ANALISIS DAN IMPLEMENTASI MULTIHUB LOAD BALANCING PCC PADA SCADA 20 kV

TUGAS AKHIR

SKRIPSI

MUHAMMAD RIDHO RIYADI

41519110022

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2026

lib.mercubuana.ac.id

ANALISIS DAN IMPLEMENTASI MULTIHUB LOAD BALANCING PCC PADA SCADA 20 kV

TUGAS AKHIR

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

MUHAMMAD RIDHO RIYADI

41519110022

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2026

lib.mercubuana.ac.id

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMMAD RIDHO RIYADI

NIM : 41519110022

Program Studi : Teknik Informatika

Judul Laporan Skripsi : ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *MULTIHUB LOAD BALANCING PCC PADA SCADA 20 kV*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul : ANALISA DAN IMPLEMENTASI MULTIHUB BALANCING PCC PADA SCADA 20 kV adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 05 Agustus 2026



Muhammad Ridho Riyadi

lib.mercubuana.ac.id

UNIVERSITAS
MERCU BUANA
AKREDITASI UNGGUL

PERNYATAAN SIMILARITY CHECK
/SIMILARITY CHECK STATEMENT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh
/The undersigned, hereby declare that the scientific work written by

Nama /Name	: Muhammad Ridho Riyadi
NIM /Student ID Number	: 41519110022
Program Studi /Study Program	: Teknik Informatika

Dengan Judul Tugas Akhir
/The title:
"Analisis dan Implementasi Multihub Load Balancing PCC Pada Scada 20KV"
telah dilakukan pengecekan *similarity* dengan sistem Turnitin pada tanggal:
/Similarity checks have been carried out with the Turnitin system on the date:

18 Agustus 2026

dengan nilai persentase sebesar :
/with a percentage value of:

18%

dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan berlaku di **Fakultas Ilmu Komputer** Universitas Mercu Buana. */declared to meet standards in accordance with applicable regulations at the Faculty of Computer Science, Universitas Mercu Buana.*
File hasil cek similarity turnitin:
/Turnitin similarity report file

https://drive.google.com/file/d/1w--MJGX9MilV_lGqvkaqYymfPEKKgCQ2/view?usp=drive_link

Jakarta, 18 Agustus 2026
Admin Turnitin Fasilkom UMB

Agung Prawoto

Agung Prawoto, S.Kom., B.Sc
NIK : 322970503

Fakultas Ilmu Komputer
KAMPUS MENARA BHAKTI
Jl. Raya Meruya Selatan No. 1 Kembangan, Jakarta Barat 11650
Telp. 021-5840816 (Hunting), Psw : 5700 Fax. 021-5840813
http://www.mercubuana.ac.id, e-mail : fasilkom@mercubuana.ac.id

lib.mercubuana.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	:	Muhammad Ridho Riyadi
NIM	:	41519110022
Fakultas/Program Studi	:	Fakultas Ilmu Komputer / Teknik Informatika
Judul Tugas Akhir	:	Analisis dan Implementasi Multihub Load Balancing PCC Pada SCADA 20Kv

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 28 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing

Misni, S.Kom., M.Kom.
NIDN/NUPTK: 0413046802

Jakarta, 09 September 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Ilmu Komputer	Ketua Program Studi Teknik Informatika
Dr. Bambang Jokonowo, S.Si., MTI	Dr. Hadi Santoso, S.Kom., M.Kom
NIDN/NUPTK: 0320037002	NIDN/NUPTK: 0225067701

UNIVERSITAS MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan **Tugas Akhir (Skripsi)** yang berjudul **"Analisis dan Implementasi Multihub Load Balancing PCC pada SCADA 20KV"** dengan baik. Penyusunan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Mercu Buana.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan karya ilmiah ini di masa mendatang.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, motivasi, doa, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng.**, selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. **Bapak Dr. Bambang Jokonowo, S.Si., MTI**, selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Mercu Buana.
3. **Bapak Dr. Hadi Santoso, S.Kom., M.Kom.**, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Mercu Buana.
4. **Bapak Anis Cherid, S.E., M.TI.**, selaku Dosen Pembimbing MPTI yang telah memberikan arahan, motivasi, serta masukan selama proses penyusunan proposal penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
5. **Bapak Misni, S.Kom., M.Kom.**, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan, arahan, serta masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Ketua Penguji Bapak Hadi Santoso, S.Kom, M.Kom, Penguji 1 Bapak Misni, S.Kom, M.kom, dan Bapak Muhammad Rifqi S.Kom, M.Kom, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir atas koreksi dan arahan serta masukannya.
7. Pimpinan beserta seluruh jajaran **PT PLN Icon Plus** atau **PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Menteng dan**

lib.mercubuana.ac.id

UP3 Cengkareng yang telah memberikan izin, kesempatan, serta dukungan kepada penulis untuk melakukan penelitian dan memperoleh data yang diperlukan dalam penyusunan skripsi ini.

8. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, motivasi, serta dukungan moral maupun material selama penulis menempuh pendidikan.
9. Seluruh teman-teman Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan dukungan, semangat, serta berbagi informasi selama proses penyusunan skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang jaringan komputer dan sistem SCADA. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Jakarta, 02 Agustus 2026

Muhammad Ridho Riyadi

UNIVERSITAS MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: MUHAMMAD RIDHO RIYADI
NIM	: 41519110022
Program Studi	: Teknik Informatika
Judul Tugas Akhir	: ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *MULTIHUB LOAD BALANCING PCC* PADA *SCADA* 20KV

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (***Non-exclusive Royalty-Free Right***) atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

UNIVERSITAS MERCU BUANA

Jakarta, 07 Agustus 2026

Yang menyatakan.



MUHAMMAD RIDHO RIYADI

lib.mercubuana.ac.id

ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *MULTIHUB LOAD BALANCING PCC* PADA *SCADA* 20KV

MUHAMMAD RIDHO RIYADI

ABSTRAK

Perkembangan sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) pada jaringan distribusi tenaga listrik 20 kV membutuhkan infrastruktur komunikasi yang stabil dan memiliki tingkat ketersediaan tinggi untuk mendukung proses monitoring dan pengendalian secara real-time. Pada jaringan SCADA di area UP3 Menteng dan UP3 Cengkareng ditemukan ketidakseimbangan distribusi trafik pada beberapa jalur *Internet Service Provider* (ISP), sehingga trafik terkonsentrasi pada salah satu jalur dan berpotensi menurunkan kualitas komunikasi jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengimplementasikan multihub load balancing menggunakan metode Per *Connection Classifier* (PCC) dalam meningkatkan pemerataan distribusi trafik, kualitas layanan jaringan (*Quality of Service/QoS*), serta keandalan mekanisme failover pada sistem SCADA 20 kV. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kondisi jaringan sebelum dan sesudah implementasi PCC pada tiga jalur ISP dengan parameter throughput, delay, packet loss, distribusi trafik, failover, dan availability. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi trafik yang sebelumnya terkonsentrasi pada ISP-A sebesar 95,7% menjadi lebih merata setelah implementasi PCC, yaitu 34,6% pada ISP-A, 32,5% pada ISP-B, dan 32,9% pada ISP-C, dengan nilai Jain's Fairness Index meningkat dari 0,364 menjadi 0,999. Rata-rata throughput meningkat dari 19,38 Mbps menjadi 42,24 Mbps, delay menurun dari 46,17 ms menjadi 17,89 ms, dan packet loss menurun dari 2,60% menjadi 0,40%. Pengujian failover menunjukkan tingkat keberhasilan pengalihan trafik sebesar 100% dengan recovery time 4 detik, sedangkan availability jaringan meningkat dari 97,82% menjadi 99,94%. Berdasarkan hasil tersebut, implementasi metode PCC pada skema multihub load balancing mampu meningkatkan pemerataan trafik, performa QoS, serta keandalan dan kontinuitas komunikasi jaringan SCADA 20 kV.

Kata Kunci: SCADA 20 kV, Load Balancing, Per Connection Classifier (PCC), Quality of Service, Failover, Availability

lib.mercubuana.ac.id

ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *MULTIHUB LOAD BALANCING PCC* PADA *SCADA* 20KV

MUHAMMAD RIDHO RIYADI

ABSTRACT

The development of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems in 20 kV electrical power distribution networks requires a stable and highly available communication infrastructure to support real-time monitoring and control processes. In the SCADA network within the UP3 Menteng and UP3 Cengkareng operational areas, an imbalance in traffic distribution across multiple Internet Service Provider (ISP) links was identified, causing network traffic to be concentrated on a single link and potentially reducing communication quality. This study aims to analyze and implement multihub load balancing using the Per Connection Classifier (PCC) method to improve traffic distribution, network Quality of Service (QoS), and the reliability of the failover mechanism in the 20 kV SCADA system. The evaluation was conducted by comparing network conditions before and after the implementation of PCC across three ISP links using throughput, delay, packet loss, traffic distribution, failover, and availability as performance parameters. The results show that traffic, which was previously concentrated on ISP-A at 95.7%, became more evenly distributed after PCC implementation, with 34.6% on ISP-A, 32.5% on ISP-B, and 32.9% on ISP-C, while the Jain's Fairness Index increased from 0.364 to 0.999. The average throughput increased from 19.38 Mbps to 42.24 Mbps, delay decreased from 46.17 ms to 17.89 ms, and packet loss decreased from 2.60% to 0.40%. Failover testing achieved a 100% successful traffic-switching rate with a recovery time of 4 seconds, while network availability increased from 97.82% to 99.94%. Based on these results, the implementation of the PCC method in a multihub load balancing scheme effectively improves traffic distribution, QoS performance, and the reliability and continuity of communication in the 20 kV SCADA network.

Keywords: SCADA 20 kV, Load Balancing, Per Connection Classifier (PCC), Quality of Service, Failover, Availability

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL **0**

HALAMAN JUDUL ..... **i**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI ..... **ii**

HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN ..... **iii**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**

KATA PENGANTAR ..... **v**

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..... **vii**

ABSTRAK ..... **viii**

ABSTRACT ..... **ix**

DAFTAR ISI ..... **x**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xv**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xvi**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 6

1.3 Batasan Masalah 6

1.4 Manfaat Penelitian 8

1.5 Tujuan Penelitian 9

1.6 Sistematika Penulisan 9

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **12**

2.1 Teori Utama 12

2.2 Teori Pendukung 13

2.3 Penelitian Terdahulu 15

2.4 Gap Penelitian 19

BAB III METODE PENELITIAN **22**

3.1 Jenis Penelitian / Objek Penelitian 22

3.2 Deskripsi Organisasi 23

3.3 Analisis Kebutuhan 24

3.3.1 Analisis Permasalahan Jaringan **24**

3.3.2 Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware) **25**

3.3.3 Kebutuhan Perangkat Lunak (Software) **25**

lib.mercubuana.ac.id

3.3.4 Kebutuhan Jaringan (Network Requirement) 26
3.4 Tahapan Penelitian / Kerangka Metode Penelitian 27
3.4.1 Identifikasi Permasalahan 27
3.4.2 Studi Literatur 27
3.4.3 Analisis Kebutuhan Sistem 28
3.4.4 Perancangan Topologi Jaringan 28
3.4.5 Implementasi Load Balancing PCC 28
3.4.6 Pengujian dan Pengukuran Kinerja Jaringan 29
3.4.7 Analisis Hasil Pengujian 30
3.4.8 Penarikan Kesimpulan 30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Gambaran Umum Implementasi dan Pengujian Sistem 31
4.1.1 Kondisi Jaringan SCADA 20 kV 31
4.1.2 Topologi Multihub dan Jalur ISP 32
4.1.3 Skenario Pengujian Sebelum dan Sesudah PCC 34
4.1.4 Parameter Pengujian Kinerja Jaringan 35
4.2 Implementasi Multihub Load Balancing Menggunakan PCC 37
4.2.1 Perancangan Topologi Jaringan PCC 37
4.2.2 Konfigurasi PCC pada Router Mikrotik 38
4.2.3 Konfigurasi Pembagian Trafik Tiga ISP 39
4.2.4 Konfigurasi Failover Antar-ISP 40
4.3 Analisis Kinerja Jaringan Berdasarkan Monitoring 30 Hari 41
4.3.1 Statistik Deskriptif Kinerja Jaringan Sebelum dan Sesudah PCC 41
4.3.2 Uji Normalitas Data Kinerja Jaringan 44
4.3.3 Uji Paired-Samples t-Test Kinerja Jaringan 45
4.3.4 Perubahan Throughput, Delay, dan Packet Loss 46
4.4 Pengujian Pendukung Kinerja Throughput 48
4.4.1 Hasil Pengujian Throughput 200 Pasangan Observasi 49
4.4.2 Uji Normalitas Throughput 200 Pasangan Observasi 50
4.4.3 Uji Paired-Samples t-Test Throughput 200 Pasangan Observasi .. 50
4.4.4 Pembahasan Hasil Pengujian Throughput 51
4.5 Analisis Quality of Service Hasil Pengujian Lima Skenario 52
4.5.1 Hasil Pengujian Throughput 53
4.5.2 Hasil Pengujian Delay 54
4.5.3 Hasil Pengujian Packet Loss 55
4.5.4 Rekapitulasi Hasil Quality of Service 55
4.6 Analisis Pemerataan Distribusi Trafik Antar-ISP 56
4.6.1 Distribusi Trafik Sebelum dan Sesudah PCC 56
4.6.2 Analisis Perubahan Proporsi Trafik 58
4.6.3 Analisis Tingkat Pemerataan Trafik 58
4.6.4 Analisis Bandwidth Utilization 59

lib.mercubuana.ac.id

4.7 Evaluasi Failover dan Availability Sistem 60
4.7.1 Hasil Pengujian Failover 60
4.7.2 Analisis Availability dan Downtime 61
4.8 Pembahasan Efektivitas PCC terhadap Kinerja Jaringan SCADA 20 kV 62
4.8.1 Efektivitas PCC dalam Meningkatkan Kinerja QoS 62
4.8.2 Efektivitas PCC dalam Mengatasi Traffic Imbalance 63
4.8.3 Perbandingan PCC dengan Metode Load Balancing Lain 64
4.8.4 Efektivitas Failover dalam Menjaga Kontinuitas Komunikasi SCADA 65
4.9 Hasil Uji 67

BAB V KESIMPULAN 72
5.1 Kesimpulan 72
5.2 Saran 73

DAFTAR PUSTAKA 75

LAMPIRAN 77
Lampiran 1. Kartu Asistensi 77
Lampiran 2. Curiculum Vitae 78
Lampiran 3. Sertifikat BNSP 79
Lampiran 4. Surat Ijin Riset Perusahaan 80

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait 15
Tabel 4. 1 Kondisi Awal Kinerja Jaringan SCADA 20 kV Sebelum PCC..... 32
Tabel 4. 2 Distribusi Trafik pada Jalur ISP Sebelum dan Sesudah PCC..... 33
Tabel 4. 3 Parameter Pengujian Kinerja Jaringan 35
Tabel 4. 4 Skema Implementasi Jaringan Multihub PCC..... 38
Tabel 4. 5 Perubahan Distribusi Trafik Setelah Penerapan PCC 39
Tabel 4. 6 Utilisasi Bandwidth Sebelum dan Sesudah PCC 40
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Failover Antar-ISP..... 40
Tabel 4. 8 Statistik Deskriptif Kinerja Jaringan Sebelum dan Sesudah PCC Selama 30 Hari 42
Tabel 4. 9 Perbandingan Rata-Rata Kinerja Jaringan Sebelum dan Sesudah PCC 42
Tabel 4. 10 Hasil Uji Normalitas Shapiro–Wilk 44
Tabel 4. 11 Hasil Uji Paired-Samples t-Test Kinerja Jaringan 45
Tabel 4. 12 Perubahan Kinerja Jaringan Setelah Implementasi PCC..... 46
Tabel 4. 13 Statistik Deskriptif Throughput Sebelum dan Sesudah PCC pada 200 Sampel..... 49
Tabel 4. 14 Perbandingan Throughput Sebelum dan Sesudah PCC pada 200 Sampel..... 49
Tabel 4. 15 Hasil Uji Normalitas Shapiro–Wilk Selisih Throughput 200 Sampel 50
Tabel 4. 16 Hasil Uji Paired-Samples t-Test Throughput pada 200 Sampel 50
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Throughput Sebelum dan Sesudah PCC 53
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Delay Sebelum dan Sesudah PCC 54
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Packet Loss Sebelum dan Sesudah PCC..... 55
Tabel 4. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian Quality of Service Lima Skenario 56
Tabel 4. 21 Distribusi Trafik Antar-ISP Sebelum dan Sesudah PCC 57
Tabel 4. 22 Tingkat Pemerataan Distribusi Trafik Antar-ISP..... 58
Tabel 4. 23 Utilisasi Bandwidth Sebelum dan Sesudah PCC 59
Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Failover Antar-ISP..... 60

lib.mercubuana.ac.id

Tabel 4. 25 Perbandingan Availability dan Downtime Sebelum dan Sesudah PCC 61

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Trouble Ticketing 20
Gambar 4. 1 Topologi Jaringan SCADA 20 kV dengan Multihub Load Balancing PCC 33
Gambar 4. 2 Perbandingan Throughput Sebelum dan Sesudah PCC 43
Gambar 4. 3 Perbandingan Delay Sebelum dan Sesudah PCC 43
Gambar 4. 4 Perbandingan Packet Loss Sebelum dan Sesudah PCC 44
Gambar 4. 5 Perbandingan Distribusi Trafik Antar-ISP Sebelum dan Sesudah PCC 57

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kartu Asistensi..... 77
Lampiran 2. Curiculum Vitae..... 78
Lampiran 3. Sertifikat BNSP 79
Lampiran 4. Surat Ijin Riset Perusahaan..... 80

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

lib.mercubuana.ac.id