

PENGARUH JALUR REDUNDAN TERHADAP PROBABILITAS BLOCKING JARINGAN MULTISTAGE INTERCONNECTION NETWORK TOPOLOGI GAMMA

Fahmi Rinaldi¹⁾, Muhammad Zulfin²⁾, Raja Harahap³⁾

¹⁾Program Studi Nautika, Politeknik Adiguna Maritim Indonesia Medan, Indonesia

^{2,3)}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara Medan, Indonesia

fahmi.rinaldi@gmail.com; m.zulfin@usu.ac.id; raja@usu.ac.id

Abstrak

Multistage Interconnection Network (MIN) dalam beberapa dekade terakhir telah digunakan sebagai jaringan switching pada bidang Telekomunikasi dan menjadi jaringan interkoneksi antara prosesor dengan prosesor atau prosesor dengan memori pada bidang Komputer menggantikan topologi matriks. Namun MIN umumnya hanya memiliki satu jalur dari setiap pasangan sumber-tujuan. Pada tulisan ini dibahas salah satu MIN yang memiliki sejumlah jalur redundan di antara pasangan sumber dan tujuannya, yaitu jaringan MIN topologi Gamma. Pola representasi jalur redundan dari setiap pasangan koneksi sumber-tujuan jaringan Gamma ini digunakan sebagai routing tag untuk merute di dalam jaringan. Dari pengujian yang dilakukan dengan menggunakan dua buah permutasi diperoleh hasil bahwa jika jalur redundan pertama gagal, maka perutean di dalam jaringan dapat memanfaatkan jalur redundan berikutnya, sehingga kegagalan dapat dihindarkan. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa jalur redundan mampu memperbaiki probabilitas blocking jaringan MIN topologi Gamma.

Kata-Kata Kunci : MIN, Jalur Redundan, Probabilitas Blocking, Jaringan Gamma.

I. Pendahuluan

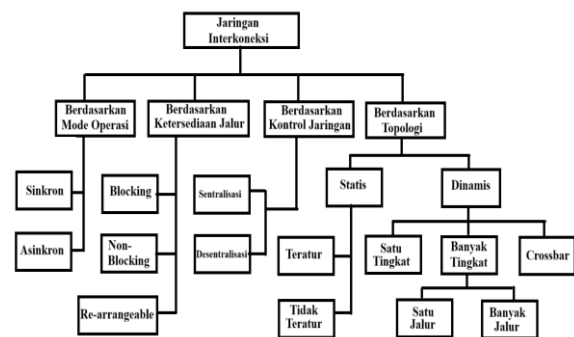
Beberapa dekade terakhir MIN telah menggantikan switching topologi matrik pada sistem-sistem switching di bidang Telekomunikasi dan menjadi jaringan interkoneksi pada sistem-sistem komputer untuk menginterkoneksi prosesor dengan prosesor maupun antara prosesor dan memori [1].

Berdasarkan ketersediaan jalur, jaringan interkoneksi dapat dikelompokkan sebagai berikut [2]:

- Jaringan interkoneksi yang bersifat *blocking* di mana jalur antara simpul masukan dan keluaran bebas tidak tersedia karena bentrok dengan koneksi yang ada, misalnya banyan, shuffle exchange, baseline.
- Jaringan interkoneksi yang bersifat *non-blocking* di mana setiap masukan dapat dihubungkan ke port keluaran bebas mana pun tanpa mengubah koneksi yang ada. Jaringan interkoneksi ini membutuhkan tingkat tambahan dan lebih dari satu jalur antara setiap masukan dan keluaran, misalnya jaringan Clos.
- Jaringan interkoneksi yang dapat diatur ulang (*re-arrangeable*) di mana setiap simpul masukan dapat dihubungkan dengan simpul keluaran bebas.

Namun, koneksi yang ada mungkin memerlukan beberapa penataan ulang jalur, misalnya Jaringan Benes. Dalam klasifikasi berbasis topologi, jaringan interkoneksi statis memiliki link yang tetap antara simpul yang berbeda dari sistem. Ini berarti topologi jaringan tetap sama sepanjang waktu. Selanjutnya jaringan statis dibagi menjadi jaringan teratur (*regular*) dan tidak teratur

(*irregular*). Kategori lain adalah jaringan interkoneksi dinamis, di mana jalur antar dua elemen dapat berubah dari satu komunikasi ke komunikasi berikutnya. Dalam jaringan dinamis satu tingkat yang paling sederhana, satu tingkat dari elemen switching (ES) 2x2 hadir di antara input dan output jaringan. Jaringan interkoneksi banyak tingkat diperoleh dengan mengkaskade beberapa pola satu tingkat ini. Jaringan yang memiliki sisi input dan output terpisah disebut dua sisi dan sangat menarik bagi aplikasi komunikasi. Gambar 1 memperlihatkan klasifikasi jaringan interkoneksi.



Gambar 1. Klasifikasi Jaringan Interkoneksi

1. Jaringan Gamma

MIN menghubungkan perangkat masukan ke perangkat keluaran melalui sejumlah tingkat switching di mana setiap ES merupakan jaringan crossbar. Karakteristik MIN secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kategori: MIN *single path* (non-redundan), MIN *two-path*, dan MIN *multi-path* (redundan). MIN *multi-path* terdiri dari elemen-

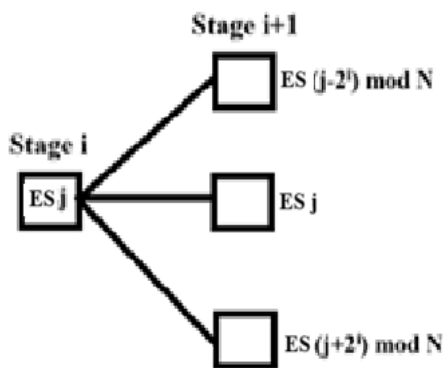
elemen switching (ES) dengan setidaknya tiga masukan dan tiga keluaran. MIN *multi-path* menyediakan beberapa jalur di antara setiap pasangan input-output jaringan. Jaringan Gamma termasuk dalam kategori ini [3].

Jika N adalah jumlah *port* input (sumber) dan *port* output (tujuan), maka hubungan jumlah tingkat dengan jumlah input dan output jaringan Gamma diberikan oleh relasi $N = 2^{n-1}$ dimana n adalah jumlah tingkat jaringan. Sebagai contoh, jika $N=8$ maka $8 = 2^{n-1}$, sehingga jumlah tingkat $n=4$. Ini berarti jaringan Gama dengan jumlah input dan output 8 memiliki jumlah tingkat sebanyak 4. Tingkat-tingkat jaringan Gamma dibangun dari sejumlah elemen switching (ES). Tingkat pertama dan terakhir jaringan Gamma dibangun dari ES berukuran 1×3 dan 3×1 sedangkan tingkat tengah dibangun dari ES berukuran 3×3 [4][5][6].

Dalam jaringan Gamma, untuk menghubungkan satu tingkat ke tingkat berikutnya dilakukan berdasarkan aturan tertentu. Jika diasumsikan bahwa $i \{0 \leq i \leq (\log_2 N)\}$ adalah nomor tingkat dan $j \{0 \leq j \leq N-1\}$ adalah nomor elemen switching, maka terdapat tiga kemungkinan interkoneksi dari tingkat i ke tingkat $i+1$ [7]:

- Tautan dari ES j pada tingkat i terhubung langsung ke ES j pada tingkat $i+1$.
- Tautan dari ES j pada tingkat i mengambil jalur ke atas untuk mencapai ES $(j - 2^i) \bmod N$ pada tingkat $i+1$.
- Tautan dari ES pada tingkat i mengambil jalur ke bawah untuk mencapai ES $(j + 2^i) \bmod N$ pada tingkat $i+1$.

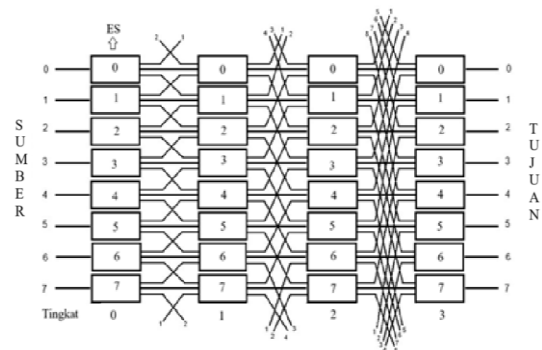
Jadi, jika sebuah paket masuk dari sebuah ES pada tingkat i , paket tersebut dapat keluar ke ES tertentu pada tingkat $i+1$ sesuai dengan ketentuan di atas. Gambar 2 menunjukkan pola koneksi antar tingkat pada jaringan Gamma.



Gambar 2. Pola Koneksi antar tingkat jaringan Gamma 8x8

Berikut adalah contoh cara membangun jaringan Gamma 8x8 ($N=8$). Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, jika $N=8$ ($N=2^{n-1}$), maka jumlah tingkat yang dibutuhkan untuk membangun jaringan Gamma 8x8 adalah $n-1=3$ dan $n=4$. Selanjutnya, kita dapat menyusun ES dari tingkat 0 sampai ke tingkat 3 $\{0 \leq i \leq (\log_2 N)\}$ dari kiri ke

kanan. Jumlah ES pada setiap tingkat adalah N , yaitu 8. Kemudian kita dapat menyusun ES pada setiap tingkat dari atas ke bawah, diberi nomor dari 0 hingga 7 ($0 \leq j \leq N-1$). Perlu diingat bahwa ES pada tingkatan pertama dan terakhir berukuran 1×3 , sedangkan ES pada tingkat antara berukuran 3×3 . Gambar 3 menunjukkan jaringan Gamma berukuran 8×8 .



Gambar 3. Jaringan Gamma 8x8

2. Nilai Tag

Dalam pembahasan tentang jaringan Gamma, terdapat nilai tag. Nilai tag berperan penting dalam menentukan jumlah maksimum jalur redundan yang dapat dimiliki jaringan Gamma. Jika N adalah ukuran jaringan dan S adalah sumber (input), T adalah tujuan (output), dengan S dan T berada antara 0 hingga $N-1$, maka nilai tag dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{tag } \delta = T - S \pmod{N}, \text{ dengan } 0 \leq \delta \leq N-1 \quad (1)$$

Nilai tag \square berada dalam rentang $-(N-1)$ hingga $+(N-1)$. Sebagai contoh, misalkan pada sebuah jaringan Gamma 8x8 terdapat paket akan dikirimkan dari sumber 2 ke tujuan 7 maka koneksi ini memiliki nilai tag $\delta = 7-2 \pmod{8} = 5$. Jalur perutean yang akan dilalui paket dari sumber 2 ke tujuan 7 akan dijelaskan pada bagian berikut.

3. Jalur Redundan

Dalam jaringan Gamma, terdapat sejumlah jalur redundan di antara setiap pasangan Sumber (S) dan Tujuan (T). Jalur redundan adalah jalur alternatif yang memungkinkan komunikasi antar pasangan $S-T$ tetap berlangsung meskipun jalur utama gagal. Berbeda dengan jalur redundan, jalur *disjoint* adalah jalur redundan yang tidak memiliki simpul bersama selain simpul sumber and tujuan saja [8]. Jalur *disjoint* ini dapat dipastikan dapat meningkatkan toleransi kegagalan suatu jaringan MIN. Sejumlah ahli telah memodifikasi jaringan Gamma untuk menghasilkan jalur *disjoint*.

Jaringan Gamma menggunakan sistem bilangan biner yang sepenuhnya redundan (*binary fully redundant number system*) untuk merepresentasikan setiap tag $\square = T - S \pmod{N}$. Dengan sistem bilangan ini, tag $\square \neq 0$ memiliki beberapa representasi, yang berkorespondensi dengan beberapa jalur dalam jaringan Gamma.

Jumlah jalur redundan untuk setiap nilai tag \square dapat dihitung secara rekursif menggunakan rumus berikut (2) dan (3) berikut. Khusus untuk nilai tag $\delta=0$, yaitu ketika Sumber sama dengan Tujuan ($S=T$) maka hanya terdapat satu jalur di antara keduanya. Ini adalah kelemahan jaringan Gamma. Jika P_n adalah jumlah jalur redundan, n jumlah tingkat jaringan Gamma dan δ adalah nilai tag maka:

a) Jika δ genap,

$$P_n(\delta) = P_{n-1}(\delta/2) \quad (2)$$

b) Jika δ ganjil,

$$P_n(\delta) = P_{n-1}\{(\delta - 1)/2\} + P_{n-1}\{(\delta + 1)/2\} \quad (3)$$

Nilai maksimum $P_n(\square)$ untuk jaringan Gamma berukuran N pada dasarnya mengikuti deret Fibonacci, di mana $P_n = P_{n-1} + P_{n-2}$ seiring bertambahnya n , dimana $P_0=1$ dan $P_1=1$. Dapat dilihat dari persamaan di atas bahwa jumlah jalur redundan minimum sama dengan 1, jadi $P_n(0) = 1$ untuk semua n .

Sebagai contoh, jika $\delta = 0$ (genap), jumlah jalur redundan = $P_n(\delta) = P_{n-1}(\delta/2) = P_{4-1}(0/2) = P_3(0) = 1$. Jadi jumlah jalur redundan untuk nilai tag $\delta = 0$ adalah sebanyak 1.

Berikut diberikan contoh jika nilai tag δ ganjil. Ambil $\delta=3$ dan $n=4$, dengan menggunakan Persamaan 2 dan 3 jumlah jalur redundan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_4(3) &= P_3(1) + P_3(2) = P_{3-1}\{(1-1)/2\} + P_{3-1}\{(1+1)/2\} + P_{3-1}(2/2) \\ &= P_2(0/2) + P_2(2/2) + P_2(1) \\ &= P_2(0) + P_2(1) + P_2(1) \\ &= P_2(0) + 2P_2(1) \\ &= P_2(0) + 2\{P_1(1-1)/2 + P_1(1+1)/2\} \\ &= P_2(0) + 2\{P_1(0) + P_1(1)\} \\ &= P_2(0) + 2(1+1) \\ &= 1 + 4 \\ &= 5 \end{aligned}$$

Tabel 1 memperlihatkan hubungan antara ukuran jaringan N , jumlah tingkat n dan nilai tag δ terhadap jumlah jalur redundan yang dihasilkan. Jumlah total jalur redundan untuk jaringan Gamma berukuran N adalah sebesar 3^{n-1} , dimana n adalah jumlah tingkat. Sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 1, jika ukuran jaringan $N=8$ dan jumlah tingkat $n=4$ maka jumlah total jalur redundan sebanyak 3^{4-1} , yaitu 27

Tabel 1. Hubungan N , n , dan δ terhadap jumlah jalur redundan

Nilai tag δ	Jumlah Jalur Redundan			
	(N=2, n=2)	(N=4, n=3)	(N=8, n=4)	(N=16, n=5)
0	1	1	1	1
1	2	3	4	5
2		2	3	4
3		3	5	7
4			2	3
5			5	8
6			3	5
7			4	7
8				2
9				7
10				5
11				8
12				3
13				7
14				4
15				5
Total	3	9	27	81

Dari Table 1 tampak bahwa jumlah jalur redundan jaringan Gamma bervariasi, yang nilainya bergantung kepada nilai tag. Representasi jalur redundan dinamakan juga *routing tag*, karena ia dapat memandu paket melintasi jaringan. Representasi redundan setiap nilai tag \square polanya bisa diperoleh dengan cara sebagai berikut. Untuk jaringan dengan $N=8$ representasi redundannya adalah 3 digit yaitu: $d_0d_1d_2$. Dalam hal ini perlu diingat bahwa representasi redundan untuk nilai tag $\square \bmod N = -(N-\square) \bmod N$. Sebagai contoh koneksi (2,7), nilai tagnya $\square = (7-2) \bmod 8 = 5$. Representasi redundan nilai tag ini sama dengan $\square = -(8-5) \bmod 8 = -3$. Representasi redundan dapat diperoleh dengan cara berikut.

$$x.2^0 + y.2^1 + z.2^2 = \square \text{ dan } x.2^0 + y.2^1 + z.2^2 = -(N-\square) \quad (4)$$

dimana x , y dan z dapat bernilai 1, 0 atau -1. Jika disederhanakan, Persamaan (4) dapat ditulis menjadi:

$$x.1 + y.2 + z.4 = \square \text{ dan } x.1 + y.2 + z.4 = -(N-\square) \quad (5)$$

Dengan menggunakan Persamaan (5) jalur redundan untuk $\square=5$ dan $\square = -3$ dapat diperoleh sebagai berikut:

Untuk $\square=5$: $x.1 + y.2 + z.4 = 5$ maka diperoleh nilai x , y dan z : (1, 0, 1); (-1, 1, 1)

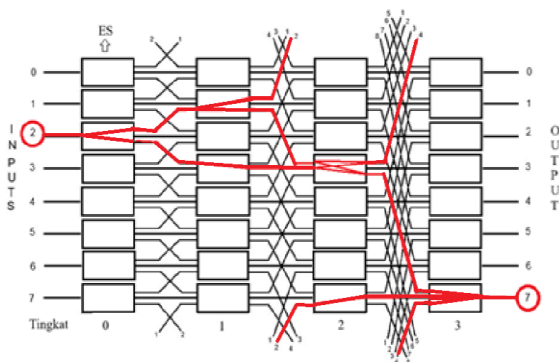
Untuk $\square=-3$: $x.1 + y.2 + z.4 = -3$ maka diperoleh nilai x , y dan z : (1, 0, -1); (-1, -1, 0); (-1, 1, -1).

Dengan adanya jalur redundan untuk setiap koneksi (S,T) jaringan Gamma memiliki toleransi kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan MIN dasar seperti: delta, banyan, omega, shuffle exchange dan yang lainnya. Tabel 2 memperlihatkan jumlah jalur redundan dan pola representasi redundan jaringan Gamma 8×8 ($N=8$) dengan berbagai nilai tag \square . *Least significant bit* (LSB) adalah bit yang berada paling kiri.

Tabel 2. Representasi Jalur Redundan Jaringan Gamma 8x8

Nilai Tag	Jumlah jalur redundan	Jalur redundan (routing tag)
0	1	(0, 0, 0)
1	4	(1, 0, 0), (-1, -1, 1), (-1, 1, 0), (-1, -1, -1)
2	3	(0, 1, 0), (0, -1, 1), (0, -1, -1)
3	5	(1, 1, 0), (-1, 0, 1), (-1, 0, -1), (1, -1, -1), (1, -1, 1)
4	2	(0, 0, 1), (0, 0, -1)
5	5	(1, 0, 1), (-1, 1, 1), (-1, -1, 0), (1, 0, -1), (-1, 1, -1)
6	3	(0, 1, 1), (0, 1, -1), (0, -1, 0)
7	4	(1, 1, 1), (1, -1, 0), (-1, 0, 0), (1, 1, -1)

Paket dari sumber S pada jaringan Gamma dirutekan ke tujuannya T di bawah panduan tag n-digit, yang merepresentasikan selisih (modulo N) antara T dan S. Setiap digit tag dapat berupa 1, 0, atau -1, dan digit d_i digunakan pada tingkat i sedemikian rupa sehingga koneksi bawah diambil jika d_i sama dengan 1 sedangkan koneksi atas diambil jika d_i sama dengan -1, dan koneksi langsung diambil ketika d_i adalah 0 [9]. Gambar 4 memperlihatkan jalur perutean untuk koneksi (2,7) dengan $N=8$. Koneksi (2,7) memiliki nilai tag $\square = (7-2) \bmod 8 = 5$ yang dapat direpresentasikan sebagai (1, 0, 1), (-1, 1, 1) dan $5-N = -3$ yang dapat direpresentasikan sebagai (-1, -1, 0), (1, 0, -1), (-1, 1, -1). Semua representasi redundan untuk nilai 5 dan -3 akan menjadi tag yang valid untuk merutekan data dari sumber 2 ke tujuan 7.



Gambar 4. Jalur redundan untuk koneksi (2,7) dengan nilai tag $\square = 5$

4. Perutean Pada Jaringan Gamma

Pada bagian ini dipaparkan perutean pada jaringan Gamma berukuran 8x8. Perutean dilakukan dengan menerapkan algoritma yang sederhana berikut ini :

- Diasumsikan bahwa paket memasuki jaringan secara serentak.
- Saat pertama kali memasuki jaringan, sebuah paket menggunakan *routing tag* yang pertama. Urutan *routing tag* dapat dilihat pada Tabel 2.
- Jika terdapat 2 atau lebih paket memperebutkan sebuah ES, maka paket dengan alamat sumber terkecil memenangi pertikaian.

- Paket yang kalah dalam pertikaian pada sebuah ES dapat melakukan perutean kembali dengan menggunakan *routing tag* yang berikutnya (*routing tag* ke 2,3,..., dan seterusnya).
- Jika sebuah paket telah mencoba melakukan perutean ulang dengan seluruh *routing tag* yang dimiliki dan ternyata gagal, maka paket dibuang dan dapat mencoba kembali memasuki jaringan pada kesempatan lain.

Representasi redundan nilai tag setiap koneksi akan dijadikan sebagai *routing tag* ketika paket melintasi jaringan. Koneksi S-T dibuat dalam bentuk permutasi.

Permutasi 1

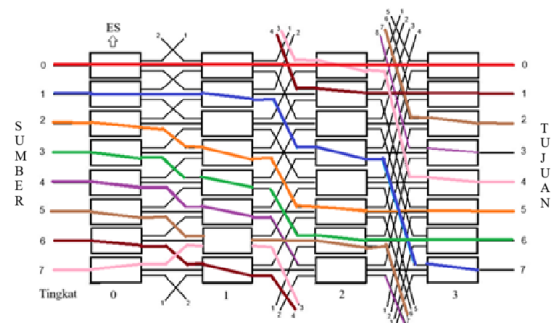
$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 0 & 7 & 5 & 6 & 3 & 2 & 1 & 4 \end{pmatrix} \begin{matrix} \Rightarrow \text{input} \\ \Rightarrow \text{output} \end{matrix}$$

Tabel 3 memperlihatkan nilai tag, jumlah jalur redundan dan pola *routing tag* berdasarkan Permutasi 1 sekaligus hasil perutean yang telah dilakukan apakah sukses atau gagal.

Tabel 3. Nilai tag, routing tag dan hasil perutean sesuai dengan Permutasi 1

Koneksi (S,T)	Nilai Tag \square	Jumlah jalur redundan	Jalur redundan (routing tag)	Sukses/Gagal
(0,0)	0	1	(0, 0, 0)	Sukses
(1,7)	6	3	(0, 1, 1), (0, 1, -1), (0, -1, 0)	Sukses
(2,5)	3	5	(1, 1, 0), (-1, 0, 1), (-1, 0, -1), (1, -1, -1), (1, -1, 1)	Sukses
(3,6)	3	5	(1, 1, 0), (-1, 0, 1), (-1, 0, -1), (1, -1, -1), (1, -1, 1)	Sukses
(4,3)	7	4	(0, 0, 1), (0, 0, -1)	Sukses
(5,2)	5	5	(1, 0, 1), (-1, 1, 1), (-1, -1, 0), (1, 0, -1), (-1, 1, -1)	Sukses
(6,1)	3	5	(1, 1, 0), (-1, 0, 1), (-1, 0, -1), (1, -1, -1), (1, -1, 1)	Sukses
(7,4)	5	5	(1, 0, 1), (-1, 1, 1), (-1, -1, 0), (1, 0, -1), (-1, 1, -1)	Sukses

Jalur perutean yang dihasilkan sesuai dengan Permutasi 1 diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Jalur perutean paket sesuai Permutasi 1

Dengan memperhatikan kepada Gambar 5, tampak bahwa jaringan berhasil (sukses)

menyampaikan paket semua koneksi (S,T) pada Permutasi 1 dengan menggunakan *routing tag* yang pertama, kecuali koneksi (7,4) terblok oleh koneksi (0,0) di ES0 pada tingkat 1 ketika menggunakan *routing tag* pertama (1,0,1). Namun ketika paket merute kembali menggunakan *routing tag* ke dua (-1, 1, 1), paket sukses mencapai tujuan.

Permutasi 2

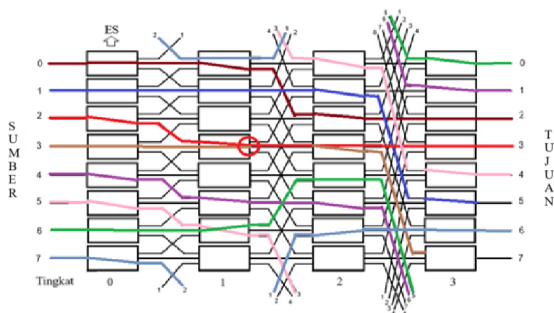
$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 2 & 5 & 3 & 7 & 1 & 4 & 0 & 6 \end{pmatrix} \begin{matrix} \Rightarrow \text{input} \\ \Rightarrow \text{output} \end{matrix}$$

Tabel 4 memperlihatkan nilai tag, jumlah jalur redundan dan pola *routing tag* berdasarkan Permutasi 2 sekaligus hasil perutean yang telah dilakukan apakah sukses atau gagal.

Tabel 4. Nilai tag, routing tag dan hasil perutean sesuai dengan Permutasi 2

Koneksi (S,T)	Nilai Tag	Jumlah jalur redundan	Jalur redundan (routing tag)	Sukses /Gagal
(0,2)	2	3	(0, 1, 0), (0, -1, 1), (0, -1, -1)	Sukses
(1,5)	4	2	(0, 0, 1), (0, 0, -1)	Sukses
(2,3)	1	4	(1, 0, 0), (-1, -1, 1), (-1, 1, 0), (-1, -1, -1)	Sukses
(3,7)	4	2	(0, 0, 1), (0, 0, -1)	Gagal
(4,1)	5	5	(1, 0, 1), (-1, 1, 1), (-1, -1, 0), (1, 0, -1), (-1, 1, -1)	Sukses
(5,4)	7	4	(1, 1, 1), (1, -1, 0), (-1, 0, 0), (1, 1, -1)	Sukses
(6,0)	2	3	(0, 1, 0), (0, -1, 1), (0, -1, -1)	Sukses
(7,6)	7	4	(1, 1, 1), (1, -1, 0), (-1, 0, 0), (1, 1, -1)	Sukses

Gambar 6 memperlihatkan lintasan paket sesuai dengan Permutasi 2



Gambar 6. Jalur perutean paket sesuai Permutasi 2

Dengan memperhatikan Gambar 6 tampak bahwa jaringan berhasil (sukses) menyampaikan paket setiap koneksi (S,T) yang terdapat pada Permutasi 2 dengan menggunakan *routing tag* yang pertama, kecuali:

- Koneksi (3,7) gagal menyampaikan paket ke tujuan, meskipun koneksi ini memiliki 2 *routing tag* yaitu (0, 0, 1), (0, 0, -1), namun kedua *routing tag* mengalami *blocking* di ES3 pada tingkat 1 (lingkaran merah pada Gambar 7).

- Koneksi (6,0) memiliki 3 *routing tag*, yaitu: (0, 1, 0), (0, -1, 1), (0, -1, -1). *Routing tag* ke 1 (0,1,0) terblokir di ES6 pada tingkat 1. Oleh karena itu digunakan *routing tag* yang ke 2 (0, -1, 1) dan berhasil, sehingga paket dapat mencapai tujuannya tanpa *blocking*.
- Koneksi (7,6) memiliki 4 jalur perutean yaitu (1, 1, 1), (1, -1, 0), (-1, 0, 0) dan (1, 1, -1). *Routing tag* ke 1 gagal menyampaikan paket, karena terblokir oleh koneksi (0,2) pada ES0 pada tingkat 1. Oleh karena itu digunakan *routing tag* ke 2 (1, -1, 0) dan paket berhasil sampai ke tujuan.

5. Kesimpulan

Dari pengujian yang dilakukan dengan 2 (dua) buah permutasi diperoleh hasil bahwa pada permutasi pertama dengan adanya jalur redundan semua koneksi (S,T) berhasil sampai ke tujuan (throughput 100% atau probabilitas *blocking* 0%). Meskipun terdapat satu koneksi yang gagal saat menggunakan *routing tag* pertama, namun berhasil dengan menggunakan *routing tag* ke dua. Pada permutasi kedua, terdapat satu koneksi yang memiliki dua *routing tag* (jalur redundan), namun keduanya gagal menyampaikan paket ke tujuan. Selain itu pada permutasi kedua terdapat dua koneksi yang gagal saat menggunakan *routing tag* pertama namun berhasil sukses mencapai tujuan dengan menggunakan *routing tag* ke dua. Sehingga throughput permutasi kedua 87,5% atau probabilitas *blocking* 12,5 %. Dari pengujian yang dilakukan tampak jelas bahwa jalur redundan dapat memperbaiki probabilitas *blocking*.

Daftar Pustaka

- [1]. Muhammad Zulfin, et all., 2023, *The Effect of Redundant Paths on Internal Blocking of Multistage Interconnection Networks*, The 7th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM).
- [2]. Vipin Sharma, Abdul Q. Ansari dan Rajesh Mishra, 2021, *A novel design layout of three disjoint paths multistage interconnection network & its reliability analysis*, International Journal of Pervasive Computing and Communications Vol. 17 No. 4, pp. 390-403.
- [3]. Indra Gunawan dan Nasser S. Fard, 2012, *Terminal reliability assessment of gamma and extra-stage gamma networks*, International Journal of Quality & Reliability Management Vol. 29 No. 7, pp. 820-831.
- [4]. D S. Parker and C.S. Raghavendra, 1984, *The Gamma Network*, IEEE Trans. Computers, Vol. 33, no. 4, pp. 367-373.
- [5]. Meenal A. Borkar dan Nitin, 2011, *3D-CGIN: A 3 Disjoint Paths CGIN with Alternate Source*, ACC 2011, Part IV, CCIS 193, pp. 25–36.

- [6]. Ching-Wen Chen, Neng-Pin Lu b, Chung-Ping Chung, 2003, *3-Disjoint gamma interconnection networks*, The Journal of Systems and Software 66, pp.129–134.
- [7]. Nian-Feng Tzeng, Po-Jen Chuang, and Chwan-Hwa Wu, 1993, *Creating Disjoint Paths in Gamma Interconnection Networks*, IEEE Transactions On Computers, Vol. 42, No. 10, October.
- [8]. S. Rajkumar and Neeraj Kumar Goyal, 2015, *Reliable Multistage Interconnection Network Design*, Peer-to-Peer Network Application.
- [9]. Po-Jen Chuang, 1994, *CGIN: A Modified Gamma Interconnection Network with Multiple Disjoint Paths*, Proceedings of International Conference on Parallel and Distributed Systems.