1}{4}$	

Untuk informasi dua qubit Khusus $\alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$.

- **Skema 1**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(000\rangle + 011\rangle + 110\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \beta 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	–

- **Skema 2**

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–

- **Skema 3**

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Alice $ \Gamma_2\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(001\rangle + 010\rangle + 111\rangle + 100\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle$	–	–	–

- **Skema 4**

	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	–	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 11\rangle + \alpha 00\rangle + \beta 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	–

B.2 Dua Qubit sembarang

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(100\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \delta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(100\rangle + 011\rangle)$	$\gamma 11\rangle + \beta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(110\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \delta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(101\rangle + 010\rangle)$	$\beta 11\rangle + \gamma 00\rangle$	–	–	–

B.2.1 Kadaan Terbelit GHZ

- Tabel 1

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma_1\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \delta 11\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(100\rangle + 011\rangle)$	$\beta 11\rangle + \gamma 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(110\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \delta 00\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(101\rangle + 010\rangle)$	$\gamma 11\rangle + \delta 00\rangle$	–	–	–

- Tabel 2

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{2}}(110\rangle + 001\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \delta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(100\rangle + 011\rangle)$	$\gamma 01\rangle + \beta 10\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(110\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \delta 01\rangle$	–	–	–
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(101\rangle + 010\rangle)$	$\beta 01\rangle + \gamma 10\rangle$	–	–	–

- Skema 3

Kadaan Terbelit	Kadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Kadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(000\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \delta 01\rangle$	–	–	–

$\frac{1}{\sqrt{2}}(101\rangle + 010\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(100\rangle + 011\rangle)$	$\beta 01\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(110\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(101\rangle + 010\rangle)$	$\gamma 01\rangle + \beta 10\rangle$	-	-	-

B.2.1 Keadaan Terbelit W

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \beta 11\rangle + \beta 00\rangle + \gamma 00\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \beta 10\rangle + \delta 00\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$-\alpha 10\rangle + \beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \gamma 00\rangle + \gamma 11\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle - \gamma 10\rangle + \delta 00\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\beta 11\rangle + \beta 00\rangle - \gamma 11\rangle - \gamma 11\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 00\rangle + \gamma 00\rangle + \delta 00\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle - \beta 10\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-

- Skema 2

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 01\rangle - \beta 10\rangle - \gamma 10\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \alpha 10\rangle + \beta 11\rangle + \delta 01\rangle - \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 01\rangle - \beta 10\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \gamma 01\rangle - \gamma 10\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \alpha 10\rangle - \gamma 11\rangle - \delta 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\beta 01\rangle - \beta 10\rangle - \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 11\rangle + \gamma 11\rangle + \delta 01\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \alpha 10\rangle + \beta 01\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-

- Skema 3

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
------------------	-----------------------------	-------------	----------	--------------	-----------

$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \alpha 00\rangle + \beta 01\rangle + \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \delta 01\rangle + \delta 10$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \gamma 01\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \gamma 10\rangle + \gamma 01\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \gamma 11\rangle + \delta 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$-\beta 10\rangle - \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \gamma 11\rangle + \delta 01\rangle + \delta 10$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 00\rangle - \beta 11\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-

- Skema 5

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \alpha 01\rangle + \beta 00\rangle + \gamma 00\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 00\rangle + \beta 10\rangle - \beta 01\rangle + \delta 00\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \alpha 10\rangle + \beta 00\rangle + \delta 10\rangle - \delta 01$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \alpha 01\rangle + \gamma 00\rangle + \delta 10\rangle - \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \gamma 10\rangle + \gamma 01\rangle + \delta 00\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\beta 00\rangle + \gamma 00\rangle - \delta 01\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 10\rangle - \beta 01\rangle - \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle + \delta 00\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \beta 10\rangle + \beta 01\rangle - \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-

- Skema 6

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$-\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \beta 10\rangle + \beta 11\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-

	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \alpha 10\rangle + \beta 00\rangle - \delta 00\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 11\rangle - \alpha 00\rangle + \gamma 10\rangle + \delta 11\rangle - \delta 00\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \gamma 00\rangle - \gamma 11\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\beta 10\rangle - \gamma 10\rangle - \delta 100\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$-\beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \gamma 11\rangle - \gamma 00\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 10\rangle - \beta 00\rangle - \gamma 00\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-

- Skema 7

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(010\rangle + 100\rangle + 011\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \beta 11\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 10\rangle + \beta 01\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \beta 11\rangle + \delta 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \alpha 10\rangle + \gamma 11\rangle + \delta 01\rangle + \delta 10\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 10\rangle + \delta 11\rangle - \gamma 10\rangle - \gamma 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\beta 11\rangle - \gamma 11\rangle + \delta 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 10\rangle + \beta 01\rangle + \gamma 10\rangle + \gamma 01\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 11\rangle + \beta 10\rangle - \beta 01\rangle + \gamma 10\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \Gamma\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}(100\rangle + 010\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \beta 00\rangle - \beta 11\rangle + \gamma 11\rangle + \gamma 00\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(000\rangle + 110\rangle + 011\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \alpha 11\rangle + \beta 01\rangle + \delta 10\rangle - \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(001\rangle - 010\rangle + 111\rangle)$	$\alpha 01\rangle - \beta 11\rangle + \delta 00\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(111\rangle + 100\rangle + 001\rangle)$	$\alpha 01\rangle + \gamma 00\rangle - \gamma 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle - 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \alpha 11\rangle - \gamma 01\rangle - \delta 11\rangle + \delta 00\rangle$	-	-	-

	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 100\rangle + 010\rangle + 111\rangle)$	$\beta 00\rangle + \beta 11\rangle - \gamma 00\rangle + \gamma 11\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(110\rangle + 101\rangle + 011\rangle)$	$\beta 10\rangle + \beta 01\rangle + \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{3}}(- 011\rangle + 101\rangle + 000\rangle)$	$\alpha 00\rangle - \alpha 11\rangle - \beta 01\rangle + \gamma 01\rangle$	-	-	-

B.2.1 Keadaan Terbelit GHZ-Like

- Skema 1

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(000\rangle + 011\rangle + 110\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \delta 00\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \gamma 00\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \delta 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 01\rangle + \beta 10\rangle + \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-

Keadaan Terbelit	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Alice $ \pi\rangle$	Keadaan Bob	Operator	Probabilitas	Efisiensi
$\frac{1}{2}(000\rangle + 011\rangle + 110\rangle + 101\rangle)$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 0\rangle$	$\alpha 00\rangle + \alpha 11\rangle + \delta 00\rangle + \delta 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 0\rangle$	$\beta 00\rangle + \beta 11\rangle + \gamma 00\rangle + \gamma 11\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(00\rangle + 11\rangle)$	$ 1\rangle$	$\alpha 10\rangle + \alpha 01\rangle + \delta 10\rangle + \delta 01\rangle$	-	-	-
	$\frac{1}{\sqrt{2}}(01\rangle + 10\rangle)$	$ 1\rangle$	$\beta 01\rangle + \beta 10\rangle + \gamma 01\rangle + \gamma 10\rangle$	-	-	-



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

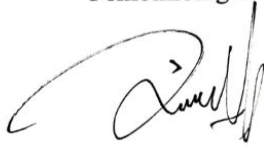
IDENTITAS MAHASISWA :
:
NIM : 19640032
Nama : SOFIA RANI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc
Dosen Pembimbing 2 : Dr. H. AGUS MULYONO, S.Pd., M.Kes
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : TELEPORTASI KUANTUM INFORMASI SATU DAN DUA QUBIT MELALUI KEADAAN TERBELIT TIGA QUBIT

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	15 Februari 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi materi dan jurnal	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
2	21 Februari 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi judul	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
3	27 Maret 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Bab I dan Bab II	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
4	29 Maret 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Bab I dan Bab II	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
5	22 Mei 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Bab III	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
6	13 September 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Bab III	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
7	23 September 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Bab III dan Bab IV	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
8	01 November 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Bab III, IV dan V	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
9	02 November 2023	Dr. H. AGUS MULYONO, S.Pd., M.Kes	Konsultasi Integrasi	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
10	03 November 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi dan tanda tangan	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
11	06 November 2023	Dr. H. AGUS MULYONO, S.Pd., M.Kes	Konsultasi integrasi dan tanda tangan	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
12	21 Desember 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi dan tanda tangan	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
13	21 Desember 2023	Dr. H. AGUS MULYONO, S.Pd., M.Kes	Konsultasi dan tanda tangan	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Pembimbing I



Arista Romadani, M.Sc.
NIP. 19900905 201903 1 018

Pembimbing II



Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes.
NIP. 19750808 199903 1 003

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Hamid Tazi, M.Si.
NIP. 19740730200312 1 002

