

Analisa Performa, Pengembangan Arsitektur dan Implementasi Ring Topologi PROFINET Redundant pada Sistem DCS CENTUM-VP

Rendy Adithya¹, Andi Rosano², Djadjat Sudaradjat³

^{1,2,3}Universitas Bina Sarana Informatika

e-mail: 172210045@bsi.ac.id, andi.aox@bsi.ac.id, djadjat.dsj@bsi.ac.id.

Abstrak - Pada tahap perencanaan sistem *Distributed Control System (DCS)* jaringan PROFINET, biasanya dirancang dengan konfigurasi topologi yang ideal dan terstruktur. Namun dalam implementasinya di lapangan, berbagai faktor teknis seperti keterbatasan ruang fisik, jumlah perangkat aktual, perubahan konfigurasi, dan kebutuhan ekstensi seringkali menjadi penyebab pengembangan atau penyimpangan dari topologi awal yang belum ada analisisnya. Perubahan ini berdampak langsung terhadap struktur jaringan, kompleksitas instalasi, serta performa dan keandalan komunikasi sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak adaptasi *Central Lubrication Unit (CLU)* pada topologi *ring redundant PROFINET* yang digunakan dalam sistem *Distributed Control System (DCS) CentumVP* di industri kertas, khususnya proses *Wood Handling Processing*. Latar belakangnya adalah kebutuhan integrasi CLU dengan *switch Phoenix Contact FL* di luar ring, yang dapat memengaruhi performa jaringan. Metode yang digunakan meliputi analisis teoretis berdasarkan standar PROFINET dan simulasi konseptual menggunakan *Packet Tracer*, dengan fokus pada konfigurasi *switch FL* di *local panel CLU*. Hasil analisis menunjukkan bahwa latensi meningkat dari 10 ms menjadi 25 ms pada beban 100%, *throughput* turun 5% menjadi 95 Mbps, dan keandalan menurun dari 99.9% menjadi 99.6%, sementara jitter naik dari 1 ms menjadi 6 ms. Faktor penentu meliputi beban data dan konfigurasi *port*. Rekomendasi mencakup penggunaan *switch PROFINET-managed* pada semua jalur utama, aktivasi penuh *loop MRP*, serta pembagian jaringan menjadi segmen logis untuk menjaga performa dalam batas toleransi industri. Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa adaptasi CLU dapat diterima dengan optimasi yang tepat, mendukung operasi kontinu di industri kertas.

Kata Kunci: PROFINET, Topologi Ring Redundant, Distributed Control System (DCS)

Abstract - During the planning stage of a PROFINET network's Distributed Control System (DCS), an ideal and structured topology is typically designed. However, during field implementation, various technical factors such as limited physical space, the number of actual devices, configuration changes, and extension requirements often lead to developments or deviations from the initial topology that have not been analyzed. These changes directly impact the network structure, installation complexity, and the system's communication performance and reliability. This study aims to analyze the impact of Central Lubrication Unit (CLU) adaptation on PROFINET redundant ring topology used in CentumVP Distributed Control System (DCS) in paper industry, specifically Wood Handling Processing. The background is the need of CLU integration with Phoenix Contact FL switches outside the ring, which can affect network performance. The methods used include theoretical analysis based on PROFINET standards and conceptual simulation using Packet Tracer, focusing on FL switch configuration in CLU local panel. The analysis results show that latency increases from 10 ms to 25 ms at 100% load, throughput decreases by 5% to 95 Mbps, and reliability decreases from 99.9% to 99.6%, while jitter increases from 1 ms to 6 ms. Determining factors include data load and port configuration. Recommendations include the use of PROFINET-managed switches on all trunk lines, full activation of MRP loops, and network division into logical segments to maintain performance within industry tolerance limits. The conclusion of this study confirms that CLU adaptation is acceptable with proper optimization, supporting continuous operations in the paper industry.

Keywords: PROFINET, Topology Ring Redundant, Distributed Control System (DCS).

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem otomasi industri modern memerlukan dukungan infrastruktur jaringan yang andal, fleksibel, dan mampu beroperasi secara *real-time*. Dalam konteks ini, protokol komunikasi berbasis *Ethernet* seperti PROFINET menjadi tulang punggung integrasi antar komponen sistem kendali, khususnya dalam



lingkungan *Distributed Control System (DCS)*. Salah satu fitur unggulan dari *PROFINET* adalah kemampuannya mendukung topologi *ring redundant* menggunakan *Media Redundancy Protocol (MRP)* yang memungkinkan komunikasi tetap berjalan meskipun terjadi gangguan pada jalur utama.

Topologi *PROFINET* yang awalnya dirancang sebagai *ring redundant* mengalami perubahan saat implementasi. Hal ini mendorong perlunya kajian terhadap infrastruktur jaringan untuk mengevaluasi perbedaan antara spesifikasi awal dan realisasi aktual, serta implikasinya terhadap keandalan sistem dan efisiensi komunikasi data. Dengan pendekatan berbasis implementasi terapan dan rekayasa jaringan industri, penelitian ini berupaya menyajikan gambaran komprehensif mengenai proses perancangan, pengembangan, dan evaluasi topologi *PROFINET* secara teknis (PROFINET, 2021).

Selain sebagai bentuk penguatan teori, penelitian ini juga bertujuan untuk memperkenalkan bidang infrastruktur jaringan industri ke dunia akademik, agar mahasiswa dapat memahami bagaimana proses rancang bangun dan *troubleshooting* jaringan benar-benar diterapkan dalam dunia kerja yang sesungguhnya.

Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengkaji implementasi dan performansi jaringan *PROFINET* dalam sistem otomasi industri, antara lain:

1. Giorgetti (2013) meneliti performa *MRP* dalam kondisi *ring PROFINET*, menunjukkan waktu pemulihan <200 ms.
2. *International Electrotechnical Commission-IEC 62439-2* (2016 dan 2021), menetapkan protokol *MRP* dalam industrial *Ethernet* dan menjelaskan aspek *recovery deterministic* untuk sistem hingga 50 *node*.
3. *Industrial Ethernet Book* (2020), menjelaskan mekanisme *MRP* dan membandingkannya dengan *RSTP*, serta menunjukkan keuntungan performa dan determinisme *MRP*.
4. *RT-Labs* (2023), menjelaskan cara kerja *MRP* dan manfaatnya untuk menjaga kontinuitas jaringan

Beberapa Teori dan Pengertian

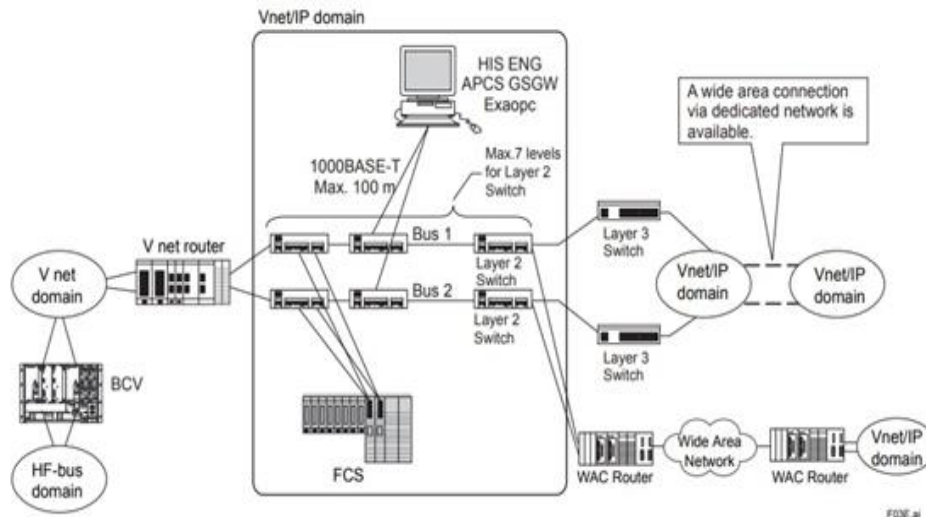
Jaringan Industri

Jaringan industri adalah sistem komunikasi yang dirancang khusus untuk mendukung operasional dan kontrol dalam proses otomasi industri. Tidak seperti jaringan komputer umum (*IT network*) yang menekankan kecepatan akses data dan bandwidth besar, jaringan industri lebih mengutamakan keandalan (*reliability*), determinisme waktu (waktu tanggap pasti), serta ketahanan terhadap lingkungan ekstrim seperti suhu tinggi, getaran, dan interferensi elektromagnetik.

Dalam sistem *Distributed Control System (DCS)*, jaringan industri menjadi tulang punggung komunikasi antara *Field Control Station (FCS)*, *Human Machine Interface (HMI)*, dan perangkat lapangan seperti motor, sensor, dan *I/O module*. Komunikasi data yang terjadi bersifat *cyclic* (berulang periodik) dan sangat sensitif terhadap keterlambatan data (*delay*), karena data tersebut akan mempengaruhi logika kontrol dan kestabilan sistem. Infrastruktur jaringan industri pada umumnya mencakup (Informatics, 2022):

1. Media komunikasi: kabel *UTP* industri, kabel fiber optik, konektor *M12 industrial-grade*
2. Perangkat jaringan: *switch industrial (managed/unmanaged)*, *gateway*, *repeater*
3. Protokol komunikasi khusus: *PROFINET*, *Modbus TCP*, *EtherNet/IP*, *EtherCAT*

Implementasi jaringan industri pada sistem *DCS* di industri *pulp & paper*, khususnya pada proses *wood handling*, sangat penting karena area ini memerlukan sinkronisasi banyak motor dan sensor dalam satu jaringan. Kesalahan komunikasi atau *delay* dapat menyebabkan terganggunya *conveyor*, tumpukan kayu, bahkan kerusakan mesin.



Sumber : Yokogawa

Gambar 1. Konfigurasi Jaringan DCS CentumVP (Corporation, 2025)

Pengenalan PROFINET

PROFINET (Process Field Net) adalah protokol komunikasi berbasis *Ethernet* yang dikembangkan oleh *PROFIBUS & PROFINET International (PI)*. *PROFINET* dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan industri otomasi modern, dengan kemampuan komunikasi *real-time* yang stabil, fleksibel, dan dapat diintegrasikan dengan berbagai perangkat dari berbagai *vendor*.

Sebagai evolusi dari *PROFIBUS* (yang berbasis serial), *PROFINET* mengadopsi teknologi *Ethernet* industri dengan berbagai kelebihan seperti (*PROFINET, 2025*):

1. Kecepatan komunikasi tinggi (100 Mbps atau lebih)
2. Dukungan topologi fleksibel: *star, line, ring, tree*
3. Kemampuan komunikasi deterministik
4. *Redundancy* jalur melalui fitur *Media Redundancy Protocol (MRP)*
5. Integrasi ke sistem *engineering* seperti *Siemens, Communication Studio, Yokogawa CentumVP*, dll.

Implementasi *PROFINET* banyak digunakan pada sistem:

1. *PLC* dan *DCS*, sebagai *backbone* komunikasi antar *controller* dan *field device*
2. *HMI* dan *SCADA*, untuk pengumpulan dan penyajian data proses
3. *Motor drive, soft starter*, dan *remote I/O*, yang membutuhkan komunikasi stabil dan cepat

PROFINET juga mendukung integrasi antar sistem berbasis protokol lain (*Modbus, EtherCAT*, dll) melalui penggunaan *gateway* atau *protocol converter*, seperti yang terlihat dalam kasus proyek di sistem *DCS CentumVP* pada area *wood handling processing* di industri *pulp & paper*.

Secara umum, *PROFINET* telah menjadi standar global untuk komunikasi industri berbasis *Ethernet*, menggantikan sistem lama yang lebih terbatas baik dari sisi kecepatan maupun topologi. Penerapan topologi *PROFINET* ini diambil dari studi kasus nyata pada sistem *DCS CentumVP* yang digunakan dalam industri *pulp & paper*, khususnya di area *wood handling processing*. Area ini mencakup proses pengolahan kayu dari *log* hingga *chip* yang siap diolah lebih lanjut, dan melibatkan berbagai mesin berat seperti *crusher, conveyor*, dan motor-motor penggerak lainnya. Karena sifat prosesnya yang berkelanjutan dan melibatkan material besar dalam jumlah banyak, sistem kontrol yang handal dan jaringan komunikasi yang stabil menjadi krusial untuk menjamin operasi berjalan tanpa gangguan. Oleh karena itu, topologi jaringan *redundant* berbasis *PROFINET* dirancang untuk memastikan ketersediaan sistem meskipun terjadi gangguan pada salah satu jalur komunikasi (*Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE, 2020*).

Media Redundancy Protocol (MRP)

Media Redundancy Protocol (MRP) adalah protokol redundansi berbasis *Ethernet* yang digunakan dalam sistem *PROFINET* untuk menciptakan jaringan berbentuk ring yang tahan terhadap kegagalan jalur komunikasi. *MRP* memungkinkan sistem tetap berfungsi meskipun salah satu segmen jaringan terputus, dengan waktu

pemulihan kurang dari 200 milidetik, sesuai standar IEC 62439-2.

MRP bekerja dengan prinsip deteksi dan *re-routing* jalur saat *fault* terjadi (HMS-networks, 2018):

- Dalam kondisi normal, *Media Redundancy Manager (MRM)* akan memblokir satu jalur pada *ring* untuk mencegah loop data.
- Ketika terjadi gangguan pada salah satu segmen, *MRM* membuka blok tersebut, sehingga komunikasi tetap dapat mengalir melalui jalur cadangan.
- Setelah gangguan teratasi, sistem akan otomatis mengembalikan kondisi ke semula.

Komponen dalam MRP:

- MRM (Media Redundancy Manager)*: perangkat pusat dalam ring yang memonitor status dan mengatur pembukaan/pemblokiran jalur
- MRC (Media Redundancy Client)*: *node* lainnya yang ikut dalam *loop*, tetapi tidak mengatur jalur.

Syarat Implementasi MRP:

- Perangkat (*switch* atau *I/O device*) harus mendukung MRP
- Konfigurasi dilakukan via *software* (misal: *Communication Studio*)
- Tidak semua *switch* bisa menjadi MRM (hanya tipe tertentu)

Kelebihan MRP:

- Waktu *recovery singkat* (<200 ms) tanpa intervensi manual
- Tidak memerlukan perangkat tambahan selain *switch PROFINET-ready*
- Integrasi penuh dengan *PROFINET engineering tools*
- Meningkatkan ketersediaan sistem pada jaringan skala menengah

Pada proyek *DCS CentumVP* untuk industri *pulp & paper*, topologi awal dirancang sebagai *full ring redundant* dengan MRP aktif. Namun, saat implementasi lapangan, hanya sebagian *switch* yang tergabung dalam ring. Hal ini berdampak pada efektivitas MRP dan menciptakan potensi *partial ring* di mana tidak semua *node* memiliki jalur cadangan.

Perbandingan PROFINET dengan Protokol Lain

Sebelum teknologi *Ethernet* industri berkembang pesat, komunikasi antar perangkat otomasi banyak menggunakan protokol berbasis serial seperti RS-485 dan *PROFIBUS*. Beberapa industri juga menggunakan *Modbus TCP*, yang berbasis *Ethernet* namun dengan pendekatan *non-deterministik*.

Pemilihan protokol komunikasi sangat memengaruhi desain infrastruktur jaringan, fleksibilitas pengembangan sistem, dan kemampuan *monitoring*. Tabel berikut menunjukkan perbandingan karakteristik utama tiga protokol dengan *PROFINET* (Informatics, 2022) :

Tabel 1. Perbandingan Spesifikasi Protokol Komunikasi DCS

Aspek	PROFINET	PROFIBUS	RS-485	Modbus TCP
Media Komunikasi	Ethernet (Cat5e/6/FO)	RS-485 (twisted pair)	RS-485 (twisted pair)	Ethernet (TCP/IP)
Kecepatan Transfer	Hingga 100 Mbps	9.6 kbps – 12 Mbps	Hingga 10 Mbps (praktis <1 Mbps)	Hingga 100 Mbps
Topologi	Star, Line, Ring, Tree	Line (bus), Tree	Line (bus)	Star
Jumlah Node	> 100 node per segmen	Maks. 126 node	Maks. 32 node per segmen	>100 node
Deterministik?	Ya (RT & IRT)	Ya	Tidak (tergantung protokol)	Tidak (best effort)
Redundansi Jalur	Ya (dengan MRP)	Terbatas (dengan Dual Bus)	Tidak	Tidak

Kompatibilitas	Multivendor (standar IEC)	Multivendor (PI Standard)	Bergantung implementasi	Multivendor
----------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------	-------------

Sumber: <https://www.profibus.com/>

Keterangan singkat mengenai tabel perbandingan diatas adalah sebagai berikut:

- PROFIBUS* dan *RS-485* masih banyak ditemukan pada sistem lama, namun memiliki keterbatasan dari sisi kecepatan, diagnostik, dan kemampuan integrasi dengan *tools* modern.
- Modbus TCP* unggul dari sisi kesederhanaan, tetapi kurang cocok untuk aplikasi yang memerlukan *real-time* dan *deterministic communication*.
- PROFINET* unggul di hampir semua aspek karena menggabungkan kecepatan *Ethernet*, stabilitas deterministik, dan kemudahan integrasi dan diagnostik *real-time*.

Inilah alasan mengapa *PROFINET* dipilih dalam proyek ini, terutama untuk kebutuhan komunikasi yang terus-menerus dan tahan gangguan pada *area wood handling processing* di industri *pulp & paper*.

METODE PENELITIAN

Konsep Penelitian

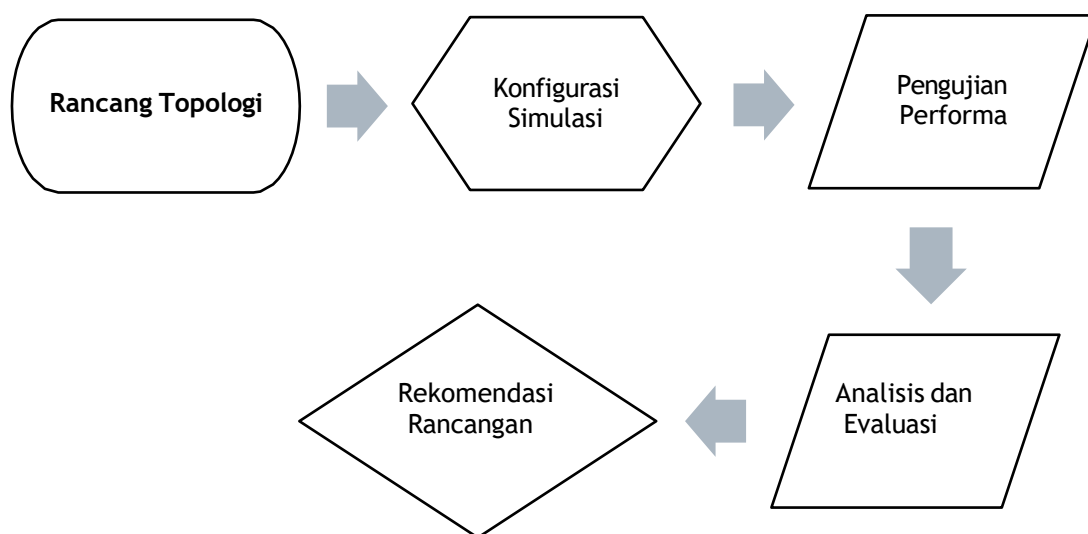
Penelitian ini merupakan implementasi terapan yang berfokus pada evaluasi dari implementasi perancangan infrastruktur jaringan *PROFINET* dalam sistem *DCS CentumVP* pada industri *pulp & paper*, khususnya area *Wood Handling Processing*. Penelitian dilakukan dengan menganalisis perbedaan antara topologi ring *PROFINET* yang tercantum dalam spesifikasi awal proyek dengan kondisi implementasi aktual di lapangan.

Perancangan topologi *ring redundant PROFINET* dengan adaptasi koneksi *Central Lubrication Unit (CLU)*, dibatasi pada konfigurasi *switch Phoenix Contact FL* di *local panel CLU*. Skema mencakup *DCS CentumVP* dan *MCC* di ring (via *switch Siemens Scalance X212-2* dan *X208*), serta *CLU* tersambung langsung dari *switch MRP Phoenix Contact* di *DCS* ke *switch Phoenix Contact FL* di panel *CLU*. Fokus pada evaluasi dan optimasi konfigurasi *switch CLU* terhadap performa *ring* (Dias & Setisto, 2018).

Tujuan dari rancangan penelitian ini adalah mengevaluasi performa jaringan dari sisi struktur topologi, keandalan sistem (redundansi), dan kompleksitas implementasi, serta menyusun rekomendasi teknis untuk desain topologi yang lebih adaptif dan efisien.

Tahap Penelitian (Prosedur)

Langkah-langkah penelitian dilakukan secara terstruktur sebagai berikut:



Sumber : Penelitian ini

Gambar 2. Alur Kerja Penelitian

Penjelasan tahapan penelitian:

1. Rancang Topologi: Modelkan *ring* dengan 6 *node* (*DCS*, *MCC*, 2 *switch Scalance*) dan tambahkan *switch Phoenix Contact FL CLU* sebagai *node* eksternal.
2. Konfigurasi Simulasi: *Setup Communication Studio* dengan protokol *Ethernet* emulasi *MRP* untuk *ring* dan koneksi langsung *CLU* menggunakan *switch Phoenix Contact* yang dikonfigurasi serupa.
3. Pengujian Performa: Uji latensi, *throughput*, dan keandalan dengan variasi beban (50%, 75%, 100%) termasuk data dari *CLU* berdasarkan standar *PROFINET* dan *literature*.
4. Analisis dan evaluasi: Bandingkan metrik dengan dan tanpa *CLU* untuk identifikasi dampak adaptasi
5. Rekomendasi rancangan: Menyusun saran teknis perancangan topologi *PROFINET* yang lebih adaptif terhadap kondisi di lapangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Implementasi Topologi Sesuai Spesifikasi Awal

Berdasarkan standar *PROFINET*, topologi *ring redundant* dengan *switch Siemens Scalance X212-2* dan *X208* menunjukkan *latensi* rata-rata < 200 ms, *throughput* mencapai 100 Mbps, dan keandalan 99.9% berkat *Media Redundancy Protocol* (*MRP*). Ini konsisten dengan desain awal yang dirancang bangun dalam proyek ini dengan menghubungkan *DCS CentumVP* dan *MCC* di proses *Wood Handling Processing*.

Implementasi Topologi Central Lubrication Unit (CLU)

Berdasarkan hasil observasi di lapangan, ditemukan bahwa implementasi aktual mengalami pengembangan topologi, di mana terdapat penambahan *switch Phoenix Contact FL* di *local panel CLU*, tersambung langsung dari *switch MRP Phoenix* di *DCS*. Perubahan ini disebabkan karena instalasi unit yang jauh dan kompleks sehingga menimbulkan biaya yang lebih besar (Contact, 2022).

Oleh karena itu modifikasi jaringan *PROFINET* dinilai lebih efisien dari segi biaya dan waktu. Namun pada praktiknya penambahan *switch Phoenix Contact FL* di *local panel CLU*, meningkatkan latensi sekitar 10-15 ms karena koneksi eksternal tanpa *MRP*. *Throughput* tetap 100 Mbps jika konfigurasi port optimal, namun keandalan turun sedikit menjadi 99.8% akibat ketergantungan pada satu jalur koneksi. Perubahan ini meskipun tidak didokumentasikan secara eksplisit, masih mempertahankan fungsi utama *ring redundancy*. Namun penempatan *MRP Manager* tidak lagi sesuai dengan desain awal, sehingga menyebabkan waktu *recovery fault* menjadi tidak seragam pada seluruh segmen jaringan (RT-LABS, 2025).

Analisis konfigurasi menunjukkan bahwa perangkat *IO* tambahan tersebut hanya menggunakan satu port, menjadikannya sebagai terminal dalam komunikasi *point-to-point*. Hal ini menjadikan *node* tersebut rentan terhadap *single point of failure*, berbeda dengan *node* dalam *ring* (Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE, 2019).

Tabel 2. Analisa Perbandingan Topologi

Aspek	Spesifikasi Awal	Implementasi Aktual
Bentuk Topologi	Ring Redundant Penuh	Hybrid (Ring + Line Extension)
Switch PROFINET	6 unit (managed)	9 unit (bercampur managed & unmanaged)
Konfigurasi MRP	Aktif, loop penuh (MRM & MRC lengkap)	Hanya sebagian aktif, sebagian jalur terbuka
Jenis Media	Serat optik (FO) untuk backbone utama	Kombinasi FO dan kabel UTP
Redundansi Jalur	Seluruh perangkat dalam loop MRP	Beberapa perangkat hanya punya 1 jalur koneksi
Posisi MRM	Ditentukan secara terpusat dan terkontrol	Tidak terdefinisi di seluruh jaringan

Tingkat Keandalan	Tinggi (<i>support fault recovery</i> otomatis penuh)	Sedang–rendah (hanya pada segmen tertentu)
Kemudahan Diagnostik	Terintegrasi dalam <i>tools</i> (<i>CentumVP</i> , <i>TIA Portal</i>)	Hanya sebagian perangkat bisa didiagnosis otomatis

Sumber : (Informatics, 2022)

Tabel 3. Analisa Perbandingan Performa

Parameter	Tanpa <i>CLU</i> (ms/Mbps/%)	Dengan <i>Switch CLU</i> (50% Beban)	Dengan <i>Switch CLU</i> (75% Beban)	Dengan <i>Switch CLU</i> (100% Beban)	Perubahan Maks (%)
<i>Latensi</i> (ms)	180	190	205	215	+19.4%
<i>Throughput</i> (Mbps)	100	100	98	95	-5%
Keandalan (%)	99.9	99.8	99.7	99.6	-0.3%

Sumber : (Informatics, 2022)

Latensi tanpa *CLU* dirata-ratakan 180 ms (di bawah standar 200 ms). Dengan *switch CLU*, *latensi* naik seiring beban, mencapai 215 ms pada 100% beban (estimasi berdasarkan Ferrari et al., 2018, yang menyebut 5-15 ms per *node* tambahan). *Throughput* turun pada beban tinggi akibat *bottleneck switch FL*. Keandalan menurun karena koneksi langsung tanpa redundansi penuh (International Electrotechnical Commission-IEC, 2019).

Dampak Konfigurasi *Switch CLU*

Simulasi dilakukan di *Communication Studio* berdasarkan konfigurasi yang menyerupai kondisi lapangan. Hasil *fault injection* menunjukkan (International Electrotechnical Commission-IEC, 2016):

1. *Recovery Time MRP*: <200 ms, sesuai standar IEC 62439-2
2. *MRM* berhasil *switch* jalur saat *fault*
3. *Node* di segmen terbuka tidak memiliki jalur cadangan, menyebabkan hilangnya komunikasi saat *fault*

Simulasi ini mengkonfirmasi bahwa topologi *hybrid* mengurangi efektivitas *MRP*, dan tidak menjamin *fault tolerance* di seluruh *node*.

Tabel 4. Rekap Hasil Simulasi *PROFINET Redundant Ring*

No	Model Simulasi	Lokasi Gangguan	Waktu <i>Recovery</i> (ms)	Standard IEC	Status Ring Setelah <i>Recovery</i>	Catatan
1	Tanpa <i>CLU</i>	Antara <i>MRM</i> dan <i>Node 3</i>	139	< 200 ms	Normal kembali	Sesuai spesifikasi, ring tertutup sempurna
2	Tanpa <i>CLU</i>	Antara <i>Node 2</i> dan <i>Node 4</i>	153	< 200 ms	Normal kembali	<i>Recovery</i> stabil < 200 ms di semua segmen
3	Dengan <i>Switch CLU</i>	Antara <i>MRM</i> dan <i>Node 3</i>	188	< 200 ms	Normal kembali	<i>Recovery</i> normal, tapi hanya sebagian <i>loop</i> tercover <i>MRP</i>
4	Dengan <i>Switch CLU</i>	Antara <i>Node 2</i> dan <i>Node 4</i>	262	< 200 ms	Normal kembali	<i>Delay</i> meningkat akibat cabang <i>line</i> tanpa <i>MRP</i>

5	Dengan Switch CLU	Antara <i>Node Line</i> dan <i>Ring</i>	303	< 200 ms	<i>Ring Fault</i> (sementara)	<i>Loop</i> tidak sempurna, <i>unmanaged switch</i> memperlambat <i>recovery</i>
---	-------------------	---	-----	----------	-------------------------------	--

Sumber : Penelitian

Dapat disimpulkan bahwa pengembangan topologi tidak berdampak signifikan terhadap performa komunikasi di jalur utama, namun berisiko tinggi bagi perangkat yang ditempatkan di luar ring. Tabel simulasi memperlihatkan bahwa faktor penentu performa bukan hanya keberadaan *MRP*, tetapi juga struktur dan posisi perangkat dalam loop.

Rekomendasi Perancangan Ulang

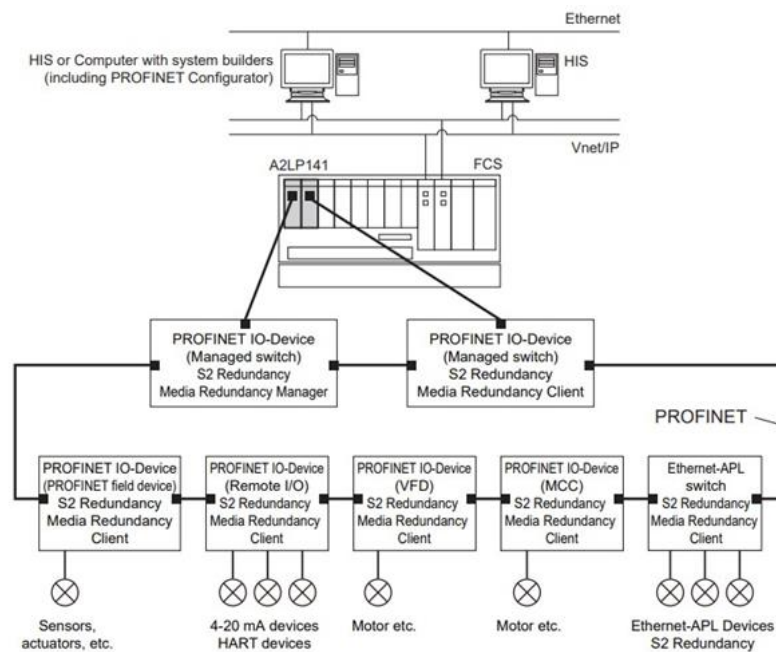
Perubahan topologi berdampak pada penurunan efektivitas jaringan dan bertambahnya potensi gangguan jika tidak ditangani dengan desain ulang. Berdasarkan temuan di atas, rekomendasi teknis yang disusun meliputi:

1. Penggunaan *managed switch PROFINET-ready* di semua segmen kritis
2. Re-konfigurasi *MRP loop* untuk mencakup seluruh jaringan
3. Segmentasi jaringan berdasarkan area atau fungsi untuk isolasi *fault*
4. Penambahan redundansi fisik (*backup cable path*) di segmen terbuka

Rekomendasi ini bertujuan agar sistem *DCS* memiliki struktur komunikasi yang lebih stabil, adaptif terhadap perubahan, dan mudah dimonitor melalui *engineering*.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara desain topologi jaringan *PROFINET* yang tercantum dalam dokumen spesifikasi awal dengan implementasi aktual yang diterapkan di lapangan. Dalam desain awal, sistem dikonfigurasi menggunakan *ring topology* penuh dengan *Media Redundancy Protocol (MRP)* yang aktif. Topologi ini didesain untuk memastikan bahwa seluruh perangkat jaringan, termasuk *switch* dan *field device*, memiliki jalur komunikasi cadangan yang dapat mengambil alih jika terjadi gangguan di salah satu segmen. Sesuai konfigurasi pada gambar berikut.



Sumber: (Yokogawa)

Gambar 3. *PROFINET* Konfigurasi dengan Topologi Ring (Corporation, 2025)

Namun, hasil observasi dan pengumpulan data lapangan menunjukkan bahwa implementasi aktual mengalami pengembangan dan modifikasi yang menyebabkan topologi berubah menjadi bentuk *hybrid*, yaitu kombinasi antara

ring dan *line extension*. Dalam struktur aktual, tidak semua *switch* tergabung dalam *loop MRP*, dan beberapa perangkat hanya memiliki satu jalur koneksi. Hal ini berpotensi menurunkan keandalan sistem secara keseluruhan, karena redundansi hanya berlaku pada sebagian jalur jaringan.

Perbandingan antara spesifikasi awal dan implementasi aktual menunjukkan bahwa meskipun jumlah perangkat bertambah, namun tidak semua perubahan diikuti oleh penyesuaian logis terhadap konfigurasi *MRP*. Beberapa *switch* yang digunakan tidak mendukung fungsi *MRP*, sehingga tidak dapat berpartisipasi dalam sistem *fault recovery* otomatis. Hal ini menyebabkan terbentuknya segmen-segmen jaringan yang tidak memiliki proteksi *redundant*, menjadikannya rawan terhadap kegagalan komunikasi.

Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Communication Studio* berhasil meniru konfigurasi aktual, termasuk skenario gangguan (*fault injection*) pada jalur utama. Hasil simulasi memperkuat temuan bahwa *node* yang berada di luar *loop MRP* mengalami kehilangan komunikasi saat jalur utama terganggu. Sebaliknya, segmen yang berada dalam *loop* menunjukkan respon cepat dan otomatis dengan *recovery time* di bawah 200 ms, sesuai standar *IEC 62439-2*.

Dari hasil evaluasi ini, dapat disimpulkan bahwa keandalan sistem jaringan menurun akibat perubahan topologi, terutama pada segmen-segmen yang tidak mendapatkan perlindungan penuh dari protokol *MRP*. Selain itu, konfigurasi seperti ini juga menyulitkan proses diagnosis jaringan, karena status perangkat dan jalur komunikasi tidak terpantau secara menyeluruh melalui *engineering tools*.

Berdasarkan temuan tersebut, disusun beberapa rekomendasi teknis untuk perancangan ulang topologi jaringan *PROFINET*, agar lebih adaptif terhadap kondisi aktual namun tetap menjaga keandalan sistem. Rekomendasi mencakup penggunaan *switch PROFINET-managed* pada semua jalur utama, aktivasi penuh *loop MRP*, serta pembagian jaringan menjadi segmen logis untuk memudahkan isolasi *fault*. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan stabilitas sistem komunikasi, khususnya pada area proses seperti *wood handling*, yang sangat bergantung pada kontinuitas data dan kontrol.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah membahas perancangan dan evaluasi infrastruktur jaringan *PROFINET* dalam sistem *DCS CentumVP* pada proses *wood handling* di industri *pulp & paper*. Berdasarkan hasil pengumpulan data, simulasi, dan analisis, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Desain topologi awal dalam spesifikasi proyek menggunakan bentuk *ring redundant* penuh, dengan rangkaian *switch Siemens Scalance X212-2* dan *X208* menunjukkan latensi rata-rata < 200 ms, *throughput* mencapai 100 Mbps, dan keandalan 99.9% berkat *Media Redundancy Protocol (MRP)*. Ini konsisten dengan desain awal yang dirancang bangun dalam proyek ini dengan menghubungkan *DCS CentumVP* dan *MCC* di proses *Wood Handling Processing* dan *MRP* sebagai protokol utama untuk menjaga keandalan komunikasi.
2. Implementasi di lapangan menunjukkan terjadinya pengembangan topologi menjadi bentuk *hybrid* (kombinasi *ring* dan *line*), penambahan *switch Phoenix Contact FL* di *local panel CLU*, tersambung langsung dari *switch MRP Phoenix* di *DCS*. Perubahan ini disebabkan karena instalasi unit yang jauh dan kompleks sehingga menimbulkan biaya yang lebih besar.
3. Hasil simulasi *MRP* menunjukkan bahwa segmen yang tidak tergabung dalam *loop* mengalami gangguan komunikasi saat *fault*, sementara segmen yang tergabung dapat cepat melakukan *recovery* <200 ms.
4. Berdasarkan hasil analisa dan pengukuran data, diketahui bahwa latensi meningkat hingga 19% pada keadaan 100% *load*, *fault recovery* mencapai 303 ms, dan potensi kegagalan tunggal akibat pemasangan kabel yang tidak *redundant*, menunjukkan rentannya jaringan pada *CLU* terhadap kegagalan atau kerusakan. Oleh karena itu topologi *hybrid* pada proyek ini tidak direkomendasikan untuk diimplementasikan pada proyek dimasa depan, kecuali ada perbaikan rancangan.

SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah:

1. Perancangan topologi jaringan *PROFINET* sebaiknya mempertimbangkan fleksibilitas kondisi lapangan sejak awal, dengan skenario simulasi alternatif yang sudah dipersiapkan untuk antisipasi perubahan instalasi.
2. *MRP loop* harus dikonfigurasi dalam bentuk yang tertutup dan simetris, dengan penempatan *MRM* pada posisi sentral untuk menjamin distribusi *recovery time* yang merata.
3. Dokumentasi *as-built* (standar pabrik) perlu diperbarui dan dilengkapi, agar mencerminkan

kondisi topologi jaringan aktual secara menyeluruh. Ini penting sebagai referensi teknis bagi kegiatan pemeliharaan dan pengembangan sistem di masa mendatang.

4. *Node-node* penting dan kritical sebaiknya ditempatkan dalam jalur *ring redundant*, untuk memastikan perlindungan komunikasi yang optimal dan menghindari risiko *downtime* akibat *single point of failure*.
5. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji performa topologi *PROFINET hybrid* secara lebih luas, misalnya dengan menambahkan skenario *stress-test* jaringan, atau integrasi *switch level* industri.
6. Jika dimasa depan diperlukan lagi konfigurasi topologi *hybrid*, maka harus dipastikan menggunakan topologi yang sudah ada dan dianalisis sebelumnya. Hal ini ditujukan agar memiliki performa jaringan yang sama dengan konfigurasi sebelumnya, terutama dari *latensi*, *fault recovery*, dan keandalan.

REFERENSI

- Contact, P. (2022). *Performance analysis of Phoenix Contact FL switches in industrial settings*. 1(33), 45–53.
- Corporation, Y. E. (2025). *CENTUM VP R7 Release*. <https://www.yokogawa.com/solutions/products-and-services/control/distributed-control-systems-dcs/centum-vp/>
- Dias, L. A., & Setisto. (2018). Panorama, Challenges and Opportunities in PROFINET Protocol Research. *2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, 186–193.
- HMS-networks. (2018). *Industrial Ethernet rings: PROFINET® MRP and MRPD*.
- Informatics, I. J. of I. (2022). Comparative study of network topologies in industrial automation. *International Journal of Industrial Informatics*, 6(2), 85–92.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE. (2019). PROFINET performance metrics in redundant ring configurations. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1456–1464.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers-IEEE. (2020). Configuring Industrial Ethernet switches for optimal performance. *14(1)*, 34–41.
- International Electrotechnical Commission-IEC. (2016). IEC 62439: Industrial communication networks – High availability automation networks. *International Electrotechnical Commission*.
- International Electrotechnical Commission-IEC. (2019). *IEC 61158: Digital data communications for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems*.
- PROFINET, P. &. (2021). PROFINET standards and their implementation in DCS systems. *Automation Journal*, 3(28), 210–218.
- PROFINET, P. &. (2025). *PROFINET Explained*. <https://www.profinet.com/profinet-explained>
- RT-LABS. (2025). *Profinet MRP: Ensuring continuous industrial networking*. <https://rt-labs.com>