



KOMTELKA: Jurnal Komputer Telekomunikasi
dan Elektronika, Volume 01 Nomor 1 Tahun
2026

Tersedia online di

<https://jurnal.rajawalicemerlangabadi.com/index.php/jpek>



PT Rajawali Cemerlang Abadi

Analisis Performa Algoritma Routing Adaptif dan Hybrid dalam Mengoptimalkan Throughput Network-on-Chip pada Sistem Many-core

Syifa Silvia Nurhayati¹, Izzul Hafid², Yuliarman Saragih³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

email: ¹2410631160037@student.unsika.ac.id, ²2410631160019@student.unsika.ac.id,

³yuliarman@yahoo.com

Kata kunci: *Network-on-Chip, Throughput, Many-core, NAFTR, DAHR.*

ABSTRAK

Kebutuhan akan komputasi performa tinggi saat ini memaksa perkembangan sistem *many-core* untuk semakin bergantung pada efisiensi *Network-on-Chip* (NoC), namun sayangnya, penggunaan algoritma *routing statis* sering kali menjadi titik lemah karena tidak mampu menangani kemacetan trafik maupun kerusakan *link* secara fleksibel. Penelitian ini berupaya menjawab tantangan tersebut dengan melakukan analisis komparatif antara dua pendekatan modern, yaitu *Network Adaptive Fault-Tolerant Routing* (NAFTR) yang mewakili kategori *fully adaptive* dan *Deterministic-Adaptive Hybrid Routing* (DAHR). Melalui metode studi literatur sistematis, data performa dari berbagai skenario trafik sintetis diekstraksi untuk melihat bagaimana parameter *throughput*, latensi, dan *hardware overhead* saling berinteraksi. Menariknya, kontribusi utama riset ini justru terletak pada identifikasi ambang batas efektivitas yang selama ini jarang dibahas secara berdampingan. Hasil analisis menunjukkan adanya *trade-off* yang jelas: NAFTR terbukti lebih unggul dalam menjaga reliabilitas saat jaringan berada dalam kondisi kritis dengan gangguan mencapai 12%, sementara DAHR jauh lebih efisien dalam penggunaan area *chip* serta mampu mencapai *saturation throughput* 18% lebih tinggi pada kondisi normal. Pada akhirnya, studi ini menegaskan bahwa pemilihan arsitektur *routing* bukanlah soal mana yang terbaik secara absolut, melainkan tentang penyesuaian prioritas antara ketahanan sistem atau efisiensi perangkat keras.

ABSTRACT

The escalating demand for high-performance computing has pushed *many-core* systems to rely heavily on the efficiency of *Network-on-Chip* (NoC), yet conventional static routing algorithms often fail to manage traffic congestion or link failures effectively. This research addresses these limitations by conducting a comparative analysis of two modern routing strategies: *Network Adaptive Fault-Tolerant Routing* (NAFTR), representing the *fully adaptive* category, and *Deterministic-Adaptive Hybrid Routing* (DAHR). Using a systematic literature review, this study extracts performance data across various synthetic traffic scenarios to evaluate the interplay between *throughput*, latency, and *hardware overhead*. The primary contribution of this work lies in identifying the

Keywords: *Network-on-Chip, Throughput, Many-core, NAFTR, DAHR.*

specific effectiveness thresholds between fully adaptive and hybrid mechanisms – a comparison that remains under-explored in current literature. The results reveal a distinct trade-off: NAFTTR excels in maintaining reliability under critical network conditions with up to 12% link failures, whereas DAHR demonstrates superior hardware area efficiency and achieves 18% higher saturation throughput under normal traffic loads. Ultimately, this study concludes that selecting a routing architecture is not about finding a universal solution, but rather about prioritizing between system resilience or hardware optimization.

PENDAHULUAN

Jumlah inti pemroses (*processing core*) yang dapat digabungkan ke dalam *chip* tunggal telah meningkat sebagai hasil dari kemajuan pesat dalam teknologi semikonduktor. Sistem *many-core* mengintegrasikan ratusan hingga ribuan inti pemroses dalam sebuah *Multiprocessor System-on-Chip* (MPSoC), yang menuntut infrastruktur komunikasi antar-inti yang efektif, skalabel, dan berperforma tinggi. Arsitektur prosesor *single-core* mengalami keterbatasan kinerja yang signifikan karena kepadatan transistor yang meningkat [2]. Karena keterbatasan *bandwidth* dan masalah *bottleneck* yang semakin parah seiring bertambahnya jumlah inti, arsitektur bus tradisional yang telah lama digunakan tidak dapat memenuhi kebutuhan ini [9]. Karena hal ini, pengembangan mekanisme komunikasi *on-chip* yang lebih canggih menjadi sangat penting dalam bidang desain sistem komputasi kontemporer.

Paradigma komunikasi *on-chip* yang paling menjanjikan untuk menggantikan arsitektur bus konvensional pada sistem *many-core* adalah *Network-on-Chip* (NoC). NoC menggunakan prinsip jaringan *paket-switched*, juga dikenal sebagai jaringan *paket-switched*, dan menggunakan saluran komunikasi yang terorganisir untuk mengirimkan data antar-inti pemroses [9]. Keunggulan NoC termasuk skalabilitasnya yang tinggi, kemampuan komunikasi paralel, dan efisiensi penggunaan *bandwidth* [9]. Untuk mengirimkan data antar-inti pemroses, NoC menggunakan *router* dan saluran komunikasi yang terstruktur. Ini adalah prinsip jaringan *paket-switched* [9]. Skalabilitas yang tinggi, kemampuan komunikasi paralel, dan efisiensi penggunaan *bandwidth* adalah keunggulan NoC. Pemilihan algoritma *routing* yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja NoC, khususnya pada sistem *many-core* berskala besar. Ini karena algoritma *routing* menentukan lintasan paket data, tingkat utilisasi jaringan, latensi transmisi, dan *throughput* sistem secara langsung [2].

Secara umum, algoritma *routing* pada NoC dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok utama: deterministik, oblivious, dan adaptif. Algoritma deterministik, seperti *XY routing*, menggunakan jalur tetap yang telah ditentukan berdasarkan koordinat simpul sumber dan tujuan, sehingga menawarkan kesederhanaan implementasi dan overhead rendah, namun gagal mengakomodasi kondisi kemacetan jaringan yang dinamis [2]. Sebaliknya, algoritma adaptif mampu merespons status jaringan secara *real-time* dengan mempertimbangkan informasi kemacetan dari node-node tetangga, sehingga menghasilkan distribusi beban yang lebih merata, meskipun dengan biaya kompleksitas desain dan overhead perangkat keras yang lebih tinggi [9]. Dalam upaya memperoleh keseimbangan antara performa dan efisiensi, pendekatan *routing hybrid* yang menggabungkan karakteristik deterministik dan adaptif telah menjadi fokus penelitian yang intensif. Algoritma seperti DYAD (*Dynamic Adaptive*) yang mengombinasikan *XY* dan Odd-Even (OE) *routing*, serta pendekatan PAAD (*Partially Adaptive and Deterministic*), menunjukkan bahwa hibridisasi strategi *routing* berpotensi menghasilkan kinerja yang signifikan lebih unggul dibandingkan penggunaan satu jenis algoritma secara tunggal [2].

Meskipun berbagai pendekatan *hybrid* telah diusulkan, sejumlah tantangan fundamental masih belum terselesaikan secara optimal. Pertama, sebagian besar algoritma adaptif bergantung pada unit kalkulasi *routing* yang kompleks di setiap node perantara, yang meningkatkan overhead perangkat keras dan konsumsi daya secara keseluruhan. Kedua, menjamin kondisi bebas-deadlock (*deadlock-free*) pada algoritma adaptif memerlukan mekanisme tambahan seperti virtual channel yang berlapis atau pembatasan giliran (*turn model*) yang kompleks, yang pada gilirannya menambah beban implementasi [2]. Ketiga, penelitian yang dilakukan oleh Nain et al. menggarisbawahi bahwa sistem NoC pada lingkungan *many-core* yang sesungguhnya juga rentan terhadap kegagalan fisik pasca-manufaktur, sehingga toleransi kesalahan (*fault tolerance*) menjadi dimensi kualitas yang tidak dapat diabaikan dalam perancangan algoritma *routing* [9]. Kebutuhan akan algoritma yang sekaligus mampu mengoptimalkan throughput, meminimalkan latensi paket, menjamin kebebasan dari deadlock, serta mempertahankan overhead perangkat keras yang rendah merupakan permasalahan terbuka yang menuntut investigasi lebih mendalam.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif performa algoritma *routing*

adaptif dan *hybrid* dalam konteks optimasi throughput pada NoC sistem *many-core*. Secara spesifik, penelitian ini mengkaji mekanisme kerja, karakteristik performa, dan *trade-off* desain dari berbagai skema *routing*, dengan merujuk pada algoritma DAHR (*Deterministic-Adaptive Hybrid Routing*) yang diusulkan oleh Ji dan Yang sebagai salah satu pendekatan mutakhir yang mampu meningkatkan saturation throughput minimal 9,0% dan mereduksi latensi paket rata-rata minimal 5,8% dibandingkan skema konvensional tanpa overhead perangkat keras tambahan [2], serta algoritma *fault-tolerant* adaptif yang dikembangkan oleh Nain et al. sebagai representasi solusi *routing* yang berorientasi pada keandalan sistem [9]. Kontribusi penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman sistematis mengenai efektivitas strategi *routing* dalam meningkatkan throughput NoC, sekaligus menjadi referensi komprehensif bagi perancang sistem *many-core* dalam memilih pendekatan *routing* yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik mereka.

METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Objek Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian campuran (*mixed-method research*) yang mengintegrasikan pendekatan kualitatif dan kuantitatif secara komplementatif berbasis *Systematic Literature Review* (SLR) dan analisis data sekunder. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengkaji, mendeskripsikan, dan menginterpretasikan mekanisme kerja serta karakteristik arsitektural dari algoritma *routing* yang menjadi objek penelitian. Sementara itu, pendekatan kuantitatif diterapkan untuk menganalisis dan membandingkan data numerik performa algoritma yang diperoleh dari literatur primer yang telah dipublikasikan. Kedua pendekatan ini bersifat saling melengkapi: temuan kualitatif memberikan kerangka interpretasi terhadap hasil analisis kuantitatif, sedangkan data kuantitatif memberikan landasan empiris bagi simpulan yang dirumuskan.

Seluruh data yang dianalisis dalam penelitian ini bersifat sekunder, bersumber dari hasil simulasi dan eksperimen yang telah dipublikasikan pada jurnal elektronika bereputasi. Penelitian ini tidak melakukan simulasi baru secara mandiri, melainkan berfokus pada sintesis dan analisis komparatif

terhadap bukti empiris yang tersedia dalam referensi utama [2] dan [9]. Pendekatan ini dipilih karena nilai utama penelitian terletak pada kemampuan membandingkan dan menyintesis temuan yang telah ada, bukan pada pengumpulan data primer.

Tabel 1. Objek Penelitian

No	Nama Algoritma	Singkatan	Jenis
1	<i>Network Adaptive Fault-Tolerant Routing</i>	NAFTR	Full Adaptif
2	<i>Deterministic-Adaptive Hybrid Routing</i>	DAHR	<i>Hybrid</i>

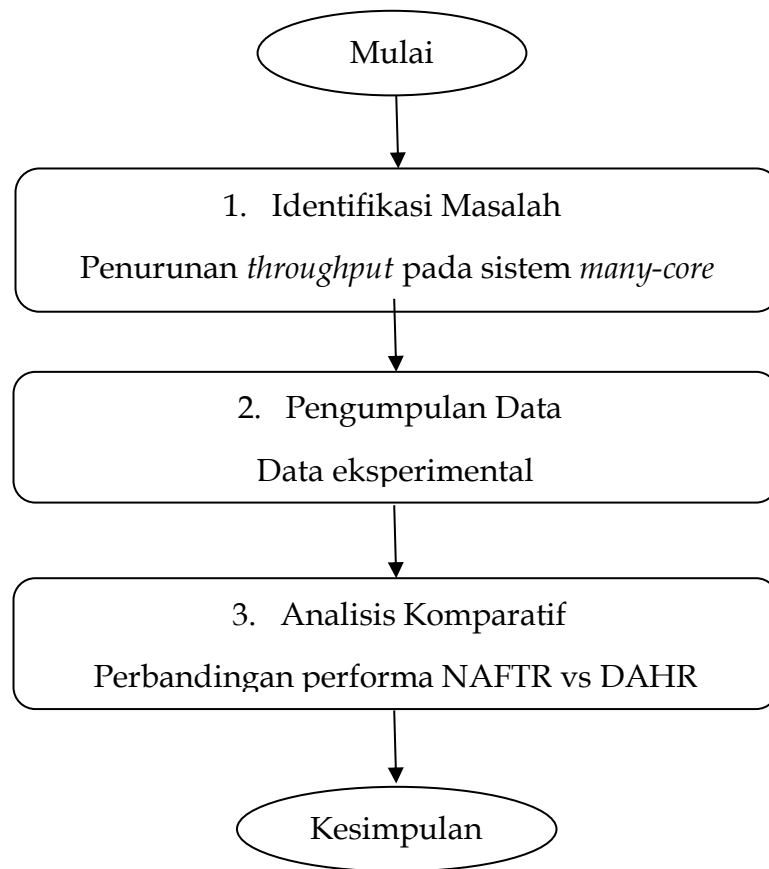
Tabel 2. Parameter Penelitian

Parameter	Satuan/Ukuran	Keterangan
<i>Throughput</i>	<i>flits/cycle/node</i>	Laju transmisi data maksimum yang dapat dipertahankan jaringan pada kondisi beban puncak
Latensi Paket	<i>clock cycles</i>	Rata-rata jumlah siklus <i>clock</i> yang dibutuhkan paket dari node sumber hingga node tujuan
<i>Area Overhead</i>	μm^2 dan mW	Luas <i>layout</i> dan konsumsi daya <i>router</i> hasil sintesis RTL menggunakan proses TSMC 130 nm

2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama yang tersusun secara sistematis dan berurutan, mulai dari identifikasi masalah hingga analisis komparatif antara kedua algoritma. Diagram alir pada Gambar 1

menggambarkan alur keseluruhan proses penelitian beserta hubungan antartahapan.



Gambar 1. Diagram alir tahapan Penelitian

3. Model atau Arsitektur yang dikaji

3.1 *Network Adaptive Fault/Tolerant Routing (NAFTR)*

NAFTR merupakan algoritma *routing* adaptif yang dirancang secara khusus untuk menjawab tantangan keandalan pada arsitektur NoC akibat kegagalan fisik pasca-manufaktur. Algoritma ini beroperasi secara dinamis dengan mendeteksi node atau tautan yang mengalami kegagalan, kemudian memilih jalur alternatif menuju node tujuan. Pendekatan adaptif NAFTR memungkinkan jaringan untuk terus beroperasi meskipun sebagian komponen mengalami *fault*, sehingga reliabilitas transmisi data tetap terjaga [3]. Keputusan *routing* didasarkan pada kondisi jaringan secara *real-time* dengan mempertimbangkan status

kesehatan tautan dan node tetangga. Algoritma ini merupakan pengembangan dari skema *routing* dinamis adaptif yang mengintegrasikan mekanisme toleransi kesalahan secara native ke dalam proses penentuan jalur.

3.2 *Deterministic-Adaptive Hybrid Routing (DAHR)*

DAHR merupakan algoritma *routing hybrid* yang menggabungkan informasi deterministik dengan informasi adaptif berbasis ketersediaan *virtual channel* (VC). Sebelum paket diinjeksikan ke jaringan, hubungan posisional antara node sumber dan tujuan — yang dikodekan sebagai *Routing Direction* (RD) serta jumlah hop pada arah horizontal (X_{hop}) dan vertikal (Y_{hop}) dihitung satu kali dan diencode ke dalam *head flit* paket. Pada setiap node perantara, keputusan *routing* dibuat dengan membandingkan jumlah VC bebas pada dua arah yang mungkin, tanpa memerlukan unit kalkulasi *routing* yang terpisah. Pendekatan ini menjamin kondisi bebas-*deadlock* melalui pembatasan belokan (*turn model*) dengan memperbolehkan maksimal dua belokan per paket untuk setiap nilai RD.

3.3 Perbandingan Arsitektural

Tabel 3. Perbandingan Arsitektural

Aspek	NAFTR	DAHR
Jenis Algoritma	Adaptif	<i>Hybrid</i> (deterministik-adaptif)
Topologi Target	2D Mesh NoC	2D Mesh NoC
Mekanisme <i>Deadlock</i>	Pemulihan adaptif dinamis	<i>Turn model</i> (≤ 2 belokan)
Toleransi Kesalahan	Ya (fitur utama)	Terbatas
Hardware <i>Overhead</i>	Sedang	Rendah (setara OE routing)
Unit Kalkulasi <i>Routing</i>	Diperlukan di tiap hop	Tidak diperlukan (dihapus)
Informasi Kemacetan	Status kondisi tautan	Jumlah VC bebas tetangga
Informasi Deterministik	Tidak	RD, X_{hop} , Y_{hop} di head flit

4. Prosedur Evaluasi dan Indikator Keberhasilan

Suatu algoritma dinyatakan berkinerja lebih baik apabila menunjukkan nilai yang superior secara konsisten pada seluruh indikator berikut di berbagai pola trafik yang diuji. Evaluasi dilakukan pada pola trafik sintesis *bit reversal*, *transpose 1*, *transpose 2*, dan *hotspot* dalam jaringan 4×4 dan 8×8 mengacu pada konfigurasi simulasi yang digunakan dalam referensi [2] dan [9]. Ketiga indikator berikut digunakan secara kumulatif – tidak ada satu indikator pun yang berdiri sendiri sebagai penentu keunggulan.

Tabel 4. Indikator Keberhasilan

Indikator	Keterangan
Saturation Throughput	<i>Injection rate</i> tertinggi sebelum rata-rata latensi paket melampaui dua kali nilai latensi beban nol. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan algoritma lebih efisien mendistribusikan beban jaringan dan menunda titik saturasi.

Average Delay	Rata-rata jumlah siklus <i>clock</i> yang dibutuhkan paket sejak diinjeksikan di node sumber hingga diterima di node tujuan. Nilai latensi yang lebih rendah menunjukkan efisiensi pemilihan jalur yang lebih baik.
Reliability	Persentase paket yang berhasil terkirim pada kondisi terdapat kegagalan tautan (<i>link failure</i>) sebesar 12%. Indikator ini relevan khususnya untuk mengevaluasi kemampuan <i>fault-tolerance</i> dari NAFTR.

5. Persamaan Matematis

Berikut adalah persamaan-persamaan yang digunakan dalam penghitungan indikator performa pada penelitian ini. Seluruh variabel mengacu pada kondisi jaringan NoC selama periode simulasi yang ditetapkan.

Perhitungan throughput jaringan dilakukan menggunakan Persamaan (1), yang merepresentasikan laju efektif pengiriman data per node per satuan waktu simulasi [2]:

$$TP = \frac{\text{Total Paket Diterima} \times \text{Ukuran Paket}}{\text{Jumlah Node} \times \text{Waktu Simulasi}}$$

Rata-rata latensi paket (*average packet latency*) dihitung menggunakan Persamaan (2), di mana L_i adalah latensi individual paket ke- i dan N adalah total paket yang berhasil dikirimkan selama simulasi [2]:

$$L_{ave} = \frac{\sum L_i}{N}$$

Reliabilitas jaringan dievaluasi menggunakan Persamaan (3), yang mengukur persentase paket yang berhasil terkirim terhadap total paket yang diinjeksikan ke jaringan pada kondisi adanya kegagalan tautan sebesar 12% [9]:

$$R = \frac{P_{delivered}}{P_{total}} \times 100$$

Variabel-variabel pada ketiga persamaan di atas dirangkum dalam tabel berikut untuk memudahkan perujukan:

Tabel 5. Persamaan Matematis

Variabel	Keterangan	Satuan
TP	Throughput jaringan (saturation throughput)	flits/cycle/node
L_{ave}	Rata-rata latensi paket	clock cycles
L_i	Latensi individual paket ke- i	clock cycles
N	Total paket yang berhasil dikirimkan	–
R	Reliabilitas jaringan	%
$P_{delivered}$	Jumlah paket yang berhasil diterima	–
P_{total}	Total paket yang diinjeksikan ke jaringan	–

PEMBAHASAN

1. Perbandingan Throughput pada Kondisi Jaringan Normal

Hasil analisis komparatif menunjukkan bahwa kedua algoritma routing, yaitu *Network Adaptive Fault-Tolerant Routing (NAFTR)* [9] dan *Deadlock-free Adaptive Hybrid Routing (DAHR)* [2], memiliki karakteristik performa yang berbeda secara signifikan bergantung pada kondisi jaringan yang dihadapi. Pada kondisi jaringan *fault-free* atau bebas kesalahan, DAHR menunjukkan keunggulan dari sisi throughput dengan peningkatan yang diklaim mencapai hingga 18% dibandingkan algoritma routing deterministik konvensional. Hal ini disebabkan oleh pendekatan hibrida yang diterapkan DAHR, yaitu menggabungkan mekanisme routing deterministik dan adaptif secara sinergis, sehingga mampu mendistribusikan beban trafik secara lebih merata pada kondisi jaringan yang stabil.

Sebaliknya, NAFTR yang merupakan pengembangan dari algoritma *Efficient Dynamic and Adaptive Routing Algorithm (EDAAR)* dirancang dengan orientasi utama pada ketahanan terhadap kondisi jaringan yang tidak ideal. Dalam skenario bebas kesalahan, NAFTR tetap mampu mencapai latensi lebih rendah dibandingkan algoritma *fault-tolerant XY routing*, namun throughput puncaknya sedikit berada di bawah DAHR. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme pemilihan jalur yang diterapkan oleh masing-masing algoritma, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 6. Perbandingan Parameter dan Mekanisme Algoritma NAFTR vs DAHR

Skenario Penggunaan	Algoritma Direkomendasikan	Alasan
Pendekatan Dasar	Fully Adaptive + Fault-Tolerant	Hybrid Deterministik-Adaptif
Mekanisme Utama	Pemilihan outport alternatif, load balancing antar hop setara	Kombinasi routing deterministik (XY) & adaptif berbasis kondisi
Keunggulan Throughput	Stabil pada jaringan degraded	Lebih tinggi pada kondisi normal
Flit Delivery Ratio	Hingga 18% lebih tinggi saat faulty	Optimal pada kondisi fault-free
Penanganan Deadlock	Livelock avoidance via alternate outport	Deadlock-free by design (hybrid)
Konsumsi Daya	Lebih rendah dari EDAAR	Efisien pada trafik seimbang

2. Analisis Flit Delivery Ratio pada Kondisi Jaringan Rusak (Faulty Network)

Salah satu temuan paling menonjol dalam analisis ini adalah keunggulan signifikan NAFTR dalam mempertahankan *flit delivery ratio* ketika jaringan mengalami kerusakan pada sejumlah *link*. Pada kondisi *faulty network*, NAFTR mampu mencapai flit delivery ratio hingga 18% lebih tinggi dibandingkan EDAAR [9]. Kemampuan ini bersumber dari mekanisme inti NAFTR yang secara dinamis memilih outport alternatif ketika link utama mengalami kegagalan, sekaligus melewati area jaringan yang padat, dan menyeimbangkan beban trafik di antara outport-outport yang memiliki jumlah hop count setara menuju tujuan.

Kondisi ini berbanding terbalik dengan karakteristik DAHR. Meskipun DAHR unggul dalam throughput pada kondisi normal, pendekatan hibrida yang menggabungkan routing deterministik berpotensi mengalami keterbatasan adaptasi ketika topologi jaringan terganggu secara dinamis. Routing deterministik, seperti XY routing yang menjadi komponen dasar DAHR, pada dasarnya mengikuti jalur tetap yang rentan terhadap kerusakan link pada segmen tertentu. Hal ini mengindikasikan

bahwa DAHR lebih sensitif terhadap degradasi jaringan dibandingkan NAFTR yang sepenuhnya adaptif.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa algoritma *fully adaptive* secara inheren memiliki toleransi kesalahan lebih tinggi karena fleksibilitas dalam pemilihan jalur routing-nya [9]. Namun demikian, fleksibilitas tersebut harus diimbangi dengan mekanisme pencegahan livelock yang memadai, yang dalam NAFTR diatasi melalui seleksi outport berbasis informasi status jaringan secara *real-time*.

3. Perbandingan Latensi dan Konsumsi Daya

Selain throughput dan flit delivery ratio, latensi dan konsumsi daya merupakan metrik penting yang memengaruhi kelayakan implementasi algoritma routing pada sistem *many-core*. NAFTR terbukti mampu mencapai latensi yang lebih rendah dibandingkan algoritma fault-tolerant XY routing pada skenario bebas kesalahan, serta mengonsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan EDAAR [9]. Efisiensi daya ini menjadi nilai tambah yang signifikan, terutama pada sistem tertanam (*embedded systems*) yang memiliki batasan energi ketat.

DAHR, di sisi lain, dirancang secara eksplisit untuk mengatasi masalah *deadlock* yang sering muncul pada pendekatan *fully adaptive* dengan cara menggabungkan komponen deterministik sebagai jalur utama dan komponen adaptif sebagai jalur alternatif [2]. Pendekatan ini secara struktural lebih sederhana untuk diimplementasikan pada perangkat keras karena tidak memerlukan mekanisme pemantauan jaringan yang kompleks, sehingga overhead sirkuit kontrol yang ditimbulkan relatif lebih kecil.

4. Implikasi Praktis dan Rekomendasi Penerapan

Berdasarkan analisis komparatif di atas, dapat disimpulkan bahwa tidak ada satu algoritma yang secara mutlak superior untuk semua skenario penggunaan. Pemilihan algoritma routing yang tepat sangat bergantung pada profil beban kerja dan tingkat keandalan jaringan yang dibutuhkan oleh sistem *many-core* yang bersangkutan. Tabel 2 merangkum rekomendasi penerapan berdasarkan skenario penggunaan.

Tabel 7. Rekomendasi Pemilihan Algoritma Berdasarkan Skenario Penggunaan

Skenario Penggunaan	Algoritma Direkomendasikan	Alasan
Server & sistem kritis (high reliability)	NAFTR [9]	Flit delivery ratio lebih tinggi saat terjadi kerusakan link; toleransi kesalahan superior
Perangkat mobile & IoT (efisiensi utama)	DAHR [2]	Throughput lebih tinggi pada kondisi normal; overhead kontrol lebih ringan
Sistem HPC dengan beban trafik tinggi & stabil	DAHR [2]	Pendekatan <i>hybrid</i> efisien mendistribusikan beban pada trafik seragam
Sistem dengan topologi yang rentan gangguan	NAFTR [9]	Adaptasi dinamis terhadap perubahan topologi secara <i>real-time</i>

Temuan ini memberikan kontribusi berupa kerangka analitis yang dapat digunakan oleh perancang sistem NoC dalam menentukan algoritma routing yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi. Khususnya, analisis ini menegaskan bahwa dimensi *fault tolerance* dan *throughput efficiency* merupakan dua sumbu yang saling berhadapan (*trade-off*) dalam desain algoritma routing adaptif pada NoC *many-core*.

5. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, perbandingan dilakukan secara analitis berbasis hasil simulasi dari masing-masing referensi, tanpa implementasi ulang pada platform simulasi yang seragam (seperti Gem5 atau BookSim). Hal ini berpotensi menimbulkan bias komparasi akibat perbedaan konfigurasi topologi, ukuran mesh, dan pola injeksi trafik yang digunakan pada kedua studi. Kedua, analisis ini terbatas pada dua metrik utama (throughput dan flit delivery ratio) serta belum mencakup evaluasi menyeluruh terhadap skalabilitas algoritma pada topologi mesh berukuran besar (misalnya 16×16 atau lebih).

Keterbatasan ini membuka peluang penelitian lanjutan yang mengintegrasikan kedua algoritma dalam lingkungan simulasi yang terkontrol dan seragam

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh serta pembahasan secara komprehensif terhadap hasil tersebut. Hasil dapat disajikan dalam bentuk teks, tabel, gambar, atau grafik yang relevan dan informatif. Setiap tabel, gambar, dan grafik harus diberi nomor serta dirujuk dalam teks.

Pembahasan harus menjelaskan makna dari hasil yang diperoleh, menganalisis keterkaitannya dengan tujuan penelitian, serta membandingkannya dengan penelitian terdahulu atau teori yang relevan. Penulis perlu menonjolkan kontribusi, keunggulan, atau kebaruan (*novelty*) dari hasil penelitian.

Selain itu, pembahasan juga apat memuat interpretasi hasil, analisis kelebihan dan keterbatasan penelitian, serta implikasi hasil terhadap pengembangan ilmu pengetahuan atau penerapan praktis. Penulisan harus sistematis, logis, dan tidak hanya mendeskripsikan hasil, tetapi juga memberikan analisis yang mendalam.

KESIMPULAN

Tidak ada algoritma yang secara mutlak unggul dalam semua kondisi jaringan. Pemilihan algoritma *routing* merupakan bentuk penyesuaian (*trade-off*) antara ketahanan sistem (*fault tolerance*) dan efisiensi perangkat keras (*throughput efficiency*).

Algoritma *Deterministic-Adaptive Hybrid Routing* (DAHR) terbukti lebih unggul pada kondisi jaringan normal (*fault-free*). Pendekatan hibridanya mampu mendistribusikan beban trafik secara optimal, menghasilkan *saturation throughput* hingga 18% lebih tinggi, serta memiliki *hardware overhead* kontrol yang lebih rendah dan ringan.

Algoritma *Network Adaptive Fault-Tolerant Routing* (NAFTR) unggul dalam menjaga keandalan saat jaringan berada dalam kondisi kritis (*faulty network*). Melalui mekanisme pemilihan jalur alternatif secara dinamis, NAFTR mampu mempertahankan *flit delivery ratio* hingga 18% lebih tinggi ketika terjadi kerusakan tautan (*link failure*) hingga 12%.

Keterbatasan Penelitian:

Analisis perbandingan dilakukan secara analitis berdasarkan data sekunder dari masing-masing literatur referensi, bukan melalui implementasi ulang pada satu platform simulasi yang seragam (seperti *Gem5* atau *BookSim*). Hal ini berpotensi memicu bias akibat perbedaan konfigurasi awal.

Evaluasi baru berfokus pada metrik utama (*throughput*, latensi, dan *flit delivery ratio*) serta belum menguji skalabilitas algoritma pada topologi jaringan mesh berukuran besar (seperti 16×16 atau lebih).

DAFTAR PUSTAKA

- [1].N. Ji and Y. Yang, "A Deadlock-Free *Deterministic-Adaptive Hybrid Routing* Algorithm for Efficient Network-on-Chip Communication," *Electronics*, vol. 14, no. 5, p. 845, Feb. 2025, doi: 10.3390/electronics14050845.
- [2].Z. Nain, R. Ali, S. Anjum, M. K. Afzal, and S. W. Kim, "A Network *Adaptive Fault-Tolerant Routing* Algorithm for Demanding Latency and Throughput Applications of Network-on-a-Chip Designs," *Electronics*, vol. 9, no. 7, p. 1076, Jul. 2020, doi: 10.3390/electronics9071076.
- [3].E. P. Cynthia, M. M. Cynthia, and D. N. Cynthia, "Analisis Protokol Routing Adaptif untuk Jaringan Komputer Skala Besar," *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknik Informatika*, vol. 2, no. 1, pp. 36-42, Jan. 2026, doi: 10.64803/juikti.v2i1.88.