

VOLUME 5 | NOMOR 1 | APRIL 2019

p-ISSN 2443-0986

e-ISSN 2685-001X

ELEKTRIKA BORNEO



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

p-ISSN 2443-0986
e-ISSN 2685-001X

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 5, Nomor 1, April 2019

Ketua Redaksi
(Editor-in-Chief)

Fitriani Said, S.T., M.T.

Dewan Redaksi
(Editorial Board)

Dr. Eng. Linda Sartika, S.T., M.T.

Rudy, S.T., M.T.

Arif Fadllullah, S.Pd., M.Kom.

Abdul Muis Prasetia, S.T., M.T.

Abil Huda, S.T., M.T.

Asisten Redaksi
(Editorial Assistant)

Awang Pradana, S.Kom., M.Kom.

Alamat Redaksi
(Address)

Gedung D Lantai 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan
Jalan Amal Lama No. 1, Tarakan, 77123
Kalimantan Utara, Indonesia



Diterbitkan oleh:

Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 5, Nomor 1, April 2019

DAFTAR ISI

1. Implementasi dan Analisa Kinerja VOIP *Server* Pada Jaringan *Wireless* LAN Menggunakan *Smartphone*
Muhammad Saleh Abrar dan Rudy 1 – 5
2. Analisis Kualitas Daya Pada Pabrik PT. Idec Abadi Wood Industries (AWI) Tarakan
Sonny Riawan 6 – 9
3. Rancangan Modifikasi Algoritma AODV Pada MANET Untuk Meningkatkan Performansi Skema Routing Dan Deteksi Kongesti (Studi Literatur)
Arif Fadlullah 10–18
4. Analisa Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah pada Jaringan Distribusi 20 KV PT. PLN (PERSERO) Sebatik menggunakan *Software* ETAP *Power Station* 12.6.0
Tommi Samin..... 19–24
5. Pemodelan dan Simulasi *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* pada Aplikasi Fotovoltaik dengan Konverter Cuk
Abil Huda..... 25–29

IMPLEMENTASI DAN ANALISA KINERJA VOIP SERVER PADA JARINGAN WIRELESS LAN MENGGUNAKAN SMARTPHONE

Muhammad Saleh Abrar¹, Rudy²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kaltara, Indonesia

email: ¹muhammadsalehabrar@gmail.com, ²rudy232@gmail.com

Abstract—This research aims to implement VoIP Server In Wireless LAN network at Faculty of Engineering Universitas Borneo Tarakan by using Elastix as a server and VoIP Call application on Smartphone using CsipSimple and analyze the performance of the server with Wireshark software. The method used in this study is by measuring the quality of service or QoS (Quality of Service). Testing is done indoor and outdoor. With QoS parameters such as delay, throughput, and packet loss can be used as a measure to determine the quality of a network. The biggest delay in indoor testing is 11-15 meters, which is 0.00956464 seconds. Packet loss is generated at 0.00% range, while the standard packet loss set by ITU-T for VoIP application service is <3%. The resulting jitter is between 0.04608 - 0.09485 seconds while the standard set by ITU-T is = 0-75 ms .. Throughput generated in the testing process is between 104.551 kbps - 108.905 kbps.

Keywords—Voice over Internet Protokol, Elastix, Quality of Service, Wireshark

Intisari—Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan VoIP Server Pada jaringan Wireless LAN di Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan dengan menggunakan Elastix sebagai server dan aplikasi VoIP Call pada Smartphone menggunakan CsipSimple serta menganalisa kinerja dari server tersebut dengan perangkat lunak Wireshark. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni dengan metode pengukuran kualitas layanan suara atau QoS (Quality of Service). Pengujian dilakukan indoor dan outdoor. Dengan parameter QoS seperti delay, throughput, dan packet loss dapat dijadikan sebagai ukuran untuk mengetahui kualitas dari suatu jaringan. Delay yang dihasilkan paling besar di pengujian indoor dengan jarak 11-15 meter yakni sebesar 0.00956464 seconds. Packet loss yang dihasilkan pada range 0,00%, sedangkan standar packet loss yang ditetapkan oleh ITU-T untuk layanan aplikasi VoIP adalah < 3%. Jitter yang dihasilkan yakni antara 0,04608 – 0,09485 seconds sedangkan standar yang ditetapkan oleh ITU-T adalah = 0-75 ms.. Throughput yang dihasilkan pada proses pengujian yakni antar 104,551 kbps - 108,905 kbps

Kata Kunci—Voice over Internet Protokol, Elastix, Quality of Service, Wireshark

I. PENDAHULUAN

Voice over Internet Protocol adalah Teknologi yang menjadikan media internet untuk bias melakukan komunikasi suara jarak jauh secara langsung. Sinyal suara analog, seperti yang kita dengar ketika

berkomunikasi di telepon diubah menjadi data digital dan dikirimkan melalui jaringan berupa paket-paket data secara real time. Dalam komunikasi VoIP, pemakai melakukan hubungan telepon melalui terminal yang berupa PC atau telepon biasa. Dengan bertelepon menggunakan VoIP, banyak keuntungan yang dapat diambil diantaranya adalah dari segi biaya jelas lebih murah dari tarif telepon seluler. Selain itu, biaya maintenance dapat ditekan karena voice dan data network terpisah, sehingga IP Phone dapat ditambah, dipindahkan di ubah. Hal ini karena VoIP dapat dipasang disembarang Ethernet dan IP address, tidak seperti telepon konvensional yang harus mempunyai port tersendiri di Sentral atau PBX (Private branch exchange).

II. METODE

Untuk penelitian ini akan mengimplementasikan layanan tersebut di wilayah Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan dengan menggunakan perangkat Smartphone, yang memiliki kemampuan mobilitas yang tinggi dan dengan memanfaatkan Wifi (Wireless Fidelity) yang telah terintegrasi pada perangkat tersebut. Berbagai studi mengenai Voice Over Internet Protokol (VoIP) yang telah dilakukan seperti mengenai paket delay VoIP dalam single hop di jaringan Ad Hoc IEEE 802.11.

Studi tersebut memperkenalkan prediksi model VoIP pada IEEE 802.11 untuk jaringan ad hoc. Model tersebut digunakan untuk mengetahui dampak atau prediksi delay yang terjadi pada VoIP melalui parameter konfigurasi seperti codec, packetization interval dan data rate. Studi berikutnya mengenai komunikasi VoIP di jaringan wireless ad hoc melalui gateway dilakukan oleh Faloso et.al (Fasolo et al., 2007). Studi tersebut memperkenalkan rumus untuk memperkirakan jumlah sesi suara berkelanjutan dalam satu hop cell. Keakuratan rumus tersebut dapat diimplementasikan melalui perangkat lunak simulasi jaringan NS2.

A. Voice Over Internet Protokol (VoIP)

Di banyak negara, khususnya, Negara-negara berkembang, orang-orang berusaha untuk solusi komunikasi murah. Hal ini, internet menjadi lebih mudah diakses bagi orang dan korporasi di Negara-negara tersebut. Memiliki akses ke internet, seseorang mungkin mudah menyebarkan jaringan telepon di atas infrastruktur internet. Hal ini dikenal sebagai Voice

over Internet Protocol (VoIP) juga dikenal sebagai Internet Telephony.

VoIP sendiri ialah teknologi yang memungkinkan komunikasi suara dan fax menggunakan jaringan berbasis IP (Internet Protocol) untuk dijalankan diatas infrastruktur jaringan packet network. Jaringan yang digunakan bisa berupa *internet* atau *intranet*. Teknologi ini bekerja dengan jalan merubah suara atau fax menjadi format data *digital* tertentu yang dapat dikirimkan melalui jaringan IP. VoIP memiliki prinsip Kerja mengubah suara *analog* yang didapatkan dari speaker pada Komputer menjadi paket data *digital*, kemudian dari PC diteruskan melalui Hub/ Router/ ADSL Modem dikirimkan melalui jaringan *internet* dan akan diterima oleh tempat tujuan melalui media yang sama. Atau bisa juga melalui media telepon diteruskan ke *phone adapter* yang disambungkan ke *internet* dan bisa diterima oleh telepon tujuan.

B. Transmission Control Protocol (TCP)

Merupakan protokol yang menjaga reliabilitas hubungan komunikasi *end- to-end*. Konsep dasar cara kerja TCP adalah mengirim dan menerima segmen-segmen informasi dengan panjang data bervariasi pada suatu datagram *internet*. Dalam hubungan VoIP, TCP digunakan pada saat *signaling*, TCP digunakan untuk menjamin *setup* suatu panggilan pada sesi *signaling*. TCP tidak digunakan dalam pengiriman data suara karena pada komunikasi data VoIP penanganan data yang mengalami keterlambatan lebih penting daripada penanganan paket yang hilang.

C. User Datagram Protocol (UDP)

Merupakan salah satu protocol utama diatas IP, yang lebih sederhana dibandingkan dengan TCP. UDP digunakan untuk situasi yang tidak mementingkan mekanisme reliabilitas. UDP digunakan pada VoIP pada pengiriman *audiostreaming* yang berlangsung terus menerus dan lebih mementingkan kecepatan pengiriman data agar tiba di tujuan tanpa memperhatikan adanya paket yang hilang walaupun mencapai 50% dari jumlah paket yang dikirimkan. Karena UDP mampu mengirimkan data *streaming* dengan cepat.

D. SIP (Session Initiation Protocol)

Yaitu protokol yang digunakan untuk inisiasi, modifikasi dan terminasi sesi komunikasi VoIP. SIP adalah protokol *Open Standard* yang dipublikasikan oleh IETF, RFC 2543 dan RFC 3261. Selain digunakan untuk negosiasi sesi komunikasi *voice*, SIP juga dapat digunakan untuk negosiasi sesi komunikasi data media lain seperti *video* dan *text*. Disebutkan sebagai hanya melakukan “negosiasi sesi komunikasi” adalah karena SIP merupakan *signalling protocol*, bukan media *transfer protocol*. Artinya SIP tidak menghantar data media (*voice*, *video* dan *text*), melainkan hanya melakukan negosiasi sesi komunikasi saja dan memanfaatkan protokol lain seperti RTP sebagai media *transfer protocol*.

E. Quality Of Service VoIP

Pembahasan selanjutnya adalah mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur kualitas kinerja VoIP. Secara umum, ada beberapa parameter-parameter penting yang mempengaruhi *Quality of Service* (QoS) layanan suara pada jaringan VoIP. Parameter ini dijadikan gambaran ukuran kinerja dari suatu jaringan VoIP. Parameter QoS tersebut yakni *delay*, *jitter*, *packet loss* dan *throughput*.

F. Delay

Delay (latency), adalah waktu tunda yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. Dalam perancangan jaringan VoIP, waktu tunda merupakan suatu permasalahan yang harus diperhitungkan karena kualitas suara bagus tidaknya tergantung dari waktu tunda. Besarnya waktu tunda maksimum yang direkomendasikan oleh ITU-T G.711 untuk aplikasi suara adalah 160 ms, sedangkan waktu tunda maksimum dengan kualitas suara yang masih dapat diterima pengguna adalah 250 ms. Waktu tunda *end-to-end* adalah jumlah waktu tunda konversi suara *analog* ke *digital*, waktu tunda waktu paketisasi atau bisa disebut juga waktu tunda panjang paket dan waktu tunda jaringan pada saat t (waktu) tertentu.

Untuk menghitung *delay* yang terjadi digunakan Persamaan 1 (Setiawan, 2012)(Suryawan, Husni,& Anggraini, 2012).

$$Delay = \frac{T}{P} \quad (1)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kualitas suara dengan menggunakan metode QoS. Jaringan yang digunakan untuk menghubungkan antara satu *Smartphone (device)* dengan *Smartphone* yang lain digunakan jaringan *wireless LAN* di Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Saat terjadi komunikasi antar satu *Smartphone* dengan *Smartphone* yang lain, data komunikasi yang terjadi di jaringan diambil menggunakan perangkat lunak *wireshark*. Kemudian hasil *capture* data jaringan oleh perangkat lunak *wireshark* tersebut dianalisis melalui pendekatan parameter *delay*, *throughput* dan *packetloss*. Pendekatan tersebut dilakukan untuk mengetahui kualitas layanan suara yang dihasilkan oleh jaringan VoIP di Fakultas Teknik Universitas Boneo Tarakan.

A. Analisis Sistem

Analisis system adalah penguraian dari suatu sistem yang utuh kedalam bagian-bagian komponennya, dengan maksud untuk mendapatkan perangkat lunak dan perangkat keras yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Analisis tersebut dilakukan agar dalam proses penelitian ini dapat berjalan seperti yang direncanakan. Dalam penelitian ini dibutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut :

1. Analisis Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras (*hardware*) adalah sistem utama dari sebuah sistem secara fisik, yang terdiri dari

komponen-komponen yang saling terkait. Perangkat keras juga dapat dikatakan sebagai *device*. *Device* tersebut adalah :

- Satu unit laptop dengan spesifikasi:
 - a. Network : WiFi 802.11b/g/n, Ethernet Port
 - a. Support WiFi adaptor / WiFi ad hoc
 - b. Baterai 5 hours (4-cell battery).
- Dua buah *Smartphone* dengan spesifikasi minimum:
 - a. Sistem operasi : Android 4.2 (Jelly Bean)
 - b. Konektivitas : WiFi 802.11/b/g/n
 - c. Support WiFi direct, WiFi hotspot/ WiFi ad hoc
- Satu buah *Acces Point* dengan spesifikasi :
 - a. Model : TD-W8961N
 - b. Interface : 4 10/100 Mbps RJ45 Ports
 - c. External Power Supply : 9VDC/0.85A
 - d. Antenna Type : Omni directional, Fixed
 - e. Antenna Gain : 2x5 dBi
 - f. Frequency : 2.400 - 2.4835 GHz
 - g. Transmit Power : < 20 dBm (EIRP)

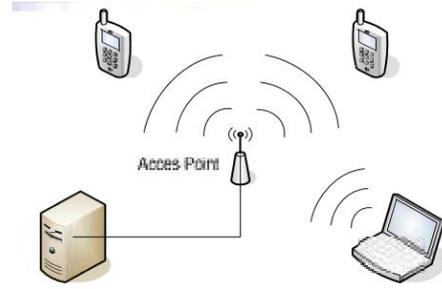
2. Analisis Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang dibutuhkan dalam penelitian ini untuk melakukan uji coba aplikasi VoIP pada jaringan VoIP Server adalah sebagai berikut :

- a. *CsipSimple*, merupakan aplikasi mobile *softphone* atau aplikasi telepon internet (VoIP) yang menggunakan *session intiation protocol* (SIP) untuk *device android*. *CsipSimple* dapat diperoleh dengan mudah di *google play android*. Dasar pemilihan aplikasi *CsipSimple* karena *CsipSimple* adalah *mobile softphone* untuk Android yang berlisensi *Open Source*. Artinya *source code* nya tersedia bebas dan dikembangkan oleh banyak orang sehingga suatu hari ini nanti sangat mungkin akan menjadi sebuah aplikasi yang handal untuk digunakan sebagai bagian dari *Next Generation Network*.
- b. *Wireshark*, *software* untuk mengambil atau *capture* paket data jaringan internet. Dasar pemilihan aplikasi *Wireshark* Karena *Wireshark* mampu menangkap paket - paket data atau informasi yang berjalan dalam jaringan. Semua jenis paket informasi dalam berbagai format protokol pun akan dengan mudah ditangkap dan dianalisa. Karenanya takjarang *tool* ini juga dapat dipakai untuk *sniffing* (memperoleh informasi penting seperti *password e-mail* atau *account* lain) dengan menangkap paket - paket yang berjalan di dalam jaringan dan menganalisanya. *Wireshark* juga merupakan salah satu dari sekian banyak *tool Network Analyzer* yang banyak digunakan oleh *Network administrator* untuk menganalisa kinerja jaringannya termasuk *protocol* didalamnya. *Wireshark* banyak disukai karena interfacenya yang menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) atau tampilan grafis.
- c. *VoIP server*, untuk mendapatkan akun *SIP* seperti *username* dan *password SIP*.

B. Pemodelan Sistem

Gambar 1 memperlihatkan bahwa pemodelan system pada penelitian ini yaitu menggunakan 2 buah *Smartphone* yang dihubungkan pada *server VoIP* dengan menggunakan *Acces Point* Kemudian setelah semua *Device* terhubung ke *Server VoIP* dan saling melakukan percakapan dari satu *Smartphone* ke *Smartphone* lainnya maka aplikasi *Wireshark* akan menangkap setiap paket data yang terkirim pada jaringan *VoIP Server*.



Gambar 1. Pemodelan Sistem

Kemudian kinerja pada jaringan *VoIP server* dianalisis sesuai dengan parameter *delay*, *throughput*, *jitter* dan *packet loss* dan perancangan jaringan *Voip Server* dengan melakukan pengujian pada 1 pasang (2 buah) *smartphone* Jarak yang berbeda-beda. Pengujian *VoIP server* dilakukan didalam ruangan (*indoor*) dan diuar ruangan (*outdoor*). Percobaan *indoor* dilakukan dengan semua perangkat baik itu *smartphone*, *server* dan *acces point* berada didalam gedung Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Sedangkan percobaan *outdoor* dilakukan dengan semua perangkat *smartphone*, *sever* dan *acces point* berada diluar luar gedung yaitu dihalaman parkir Fakultas Teknik Univesitas Borneo Tarakan. Kemudian melakukan panggilan *VoIP Call* dengan waktu yang sama yaitu selama 1 menit dan jumlah paket suara yang sama pada saya menggunakan file mp3 opick dengan judul alhamduillah. Setelah itu data *dicapture* menggunakan *software wireshark*. Kemudian dianalisis sesuai dengan parameter *delay*, *throughput* dan *packet loss*.

C. Jenis dan Sumber Data

Jenis data pada penelitian ini adalah primer dan skunder. Dimana data primer diperoleh dari pengumpulan sendiri secara langsung terhadap objek yang diteliti. Sedangkan untuk data sekunder merupakan data yang diperoleh dari pihak lain seperti buku, *datasheet* alat yang digunakan, dan acuan lainnya.

D. Total Data Awal

Tabel I
Pengujian *VoIP Server Indoor* pada jarak 0-5 meter

Jarak	Jumlah Paket	Total waktu
0-5	6.677	62,388
0-5	6.541	62,967
0-5	6.513	61,943
Rata-rata	6.577	62,432

E. Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan gambaran secara keseluruhan proses kinerja system atau alur jalannya sistem. Pemodelan sistem dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. memperlihatkan bahwa hal yang pertama kali dilakukan adalah melakukan instalasi *software VoIP server* yaitu aplikasi *Elastix* pada komputer. Kemudian melakukan instalasi aplikasi *VoIP call* di *Smartphone android* yakni aplikasi *CsipSimple*. Kemudian Menyetting *Acces Point* untuk Menyesuaikan *IP* yang akan digunakan pada *VoIP server* dan *Smartphone*. Setelah semua *Smartphone* terhubung pada *VoIP server*, kemudian melakukan penentuan skenario pengujian

Tabel II
Pengujian VoIP Server Indoor pada jarak 6-10 m

Jarak	Jumlah paket	Total waktu
6-10	6.931	65,228
6-10	6.840	65,333
6-10	6.768	64,777
Rata-rata	6.846	65,112

Tabel III
Pengujian VoIP Server Indoor pada jarak 11-15 m

Jarak	Jumlah paket	Total waktu
11-15	6.622	63,501
11-15	6.478	61,969
11-15	6.437	60,841
Rata-rata		64,437

Tabel IV
Pengujian VoIP Server Outdoor pada Jarak 0-5 m

Jarak	Jumlah paket	Total waktu
0-5	6.826	62,577
0-5	6.751	63,766
0-5	6.746	60,268
Rata-rata	6.774	62,203

Tabel V
Pengujian VoIP Server Outdoor pada Jarak 6-10 m

Jarak	Jumlah paket	Total waktu
6-10	6.796	63,31
6-10	6.608	62,131
6-10	6.832	62,79
Rata-rata	6.745	62,743

Tabel VI
Pengujian VoIP Server Outdoor pada Jarak 10-15 m

Jarak	Jumlah paket	Total waktu
10-15	6.810	67,766
10-15	6.668	63,481
10-15	6.733	62,064
Rata-rata	6.512	62,103

Sehingga proses pengujian baik *indoor* maupun *outdoor* aplikasi *VoIP* di jaringan *VoIP Sever* mendapatkan *packet loss* dengan menghitung

menggunakan Persamaan 3 diperlihatkan pada Tabel VII untuk pengujian *indoor* dan Tabel VIII untuk pengujian *outdoor*.

Tabel VII
Hasil Rata-rata Pengukuran Packet Loss (Indoor)

Jarak (m)	Total Paket	Paket Terkirim	Packet Loss
0-5	6.577	6.577	0.00%
6-10	6.846	6.846	0.00%
11-15	6.737	6.737	0.00%

Tabel VIII
Hasil Rata-rata Pengukuran Packet Loss (Outdoor)

Jarak (m)	Total Paket	Paket Terkirim	Packet Loss
0-5	6.774	6.774	0.00%
6-10	6.745	6.745	0.00%
11-15	6.512	6.512	0.00%

Hasil pengujian *Packet Loss* pada Tabel VII dan Tabel VIII menunjukkan bahwa *Packet Loss* yang dihasilkan antara *indoor* dan *outdoor* sama yaitu sebesar 0,00%. Standar nilai *packet loss* jaringan yang ditentukan *ITU-T* adalah 1 - 3%, sedangkan nilai rata-rata *packet loss* yang dihasilkan aplikasi *VoIP* di dalam jaringan *VoIP Sever* masih berada di bawah 1%. Hal tersebut menunjukkan bahwa jaringan *VoIP Server* dapat digunakan untuk aplikasi *VoIP*.

F. Pengukuran Jitter

Jitter adalah variasi dari *delay*. *Jitter* disebabkan oleh adanya variasi waktu dalam kedatangan paket. Variasi kedatangan paket ini dapat disebabkan oleh panjang antrian data, lamanya waktu pengolahandata dan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menghimpun paket-paket data yang akhir proses transmisi untuk menjadi satu kesatuan frame yang utuh. *Software wireshark* telah dilengkapi fitur untuk mengetahui *jitter* komunikasi yang terjadi pada aplikasi *VoIP* di jaringan *VoIP Sever* yakni dengan cara membuka menu tab *Telephony -> RTP -> Show All Streams*.

Data *jitter* yang dihasil oleh *software wireshark* menggunakan satuan *milliseconds* (ms) namun dalam penelitian ini data tersebut dikonversikan dengan satuan *seconds*.

Tabel IX
Hasil Rata-rata Pengukuran Jitter

Jarak (m)	Indoor (s)	Outdoor (s)
0-5	0,05398	0,04608
6-10	0,05461	0,05961
11-15	0,0571	0,09485

Pada Tabel IX menunjukkan bahwa pengujian *jitter* yang paling besar pada percobaan *outdoor* dengan jarak 11-15 meter yaitu sebesar 0,09485 detik sedangkan nilai pengujian *jitter* yang paling kecil pada percobaan diluar ruangan (*outdoor*) dengan

jarak 0-5 meter yaitu sebesar 0,04608 detik. Pengukuran jitter paling besar dan paling kecil pada outdoor dikarenakan jatuhnya kuat sinyal karena pertambahan jarak pada media transmisi. Setiap media transmisi memiliki redaman yang berbeda-beda, tergantung dari bahan yang digunakan. Untuk mengatasi hal ini, perlu digunakan repeater sebagai penguat sinyal. Pada daerah frekuensi tinggi biasanya mengalami redaman lebih tinggi dibandingkan pada daerah frekuensi rendah.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijabarkan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya: *Delay* paling besar yang dihasilkan adalah 0.00956464 *seconds* (9.56464ms) pada pengujian di dalam ruangan (*indoor*) dengan jarak 11-15 meter. Berdasarkan standar *ITU-T*, kualitas *VoIP* dapat dikatakan baik jika berada *range delay* 0-150 ms. *Throughput* yang paling rendah dihasilkan pada proses pengujian didalam ruangan (*Indoor*) yaitu sebesar = 104,551 kbps. Sedangkan *throughput* yang paling besar dihasilkan pada pengujian diluar ruangan yaitu sebesar = 108,905 kbps. *Packet loss* yang dihasilkan pada pengujian baik *indoor* maupun *outdoor* yaitu sebesar 0,00%. Berdasarkan standar *ITU-T*, kualitas *VoIP* dapat dikatakan baik jika berada *range Packet Loss* 1 – 3 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa *packet loss* yang dihasilkan masih berada pada batas yang ditentukan. *Jitter* yang dihasilkan berada pada rentang antara 0,04608 – 0.09485 *seconds*. Padahal, Berdasarkan standar *ITU-T*, kualitas *VoIP* dapat dikatakan baik jika berada *range Jitter* 0 – 75 ms. Namun pada pengujian di *outdoor* dengan jarak 11-15 meter memiliki *jitter* yang nilainya melampaui standard yakni sebesar 0.09485 *seconds* (94,85 ms).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada segenap pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah berkontribusi baik terhadap proses penyusunan tulisan ini maupun dalam proses publikasinya. Terima kasih kepada para autor yang naskahnya penulis jadikan sebagai referensi.

REFERENSI

- [1] Prasetyo, B. (2006). Analisis Implementasi Voice Over Internet Protocol (VoIP) Pada Jaringan Wireless Lan Berbasis Session Initiation Protocol (SIP).
- [2] D. Fahdi, J. P. (2012). Analisa Perancangan Server Voip (Voice Internet Protocol) Dengan Opensource Asterisk Dan Vpn (Virtual Private Network) Sebagai Pengaman Jaringan Antar Client.
- [3] Indra Warman, Iqbal Marzuki. (2015). *Implementasi Voice Over Internet Protocol (Voip) Pada Elastix Server Menggunakan Protocol Inter Asterisk Exchange (Iax)*. Padang : Institut Teknologi Padang.
- [4] Muhammad Saefulloh. (2014). *Rancang bangun voip menggunakan Software open Source asterisknow*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah.
- [5] Nurkholis, A., & Hendrawan, A. (2011). *Implementasi Server VoIP untuk Komunikasi di PT. Lintas Data Prima*. Yogyakarta: Stmik Amikom.
- [6] Ryan Ari Setyawan. (2015) *Analisis Unjuk Kerja Aplikasi VoIP Call Android di Jaringan MANET (Mobile Ad Hoc Network)*. Yogyakarta : Universitas Janabadra.
- [7] Setiawan, E. B. (2012). *Analisa Quality Of Services (Qos) Voice Over Internet Protocol (VoIP) Dengan Protokol H .323 Dan Session Initial Protocol (SIP)*. Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika (KOMPUTA)
- [8] Suryawan, K. D., Husni, M., & Anggraini, E. L. (2012). *Analisis Layanan Kinerja Jaringan Voip Pada Protokol Srtip Dan Vpn. Analisis Layanan Kinerja Jaringan Voip Pada Protokol Srtip Dan Vpn*.
- [9] Yetti Yuniati, Helmy Fitriawan, Domiko Fahdi Jaya Patih. (2014). *Analisa Perancangan Server VoIP (Voice Internet Protocol) Dengan Opensource Asterisk Dan Vpn (Virtual Private Network) Sebagai Pengaman Jaringan Antar Client*. Lampung : Universitas Lampung.

ANALISIS KUALITAS DAYA PADA PABRIK PT. IDEC ABADI WOOD INDUSTRIES (AWI) TARAKAN

Sonny Riawan

Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kaltara, Indonesia

email: sonny.riawan@gmail.com

Abstract—In an industry or factory needs a good power quality, because the factory is widely used electronic devices that are directly related to the production process. It is therefore necessary to study related to the quality of electric power in order to find out good or bad quality of electric power in an industry or factory. The study was conducted at PT. IDEC AWI Tarakan. PT IDEC has a Steam Power Plant with a capacity of 7 MW, some energi used for the factory and the remainder distributed to the PT. PLN Tarakan. The used data in this study form a line diagram of PT. IDEC AWI Tarakan, load data, channel data and the peak load data factory in the evening. The study was conducted by taking the case under normal conditions, without the capacitor condition and repair condition. To simulate and analyze power system, used in this study ETAP PowerStation 5.0.3 software with the power flow studies using Newton-Raphson method.

Keywords—Power factor, capacitors, power loss.

Intisari—Dalam sebuah industri atau pabrik dibutuhkan kualitas daya yang baik, karena pada pabrik banyak digunakan peralatan-peralatan elektronika yang berhubungan langsung dengan proses produksi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian yang berhubungan dengan kualitas daya listrik dengan tujuan agar dapat mengetahui baik atau buruk kualitas daya listrik pada suatu industri atau pabrik. Penelitian dilakukan di PT. IDEC AWI Tarakan. PT IDEC memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 7 MW. Daya yang dibangkitkan sebagian digunakan untuk keperluan pabrik dan selebihnya disalurkan ke PT. PLN Tarakan. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa diagram segaris PT. IDEC AWI Tarakan, data beban, data saluran dan data beban puncak pabrik pada malam hari. Penelitian dilakukan dengan mengambil kasus pada kondisi normal, kondisi tanpa kapasitor dan kondisi perbaikan. Untuk mensimulasikan dan menganalisa sistem tenaga listrik, dalam penelitian ini digunakan software ETAP PowerStation 5.0.3 dengan studi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson.

Kata kunci—Faktor daya, kapasitor, rugi-rugi daya.

I. PENDAHULUAN

Besaran listrik yang diperhatikan dan sekaligus menentukan baik atau buruk kualitas daya listrik di pabrik yaitu tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, dan pentanahan. Perhatian terhadap kualitas daya saat ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik dan peralatan kelistrikan, kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus, atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun

kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik.

Daya adalah suatu nilai energi listrik yang dibangkitkan dan didistribusikan ke beban, besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya. Energi listrik yang dipakai oleh PT. IDEC AWI Tarakan dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) milik PT. IDEC AWI Tarakan dengan kapasitas 7 MW, sebesar 3 MW untuk pemakaian sendiri dan selebihnya disalurkan ke PT. PLN Tarakan. Pada proses produksi di pabrik PT. IDEC AWI. Oleh karena itu maka perlu dilakukan penelitian yang membahas tentang: parameter kelistrikan yaitu tegangan, faktor daya, daya aktif, daya reaktif dan daya kompleks, daya listrik, perbaikan kualitas daya, juga Untuk memperoleh informasi tentang baik atau buruknya kualitas daya di pabrik PT. IDEC AWI Tarakan, solusi perbaikan kualitas daya pada pabrik PT. IDEC AWI Tarakan.

II. METODE PENELITIAN

Sifat-sifat sistem distribusi yang baik yaitu: Kontinuitas, Luasan dan Penyebaran, Fleksibel, Kualitas daya. Berikut ini merupakan detail penjelasan komponen tersebut.

A. Tegangan Listrik

Potensial V sebagai kerja (sumber dari Beda luar) yang digunakan untuk memindahkan suatu muatan listrik positif dari suatu titik ke titik yang lain adalah perubahan energi potensial listrik yang sebanding dengan muatan listriknya :

$$V = \frac{w}{q} = - \int_{awal}^{akhir} E \cdot d\ell \quad (1)$$

Toleransi tegangan boleh naik atau turun yang diijinkan berdasarkan Standar PLN adalah +5% dan -10%.

B. Arus Listrik

Arus listrik diukur dalam satuan Ampere (A), adalah satu *Coulomb* per detik. Arus listrik di rumuskan

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

C. Daya dan Faktor Daya

Daya adalah suatu ukuran terhadap penggunaan energi dalam suatu waktu tertentu.

$$p = \frac{E}{t} \tag{3}$$

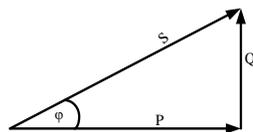
Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya, energi kinetik yaitu pada motor listrik. Daya reaktif dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi, terdapat dua jenis beban reaktansi yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif.

$$S = P + jQ \tag{4}$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban.

$$S = V \cdot I \tag{5}$$

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif P, daya reaktif Q, serta daya kompleks S, dinyatakan dengan sebuah segitiga yang disebut dengan segitiga daya



Gambar 1. Segitiga daya

antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan persamaan daya kompleks :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{6}$$

Persamaan daya aktif :

$$\begin{aligned} P &= S \cos \varphi \\ P &= VI \cos \varphi \end{aligned} \tag{7}$$

Persamaan daya reaktif :

$$\begin{aligned} Q &= S \sin \varphi \\ Q &= VI \sin \varphi \end{aligned} \tag{8}$$

Faktor daya :

$$\text{COS}\varphi = pf = \frac{P}{S} \tag{9}$$

D. Monitoring kualitas daya

Monitoring atau pemantauan kualitas daya adalah proses pengumpulan dan pengambilan data, menganalisis, dan menginterpretasikan data pengukuran tersebut menjadi suatu informasi yang bermanfaat. Program monitoring kualitas daya dilakukan karena adanya permintaan untuk meningkatkan kualitas sistem daya menjadi lebih baik. Beberapa tujuan dari monitoring kualitas daya adalah Monitoring untuk mengetahui kinerja system, Monitoring untuk menjelaskan masalah-masalah tertentu, Monitoring untuk memprediksi waktu pemeliharaan peralatan

E. Identifikasi Permasalahan Kualitas Daya

Beberapa informasi yang digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan dalam kualitas daya listrik. Permasalahan alami, seperti kegagalan peralatan, kesalahan fungsi dari sistem kendali dan peralatan, Kapan terjadinya suatu kegagalan dalam sistem tenaga listrik, Terjadinya permasalahan atau kegagalan operasi dalam suatu waktu yang sama, Sumber-sumber yang dapat menyebabkan variabel pada kualitas daya, seperti starting motor, switching kapasitor, penggunaan peralatan elektronika daya, peralatan yang menghasilkan busur api, Kondisi peralatan tenaga listrik yang terpasang, Data sistem tenaga listrik, seperti diagram segaris/*single line*, ukuran dan impedansi transformator, dan informasi beban listrik.

F. Studi Aliran Daya

Persamaan umum untuk arus yang mengalir menuju suatu bus:

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 + Y_{13} V_3 + \dots + Y_{1n} V_n \\ I_2 &= Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 + Y_{23} V_3 + \dots + Y_{2n} V_n \\ I_3 &= Y_{31} V_1 + Y_{32} V_2 + Y_{33} V_3 + \dots + Y_{3n} V_n \\ I_n &= Y_{n1} V_1 + Y_{n2} V_2 + Y_{n3} V_3 + \dots + Y_{nn} V_n \end{aligned} \tag{10}$$

Dapat juga ditulis dengan persamaan:

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q ; p = 1,2,3, \dots, n \tag{11}$$

G. Metode Newton-Raphson

Pada metode *Newton-Raphson*, *slack* bus diabaikan dari perhitungan iterasi untuk menentukan tegangan-tegangan, karena besar dari sudut tegangan pada *slack* bus telah ditentukan. Sedangkan pada generator bus, daya aktif dan *magnitude* tegangan bernilai tetap, sehingga hanya daya reaktif yang dihitung pada setiap iterasinya

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data parameter kelistrikan, beban dan saluran

A. Data Parameter Kelistrikan

Tabel I
Data Parameter Kelistrikan PT. IDEC AWI Tarakan

P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	Tegangan (V)			Cos φ
			Input PLTU	L-L	L-N	
2.600	1.107	2.826	20000	400	230	0.92

Tegangan yang dipakai di pabrik untuk produksi sehari-hari 400 V tegangan antar fasa (V_{LL}) dan 230 V tegangan fasa ke netral (V_{LN})

B. Data Saluran Penghantar

Data saluran penghantar yang diperlukan untuk penelitian ini adalah data panjang saluran penghantar, jenis saluran penghantar, diameter penghantar, jumlah penghantar per fasa serta nilai tahanan (R) dan reaktansi (X) untuk tiap-tiap penghantar.

Tabel II
Nilai Resistansi dan Reaktansi Kabel

Penghantar	Ukuran (mm ²)	R (Ohm/km)	X (Ohm/km)
Tembaga	50	0.379	0.189
	70	0.262	0.210
	95	0.189	0.203
	120	0.150	0.196
	150	0.122	0.192
	185	0.0972	0.184
	240	0.0740	0.174

Untuk menentukan Nilai R dan X kabel

$$R = 0.379 \text{ Ohm/km}$$

$$X = 0.189 \text{ Ohm/km}$$

Panjang kabel = 100 m

Sehingga:

$$R = \frac{0.379}{1000} \times 100 \qquad X = \frac{0.189}{1000} \times 100$$

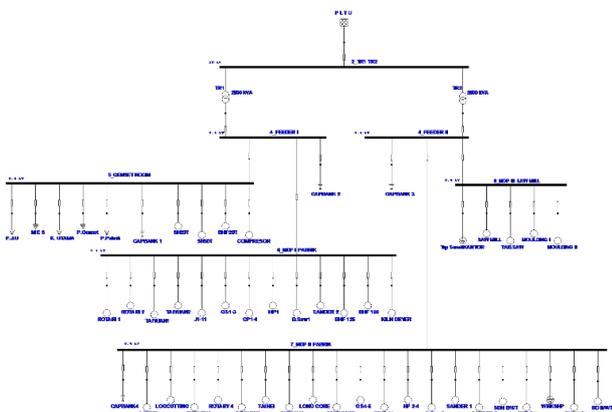
$$R = 0.0379 \ \Omega \qquad X = 0.0189 \ \Omega$$

C. Sistem Tenaga Listrik PT. IDEC AWI Tarakan

Generator PT. IDEC AWI Tarakan merupakan Turbin Generator sinkron 3 Fasa, arus bolak-balik yang bekerja pada frekuensi 50 Hz. Tegangan yang dibangkitkan oleh generator, bernilai 6.3 kV dengan daya sebesar 7 MW yang kemudian dihubungkan ke sisi primer trafo daya dengan hubungan delta-bintang (Δ -Y) dan keluaran pada sisi sekundernya 20 kV, yang selanjutnya tegangan 20 kV diturunkan melalui Transformator 1 dan Transformator 2 menjadi 400 V untuk tegangan antar fasa (V_{LL}) atau 230 V untuk tegangan fasa ke netral (V_{LN}).

Tabel III
Daftar jurusan Trafo 1 dan 2 PT. IDEC AWI Tarakan

Trafo	Feeder (Penyulang)	Bagian
1	Feeder 1	Genset Room, MDP I Pabrik
2	Feeder 2	MDP II Pabrik, MDP III Saw Mill, MDP IV Boiler 50 T



Gambar 2. Diagram Segaris PT. IDEC AWI Tarakan

D. Studi Aliran Daya

Membuat plant, Penomoran dan penamaan busbar, Input data. Beberapa contoh data yang harus di input pada software ETAP PowerStation 5.0.3 dengan paramater sebagai berikut:

1. Data power grid

Berikut ini adalah data power grid.

$$V = 20 \text{ kV.}$$

$$P = 7 \text{ MW}$$

$$\text{grounding} = Y \text{ (bintang).}$$

$$\text{Mode} = \text{Swing.}$$

2. Data transformator

Berikut ini adalah data TR1 dan TR2.

$$VA = 2500 \text{ kVA.}$$

$$\text{Rating} = 20/0.4 \text{ kV.}$$

Belitan Δ -Y Solid (delta-bintang).

3. Data busbar

Tegangan pada Bus disesuaikan dengan koneksi/hubungan yang dilakukan dengan detail data sebagai erikut

$$P = 200 \text{ kW.}$$

$$V = 0.4 \text{ kV.}$$

$$PF = 80\%.$$

$$EFF = 90\%.$$

Pembebanan 80% pada Design, 4 Pole.

4. Beban statis

$$VA = 35 \text{ kVA.}$$

$$V = 0.4 \text{ kV.}$$

$$PF = 80\%.$$

Pembebanan 80% pada design.

5. Beban lumped

$$VA = 56 \text{ kVA.}$$

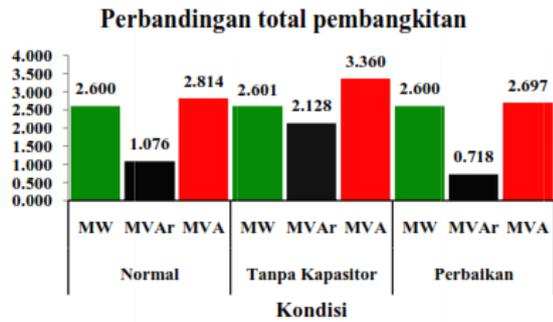
$$V = 0.4 \text{ kV.}$$

$$PF = 80\%.$$

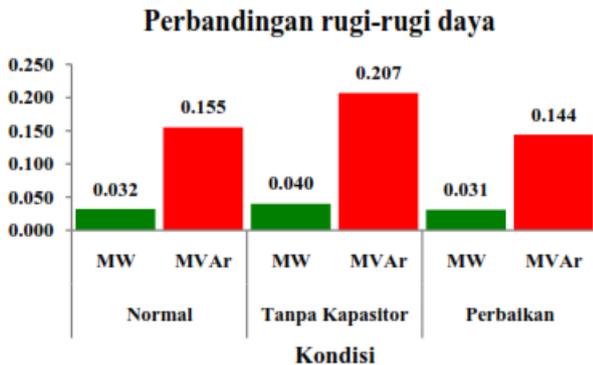
$$\text{Amps} = 85.$$

dengan perbandingan beban motor 80% dan beban statis 20% pada pembebanan 80% yang mempunyai ketentuan:

- Daya yang dipakai pabrik dalam kondisi normal yaitu sesuai dengan beban puncak yang telah ditentukan.
- Tegangan di tiap-tiap bus berada dalam batas-batas yang diijinkan yaitu +5% -10%.
- Daya yang mengalir pada penghantar berada dalam batas kapasitas penghantar.
- Daya kompleks (VA) pada transformator berada dalam batas kapasitas transformator yang diberikan.
- Kapasitor beroperasi secara normal sesuai dengan kondisi lapangan.



Gambar 3 Grafik perbandingan total pembangkitan



Gambar 4 Grafik perbandingan total rugi-rugi daya

Berdasarkan hasil studi aliran daya, Gambar 4.10 grafik perbandingan total rugi-rugi daya, menampilkan informasi besarnya rugi-rugi daya pada ketiga kondisi, berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui besarnya rugi-rugi daya pada kondisi normal sebesar 0.032 MW dan 0.155 MVAr, pada kondisi perbaikan rugirugi daya sebesar 0.031 MW dan 0.144 MVAr lebih kecil dari kondisi normal, sedangkan pada kondisi tanpa kapasitor rugi-rugi daya sebesar 0.040 MW dan 0.207 MVAr lebih besar dari kondisi normal.

IV. KESIMPULAN

Pada kondisi beban puncak normal yaitu kondisi beban puncak malam pukul 20.00 WITA dengan kapasitor beroperasi normal faktor daya pada bus pembangkit sebesar 92.4%. Pada kondisi beban puncak tanpa menggunakan kapasitor, faktor daya pada bus pembangkit sampai penyulang tidak mencapai 80% sehingga terjadi *undervoltage* pada beberapa bagian pabrik yaitu pada Sander_1 dan Sander_3. Pada kondisi analisa percobaan yaitu pembagian kapasitor bank yang ada di *Feeder*/penyulang I dibagi dua untuk dipasang di MDP I, faktor daya pada bus penyulang I dan II naik sampai 90%. Berdasarkan hasil simulasi sistem tenaga listrik dengan *software ETAP PowerStation 5.0.3*, Kualitas daya pada pabrik PT. IDEC AWI Tarakan masuk dalam golongan kualitas daya yang baik, dilihat dari power faktor yang mencapai 90% dan kemungkinan kecil terjadinya *undervoltage* pada ujung terima/beban. Pengoperasian Bank Kapasitor pada industri cukup penting selain untuk memperbaiki factor daya juga sebagai penurun *losses*/rugi-rugi daya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada segenap pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah berkontribusi baik terhadap proses penyusunan tulisan ini maupun dalam proses publikasinya. Terima kasih kepada para autor yang naskahnya penulis jadikan sebagai referensi.

REFERENSI

- [1] Kurniawan Dzackiy, U. *Simulasi Aliran Daya Pada Penyulang Dua Gardu Induk Rawalo Dengan Menggunakan Software ETAP 7.0*. 2011
- [2] LPPM-ITS, *Modul Pelatihan ETAP Level-1*, Modul Pelatihan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. 2008
- [3] Novariant, *Analisa Kualitas Daya dan Harmonisa*, 2011
- [4] Roger C. Dugan, Mc Granaghan. F. M, Santoso. S, Beaty Wayne. H, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd edition, Downloaded from Digital Engineering Library @ McGraw-Hill. 2011

RANCANGAN MODIFIKASI ALGORITMA AODV PADA MANET UNTUK MENINGKATKAN PERFORMANSI SKEMA *ROUTING* DAN DETEKSI KONGESTI (STUDI LITERATUR)

Arif Fadllullah

Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kaltara, Indonesia

e-mail: arif.fadl@gmail.com

Abstract—AODV is one of the well-known reactive routing protocols on MANET that is built on routing requests. This protocol is widely used because of low routing overhead and high performance. However, sending data packets using conventional AODV often delay, when the routing path is interrupted as a result of the movement of nodes that change in the path. Therefore, this study proposes a modified AODV design that not only has the routing scheme feature of the main path chosen based on link throughput and minimum hop count, but also considers providing alternative paths when the link node is damaged or when the data packet queue exceeds the maximum capacity of a node until congestion status occurs at the node, especially to reduce packet delay delays that are prone to occur in conventional AODV.

Keywords—AODV, Modification AODV, Link Throughput, Congestion Detection

Intisari—AODV adalah salah satu protokol reaktif routing yang terkenal pada MANET yang dibangun berdasarkan permintaan routing. Protokol ini banyak dipakai karena overhead routing yang rendah dan performa tinggi. Hanya saja pengiriman paket data menggunakan AODV konvensional seringkali terjadi delay, manakala jalur routing terputus sebagai akibat adanya pergerakan node yang berubah-ubah dalam jalur. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan rancangan AODV modifikasi yang tidak hanya memiliki fitur skema routing jalur utama yang dipilih berdasarkan link throughput dan minimum hop count, tetapi juga mempertimbangkan penyediaan jalur alternatif saat link node mengalami kerusakan maupun saat antrian paket data melebihi kapasitas maksimal suatu node hingga status kongesti terjadi pada node, khususnya untuk mengurangi delay pengiriman paket yang rentan terjadi pada AODV konvensional.

Kata Kunci—AODV, AODV Modifikasi, Link Throughput, Deteksi Kongesti

I. PENDAHULUAN

Saat ini, internet telah menjadi salah satu bagian yang tidak terpisahkan untuk menunjang kebutuhan manusia dalam hal pengiriman data dan komunikasi jarak jauh. Agar dapat terhubung dengan jaringan internet, tidak hanya diperlukan perangkat yang memiliki *network interface connection* ataupun perangkat *wireless mobile*, melainkan juga harus memiliki perangkat penunjang, seperti *access point* dan *router* yang tersambung ke BTS (*base station*) infrastruktur internet melalui ISP (*internet service provider*) yang terdaftar. Tentu hal ini akan memakan biaya apalagi jika membutuhkan *bandwidth*

yang besar untuk mengakses informasi dalam internet baik berdasarkan *volume based* maupun *time based*.

Kondisi tersebut memunculkan ide bagaimana manusia bertukar data atau informasi tanpa tersambung ke jaringan internet. Salah satu alternatif adalah memanfaatkan layanan *wireless* yang terpasang pada perangkat tertentu atau di kenal dengan istilah MANET (*Mobile Ad Hoc Network*). Metode ini berdasarkan fakta bahwa sekarang ini mudah sekali ditemukan perangkat berbasis *mobile wireless*, seperti laptop, tablet, note, hp, dan lain sebagainya dalam jangkauan yang saling berdekatan. Dengan MANET, perangkat tersebut dapat berperan sebagai *host*, *router*, dan *forwarding packets* sehingga dapat melakukan pertukaran data tanpa memerlukan *base station* yang tetap sebagai *relay* transmisinya. Syaratnya, partisipan dalam jaringan ini harus mau menjadikan perangkatnya sebagai *router* untuk meneruskan paket data dan menjamin bahwa paket berhasil dikirimkan dari sumber ke tujuan. MANET ini sangat cocok untuk diterapkan pada daerah yang belum memiliki infrastruktur komunikasi internet atau sebagai alat komunikasi darurat jika infrastruktur rusak.

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam mengimplementasikan MANET, termasuk bagaimana cara menghubungkan satu *mobile device* (selanjutnya disebut *node*) dengan node lainnya diluar jangkauan *wireless* sehingga seringkali harus melewati beberapa *node* penghubung atau *network multihop*. Belum lagi, node pada MANET yang sifatnya dinamik turut mempengaruhi perubahan secara periodik topologi jaringan dan jalur transmisi, termasuk jika jarak antara node-node menjadi sangat besar, maka power pengiriman lemah, transmisi data menjadi rendah, *delay* dan kegagalan membaca jalur pengiriman tinggi, sehingga *packet loss* sering terjadi.

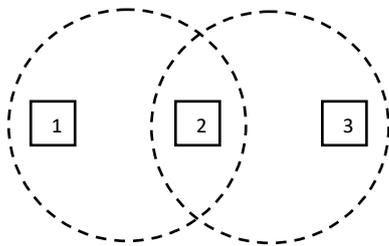
Perlu adanya standar *routing* protokol agar pengiriman data bisa dilakukan secara optimal. Salah satu alternatif protokol *routing* MANET yang banyak digunakan adalah AODV (*Ad Hoc Demand Distance Vector*). Berdasarkan beberapa penelitian, AODV unggul karena *overhead routing* yang rendah dan performa tinggi [1] [2] [3]. Akan tetapi, penentuan skema jalur utama hanya dengan menghitung minimal *hop count*, tanpa mempertimbangkan aspek lain seperti *link throughput*. Termasuk menyediakan jalur alternatif, ketika terdapat beberapa node penghubung yang mengalami kongesti atau kemacetan. Belum lagi pengiriman paket data dilakukan setelah pencarian jalur menjadi tidak efektif

manakala jumlah node yang terhubung dalam jaringan *ad hoc* berskala besar. Hal ini tidak hanya berimplikasi pada *delay* pengiriman yang meningkat, tetapi juga menghasilkan *routing* yang tidak valid, terlebih karena ada perubahan topologi saat pengiriman paket data dilakukan.

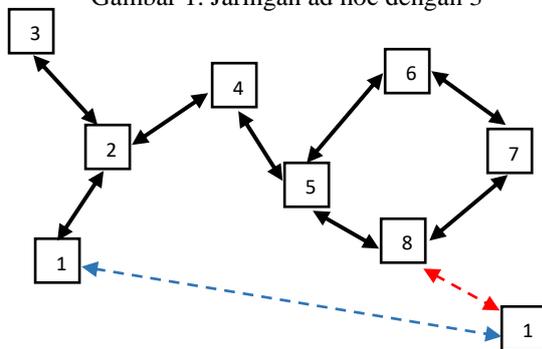
Oleh karena itu, dalam artikel ini akan diusulkan rancangan AODV dengan beberapa modifikasi dalam alur algoritmanya agar yang tidak hanya memiliki fitur skema *routing* jalur utama yang dipilih berdasarkan *link throughput* dan *minimum hop count*, tetapi juga mempertimbangkan penyediaan jalur alternatif saat link node mengalami kerusakan maupun saat antrian paket data melebihi kapasitas maksimal suatu node hingga status kongesti terjadi pada node, khususnya untuk mengurangi *delay* pengiriman paket yang rentan terjadi pada AODV konvensional.

II. LANDASAN TEORI

A. Protokol Routing



Gambar 1. Jaringan ad hoc dengan 3



Gambar 2. Jaringan ad hoc dengan 8 node

Pada Gambar 1, terdapat tiga buah node, yang mana node-1 berada di jangkauan transmisi node-2 tetapi di luar jangkauan node-3. Node-2 dapat menjangkau node-1 dan node-3. Serta, node-3 berada di jangkauan transmisi node-2 tetapi di luar jangkauan node-1. Sekarang jika node-1 dan node-3 ingin berkomunikasi satu sama lain, node tersebut harus memanfaatkan layanan node-2 untuk meneruskan komunikasinya.

Pada kenyataannya *ad hoc multinode* lebih rumit daripada contoh pada Gambar 1, karena nodenya tidak hanya 3, melainkan lebih seperti pada Gambar 2 yang terdapat 8 buah node. Awalnya jika node-1 ingin mengirimkan paket data ke node-7, maka jalur transmisinya sebagai berikut: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$. Apabila di tengah-tengah proses pengiriman sedang berlangsung, tiba-tiba node-1 bergerak mendekati dan berada dalam jangkauan yang sama dengan node-8, maka jalur transmisi berubah menjadi: $1 \rightarrow 8 \rightarrow 7$ dengan tetap menjaga agar tidak terjadi *packet loss* selama proses

routing updating. Agar proses *updating* tersebut berjalan dengan baik, perlu adanya protokol *routing*. Protokol *routing* dalam MANET bukan hal yang sederhana seperti *fix network*, karena suatu protokol harus mampu mengatasi masalah *multinode* yang bisa saja bergerak setiap saat, sehingga node yang sudah terdeteksi sebelumnya tiba-tiba menghilang atau sebaliknya ada node-node baru bermunculan sehingga pemetaan jalur harus bisa diupdate secara periodik dalam protokol *routing* MANET. Protokol *routing* pada MANET dapat dibedakan menjadi dua yaitu protokol *routing* reaktif dan *routing* proaktif. Salah satu alternatif protokol *routing* yang sering digunakan pada MANET adalah AODV.

B. AODV

Protokol AODV (*Ad Hoc on Demand Distance Vector*) merupakan protokol reaktif yang dibangun berdasarkan permintaan *routing* dalam menentukan jalur hanya ketika node sumber ingin mengirimkan paket data ke node tujuan, dimana didalamnya terdapat penggabungan antara fitur *routing discovery* dan *routing maintenance* yang diambil dari DSR protokol, dan fitur *hop by hop routing* dan *destination sequence number* yang diambil dari DSDV protokol. AODV menggunakan RREQ (*route request*) dan RERR (*route error*) sebagai sinyal kontrol [4].

Proses *routing* pada AODV dibagi kedalam dua mekanisme, yakni *discovery route* dan *maintenance route* [5] [6].

- *Discovery Route*

Agar sebuah node sumber dapat mengirimkan data maupun melakukan komunikasi ke beberapa node tujuan, maka tidak hanya sekedar node sumber mengetahui IP (*internet protocol*) node tujuan, tetapi juga harus menginisialisasi jalur yang akan dilewati oleh paket data. Caranya melalui proses pencarian jalur, dimana node sumber melakukan *broadcast RREQ (route request)* ke semua node tetangga. Node yang mengetahui jalur ke penerima bisa dikatakan sebagai node penghubung atau *router*. Baik node penghubung maupun node tujuan akan menyimpan tabel *routing* baru yang dibawa oleh RREQ. Tabel *routing* baru ini berisi alamat node penghubung sebagai jalur menuju ke node penghubung lainnya atau node tujuan. Jika ada node yang mendapatkan pesan RREQ yang sama, maka pesan RREQ yang diterima terakhir itu akan dibuang. Selanjutnya node akan merespon pesan RREQ dengan meneruskan kembali ke node tetangga lainnya jika node tersebut bukan node tujuan. Akan tetapi jika node tujuan yang menerima pesan RREQ, maka selanjutnya node tersebut akan mengirimkan pesan balasan RREP (*route reply*) secara *unicasting*. Pesan RREP disalurkan sepanjang jalur yang dibentuk RREQ sebelumnya, melewati node-node yang memiliki jalur ke penerima. Hingga pesan RREP sampai ke node sumber, pesan ini berisi tentang IP pengirim, IP penerima, *hop count* (lompatan node yang dilewati), dan *time to live* (waktu pesan). Dengan RREP ini, secara sekuensial jalur *end to end* akan terbentuk sendiri antara node tujuan menuju node sumber. Jika jalur kadaluarsa atau tidak pernah digunakan, maka entri *routing* yang mengarahkan ke jalur tersebut otomatis akan terhapus dalam rentang waktu tertentu.

- *Maintenance Route*

Saat jalur telah terbentuk, mekanisme kerja *routing* AODV bergantung pada masing-masing entri *routing* tabel node itu sendiri, sehingga tidak diperlukan informasi *routing* dari node penghubung. Melalui pesan HELLO *broadcast* yang dikirim secara periodik antar node bertugas untuk menginformasikan dan memastikan bahwa topologi *link* node di depannya tidak mengalami perubahan ataupun kerusakan. Apabila itu terjadi, maka node yang terhubung pada *link* tersebut akan mengirimkan pesan RERR (*route error*) ke node penghubung yang aktif sebagai pesan untuk menjelaskan bahwa *link* telah rusak. Proses tersebut secara relay akan terus dikirimkan sampai pesan *error* diterima oleh semua node aktif, termasuk sampai ke node sumber. Setelah menerima pesan ini, node akan menghapus semua jalur yang berisi node gagal. Selanjutnya, *discover route* akan diaktifkan kembali dan node sumber harus mengirimkan ulang RREQ untuk menemukan jalur alternatif yang baru.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini didasarkan pada penerapan metode SLR sebagai suatu cara untuk melakukan ulasan penelitian dengan melakukan klasifikasi dan perbandingan terhadap beberapa penelitian yang telah ada baik berupa artikel, jurnal, atau *conference*. SLR menjelaskan proses pencarian dokumen secara relevan dari pertanyaan penelitian yang diajukan. Penelitian ini memiliki tiga tahapan: (i) Rencana *review* yang mendefinisikan protokol *review* untuk menentukan pertanyaan penelitian. (ii) Implementasi dibutuhkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk mendapatkan kriteria kata kunci utama yang berhubungan dengan pertanyaan penelitian. (iii) Dokumentasi yang bertujuan untuk memberikan informasi yang diperoleh dari setiap ulasan berupa ringkasan.

A. *Research Question (RQ)*

Research question digunakan untuk mendefinisikan kriteria atau atribut pertanyaan yang menjadi acuan kerangka pertanyaan. Pertanyaan utama pada studi literatur penelitian ini adalah sebagai berikut:

- RQ1: Bagaimana perkembangan dan prinsip kerja algoritma AODV yang sudah ada?**
RQ2: Bagaimana skema pencarian jalur pada desain Modifikasi AODV usulan?
RQ3: Bagaimana skema pemeliharaan jalur pada desain Modifikasi AODV usulan?

B. *Proses Pencarian Pertanyaan*

Dari RQ diatas kemudian dicari kata kunci pertanyaan yang sesuai untuk studi literatur pada penelitian ini. Kata kunci yang dapat digunakan adalah MANET, AODV, dan Modifikasi AODV. Setelah mendefinisikan atribut/kata kunci untuk dijadikan kerangka acuan dalam menjawab RQ, langkah selanjutnya yaitu melakukan proses pencarian studi pustaka dengan menggunakan ekspresi operator logika AND, OR pada basis data jurnal seperti *ScienceDirect*, *IEEE*, *Google Scholar*.

C. *Kriteria Inklusi dan Eksklusi*

Untuk membatasi ruang lingkup pencarian maka dibutuhkan penyaringan kata kunci dengan menggunakan penyaringan berdasarkan kriteria inklusi sebagai berikut:

- 1) Fokus pada analisis modifikasi AODV.
- 2) Sumber dalam bahasa Inggris dan memberikan jawaban atas pertanyaan penelitian dan kata kunci penelitian.
- 3) Publikasi literatur dalam bentuk jurnal atau *conference* yang diseleksi oleh penulis.

Untuk mempercepat pencarian, maka diperlukan suatu cara agar dapat mempersempit ruang lingkup pencarian yang mengabaikan literatur hasil penyaringan eksklusi dengan kondisi sebagai berikut:

- 1) Literatur yang menggunakan bahasa selain bahasa Inggris.
- 2) Literatur yang tidak terkait dengan pertanyaan dan kata kunci penelitian.
- 3) Sumber yang hanya memberikan informasi dalam bentuk abstrak.
- 4) Literatur ganda dari sumber pencarian.

D. Ekstraksi Data dan Sintesis

Selanjutnya adalah ekstraksi jurnal, *conference* secara manual yang ada kaitannya dengan judul, abstrak, kata kunci dan referensi yang sesuai dengan pertanyaan penelitian dan kata kunci penelitian. Penelitian yang dilakukan ini akan memberikan desain usulan modifikasi AODV berdasarkan *review* studi pustaka yang diperoleh dari sumber literatur yang sudah ada.

E. Dokumentasi dan Validasi Hasil

Kumpulan jurnal dan *conference* hasil ekstraksi kemudian divalidasi dengan tujuan untuk mengetahui gambaran perkembangan algoritma modifikasi AODV yang kemudian dituangkan ke dalam desain usulan modifikasi AODV pada penelitian ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah ditentukan kriteria inklusi dan eksklusi dan pemilihan jurnal berdasarkan abstrak yang dibaca maka diperoleh beberapa jurnal atau *conference* yang relevan untuk selanjutnya dikaji lebih lanjut dan dijadikan pembahasan penelitian. Adapun pemaparan hasil *review* yang menjawab RQ studi literatur penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

RQ1: Bagaimana perkembangan dan prinsip kerja algoritma AODV yang sudah ada?

1. Ide Awal Algoritma

Pada AODV konvensional, paket data dikirimkan setelah pencarian jalur utama selesai. Hal tersebut menjadi masalah ketika node yang saling terhubung berskala besar, dimana paket data diminta menunggu dalam waktu yang lama hingga jalur utama selesai terbentuk. Hal ini tidak hanya berimplikasi pada *delay* pengiriman yang tinggi, tetapi juga menghasilkan jalur yang tidak valid, terlebih karena ada perubahan topologi saat pengiriman paket data dilakukan. AODV konvensional dalam memilih jalur utama *routing* ke node tujuan hanya berdasarkan minimum *hop count*, sehingga

jalur alternatif lain yang *hop count*-nya lebih besar akan diabaikan. Padahal bisa jadi jalur yang *hop count*-nya besar, memiliki *link throughput* lebih baik bila dibandingkan dengan minimum *hop count*. Selain itu, jika jalur utama rusak maka jalur alternatif tersebut bisa digunakan, itupun harus melalui proses pencarian jalur kembali yang tentu akan meningkatkan *delay* pengiriman. Jalur sebuah node dikatakan terputus (*host unreachable*) jika daya node *down*, node rusak dan secara *mobile* node bergerak menjauhi jalur utama. Padahal gangguan jalur pada node juga bisa dikarenakan alur *density* antrian paket melebihi batas maksimal *buffer size* node yang berakibat pada kongesti, sehingga pengiriman mengalami RTO (*request time out*). Hal ini tidak menjadi pertimbangan dalam AODV konvensional, sehingga berakibat masih tingginya *loss rate* (kehilangan) paket data saat pengiriman berlangsung.

Oleh karena itu, algoritma AODV pendekatan baru yang diusulkan akan mengkombinasikan beberapa algoritma, seperti AODV_ODB, AODV_M, AODV_BRL, dan OLSR_RED sehingga diharapkan mampu mengurangi *delay* yang terjadi saat paket data harus menunggu jalur selesai terbentuk melalui penyisipan paket data pada pesan RREQ. Termasuk mempertimbangkan pencarian jalur terpendek dengan tidak mengabaikan beberapa jalur alternatif melalui pemilihan jalur berdasarkan perhitungan nilai *throughput*, dan pengalihan jalur jika terdapat status kongesti pada node penghubung.

2. Pesan RREQ disisipkan Paket Data

Salah satu kondisi *delay* yang terjadi pada AODV konvensional adalah saat paket data menunggu dalam jangka waktu tertentu untuk dikirim selama proses pencarian jalur utama node sumber ke node tujuan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, *delay* tersebut dapat dikurangi melalui modifikasi pesan RREQ dengan pendekatan AODV_ODB. Konsep AODV_ODB [7] adalah saat menemukan *link error*, node akan melakukan *broadcast* sebuah paket *header*, yang tidak hanya berisi pesan RREQ, tetapi juga paket data. Artinya, ketika pesan RREQ menjangkau node tetangga bukan node tujuan, jalur baru terbentuk dan paket data juga diterima node tetangga, hingga paket di *broadcast* terus sampai ke node tujuan. Ketika paket *header* mencapai node tujuan, node tujuan akan mengirim RREP dan pada saat yang sama menerima paket data. Hal ini tidak hanya akan mempermudah pengaturan *routing* tetapi juga mengurangi *delay* pengiriman, karena paket data langsung dikirimkan saat pencarian jalur bersamaan dengan pengiriman pesan RREQ.

3. Inisialisasi Jalur berdasarkan Link Throughput

Spesifikasi *bandwidth*, daya, dan stabilitas sinyal yang berbeda pada masing-masing node atau peralatan *wireless mobile* erat kaitannya dengan *link throughput* yang bisa dilewati untuk pengiriman paket, sehingga nilai *throughput* dari *link bottleneck* (*link* dengan *throughput* terendah di antara semua *link* dalam rute tertentu) dapat dianggap sebagai nilai *throughput* untuk jalur tertentu yang menjadi acuan utama dalam menentukan skema *routing* AODV, selain dengan minimum *hop count*. Nilai

Throughput adalah *bandwidth* aktual jalur pengiriman paket dengan rumus dalam persamaan 1 berikut ini.

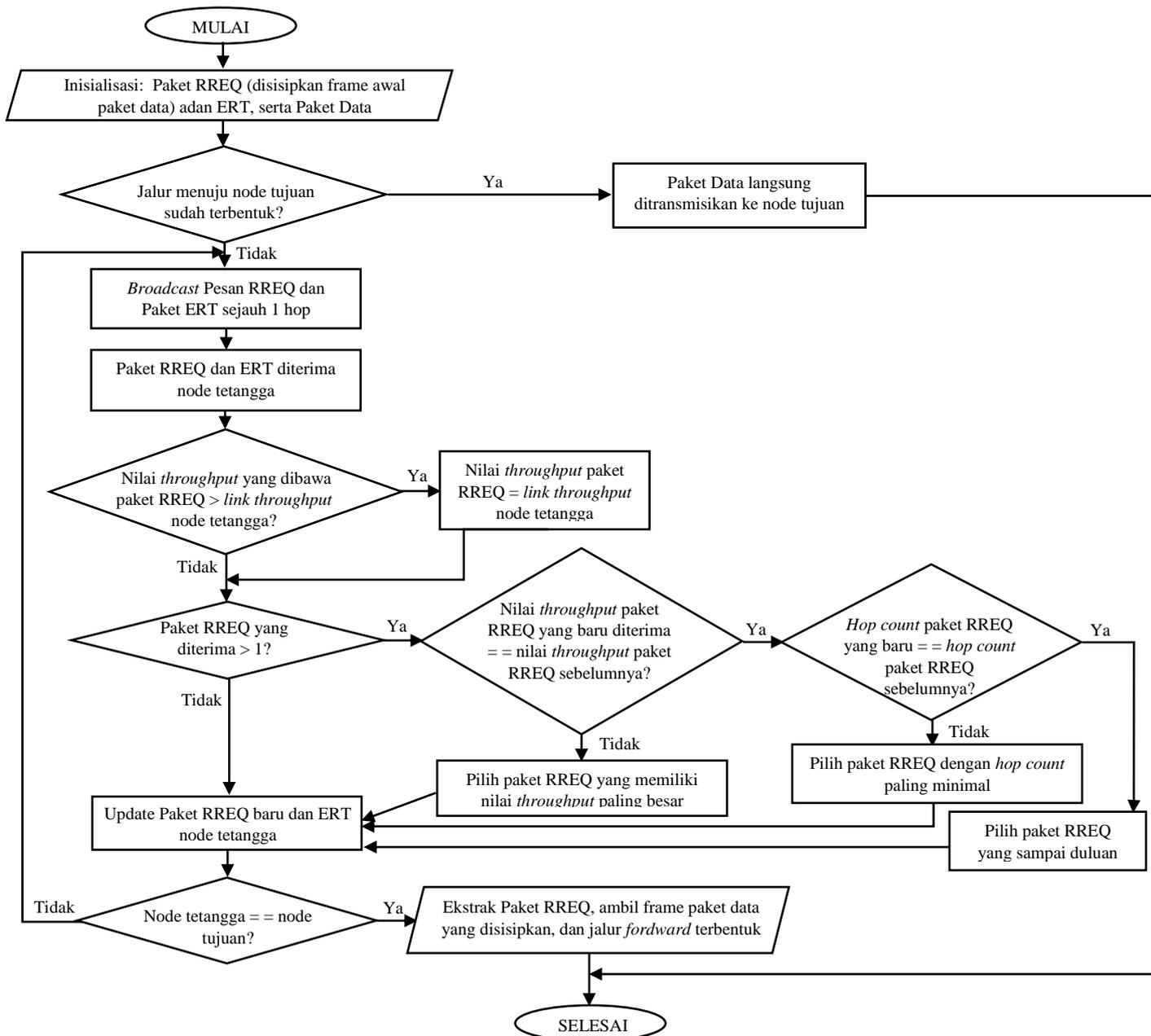
$$\text{Throughput} = \frac{\text{ukuran_paket(bit)}}{\text{waktu_paket_diterima(detik)}} \quad [8] \quad (1)$$

Penelitian yang pernah dilakukan berkaitan penentuan jalur berdasarkan *throughput* menggunakan algoritma AODV_M. Konsep AODV_M [9] menyisipkan nilai *throughput* node sumber pada paket RREQ yang diteruskan ke node tetangga yang kemudian dibandingkan dengan *link throughput* node tetangga yang ada. Jika *link throughput* node tetangga lebih kecil dari nilai *throughput* yang dibawa paket RREQ, maka nilai *throughput* paket RREQ diubah dan digantikan dengan nilai *link throughput* node tetangga. Selanjutnya paket RREQ membawa nilai *throughput* yang baru diteruskan ke node tetangga lainnya dan jumlah *hop count* bertambah satu.

Jika sebuah paket RREQ dengan *destination sequence number* yang sama, tapi berasal dari jalur yang berbeda berhasil diterima oleh node tujuan. Maka untuk algoritma AODV konvensional, node tersebut hanya akan memilih paket dari jalur dengan *hop count* paling minimal atau paket yang terlebih dahulu diterima dan melakukan *drop* terhadap paket yang baru datang. Sedangkan dengan algoritma AODV_M, nilai *throughput* paket RREQ yang baru datang dibandingkan dengan nilai *throughput* paket RREQ sebelumnya. Setelah dibandingkan, nilai *throughput* paket RREQ yang paling besar itulah yang kemudian akan diteruskan ke node selanjutnya. Akan tetapi, jika ternyata perbandingan nilai *throughput* menghasilkan nilai yang sama, maka baru jalur dengan minimum *hop count* yang dipilih. Begitu seterusnya, hingga paket RREQ sampai ke node tujuan. Kemudian node tujuan mengirimkan RREP dengan cara yang sama seperti pengiriman paket RREQ, dengan membandingkan nilai *throughput* RREP paket antar node yang telah dilewati paket RREQ sebelumnya, sehingga terbentuk jalur *end-to-end* antara node sumber ke node tujuan dengan memilih node penghubung sebagai jalur yang memiliki *throughput* paling besar.

4. Backup Jalur dengan LHF

Dalam AODV konvensional, node sumber mengirimkan data dan melakukan komunikasi ke node tujuan dengan memanfaatkan sebuah jalur tunggal yang terbentuk secara *end-to-end* melalui node-node penghubung berdasarkan minimum *hop count*. Jalur tunggal yang dibangun akan memiliki kendala ketika node penghubung rusak, sehingga inisialisasi jalur harus diulang lagi, yang pencariannya dimulai dari node sumber ke node tujuan. AODV_BRL (*Backup Route with LHF*) merupakan satu dari sekian banyaknya algoritma *routing* guna mencari jalur alternatif pengiriman paket data. AODV_BRL [10] mengkombinasikan teknik *backup* jalur dengan penambahan sebuah ERT (*Extended Routing Table*) yang di *broadcast* bersamaan dengan pesan RREQ. Ketika node tujuan mendapatkan pesan RREQ dari beberapa jalur, maka node tujuan mengirimkan paket RREP dan ERT secara *multicast* ke node penghubung hingga sampai ke node sumber, sehingga ada beberapa jalur alternatif yang dapat terbentuk dari node sumber ke



Gambar 3. Discovery Forwarding Routes

node tujuan, tidak hanya jalur utama yang hanya berdasarkan minimum *hop count*. Selain jalur alternatif yang dibangun oleh paket RREP, struktur *mesh* akan dibuat dengan mentransmisikan secara *broadcast Extended Hello Message* dari sebuah node tetangga ke node tetangga lainnya yang masih dalam jangkauan satu *hop*. *Hello message* akan dikirimkan setiap interval waktu 1,000 ms. Proses ini untuk mengetahui mana saja node tetangga yang masih aktif dan mengupdate ERT yang berasal dari node tetangga.

Jika dalam jangkauan satu *hop*, *hello message* mendeteksi adanya *link* yang rusak, maka proses pencarian jalur tidak diinisialisasi ulang dari node sumber, seperti pada AODV konvensional. Melainkan perbaikan *link* berdasarkan metode LHF yakni mensubstitusi alamat *routing* node yang rusak dengan alamat *routing* node penghubung baru yang lain yang punya jalur ke node tujuan pada ERT sebuah *downstream* node. Jika ternyata dari ERT *downstream* node tidak ditemukan jalur

alternatif, maka pengecekan dilakukan kembali dengan mengirimkan BRRQ (*backup route request*) dari *downstream* node ke node tetangganya. Jika terdapat node tetangga yang punya jalur ke node tujuan, maka node tersebut mengirimkan pesan balasan BRRP (*backup route reply*) dan node tersebut menjadi jalur alternatif yang baru. Hal ini tentu akan mengurangi *overhead* dan *delay* saat perbaikan *link*, karena pencarian jalur tidak diinisialisasi ulang dari node sumber.

5. Status Kongesti sebagai Pertimbangan Link Error

Link sebuah node dalam MANET dapat dikatakan terputus, jika node rusak, mati, dan diluar jangkauan. Padahal penyebab terputusnya *link*, juga bisa karena meningkatnya jumlah *queue* (antrian) melebihi *buffer* node maksimal yang bisa mengakibatkan kongesti (kemacetan). Penelitian yang pernah dilakukan untuk mendeteksi adanya kongesti adalah penerapan algoritma RED (*Random Early Detection*) pada protokol AODV

[11] dan OLSR_RED [12]. RED merupakan algoritma *active queue management* (AQM). RED menghitung rata-rata ukuran *queue* yang masuk ke node dengan memberikan nilai *Threshold* (ambang bata). Rata-rata ukuran *queue* dibandingkan untuk dua nilai *Threshold*, minimum *Threshold* dan maksimum *Threshold* [13]. Rumus nilai *Threshold* yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 2 dan 3.

$$Min_{Thr} = 0,25 \times Buffer_{size} \tag{2}$$

$$Max_{Thr} = 3 \times Min_{Thr} \tag{3}$$

$$AvQ = ((1 - w_q) \times Avg) + (Cur_{Que} \times w_q) \tag{4}$$

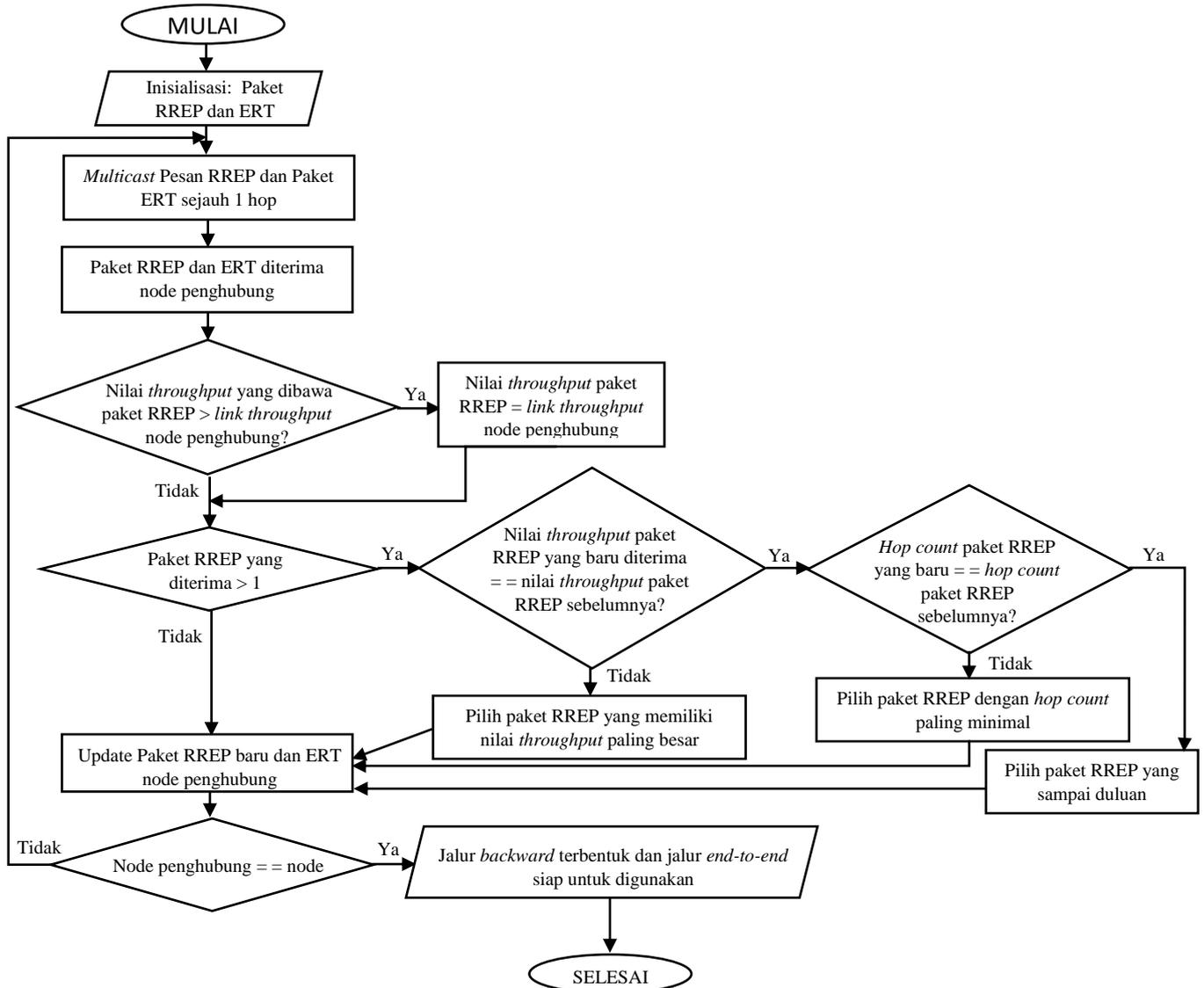
$$Status_{Que} = Cur_{Que} - AvQ \tag{5}$$

Min_{Thr} adalah nilai batas minimum *Threshold*. Max_{Thr} adalah nilai batas maksimum *Threshold*. AvQ adalah nilai rata-rata dari ukuran paket antrian (persamaan 4). w_q adalah bobot (*weight*) antrian dengan nilai konstan 0,002. Cur_{Que} adalah ukuran paket antrian saat ini, sedangkan $Status_{Que}$ merupakan kondisi dari nilai aktual antrian (persamaan 5). Ukuran antrian semakin berkurang

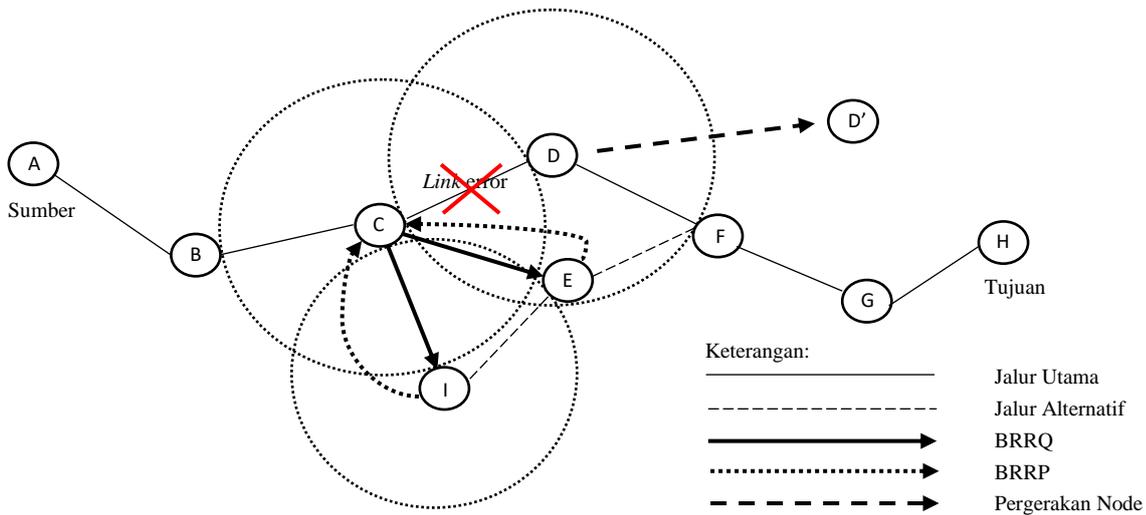
manakala paket data yang datang dalam jaringan akan memenuhi antrian. Hasil perbandingan $Status_{Que}$ akan diklasifikasikan ke dalam nilai CC. Jika $Status_{Que}$ kurang dari Min_{Thr} , maka node diklasifikasikan ke area aman dari kongesti (Area I) dengan nilai CC=000. Apabila $Status_{Que}$ lebih dari Min_{Thr} dan Cur_{Que} kurang dari Max_{Thr} , maka node diklasifikasikan ke dalam area mendekati kongesti (Area II) dengan nilai CC=001, sedangkan jika Cur_{Que} lebih dari Max_{Thr} maka node diklasifikasikan ke dalam area dalam keadaan kongesti (Area III) dengan nilai CC=010.

Jika sebuah node penghubung memiliki nilai CC=010, artinya *link error* dan node tersebut segera mentransmisikan CSP (*Congestion Status Packet*) sejauh satu *hop* ke node tetangganya. Pesan CSP yang dikirim berisi nilai status kongesti (CC) dan parameter routing (*Source S, Destination D, Hop Count hop, Sequence Number Seq, Neighbors Information N_list*). Node tetangga yang menerima CSP akan mencari jalur alternatif dan menghapus *link* yang *error* dari ERT-nya.

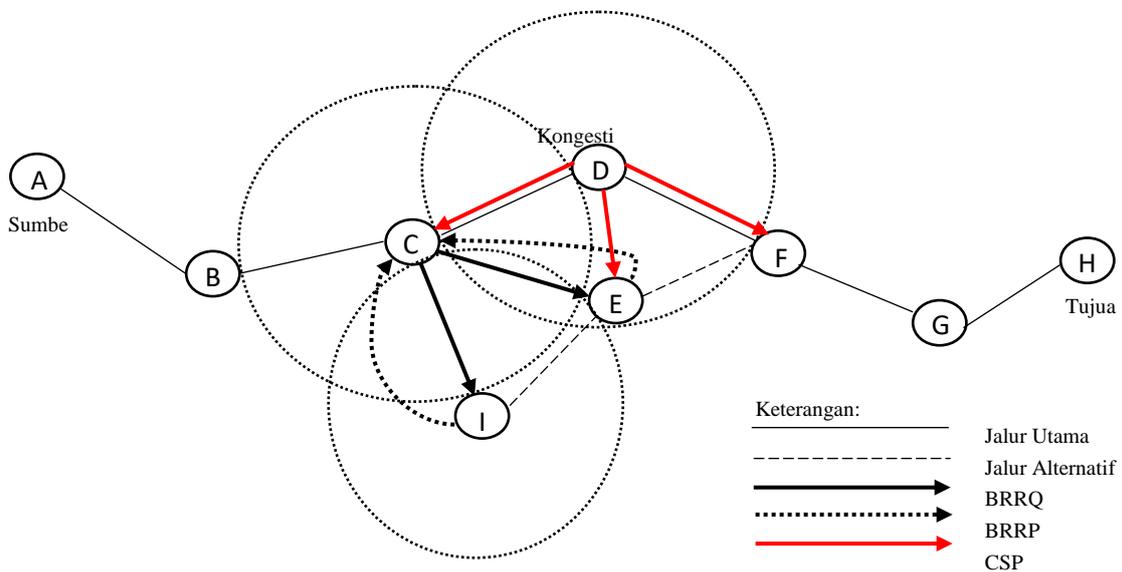
RQ2: Bagaimana skema pencarian jalur pada desain Modifikasi AODV usulan?



Gambar 4. Discovery Backwarding Routes



Gambar 5. Proses transmisi pesan BRREQ untuk mencari jalur alternatif ketika link error



Gambar 6. Skema pemeliharaan jalur saat node sedang mengalami kongesti

Saat pengiriman paket data atau saat *hello message* ditransmisikan, ternyata node C mendeteksi adanya error *link* di depannya, maka node C memilih jalur alternatif lain berdasarkan ERT miliknya. Namun, jika ERT node C tidak menyediakan jalur alternatif, maka node C mentransmisikan secara *broadcast* pesan BRRQ sejauh 1 *hop* ke node tetangganya, yaitu node E dan I. Pesan ini kemudian direspon oleh node E dan I yang memiliki jalur ke node tujuan. Responsi berupa pengiriman pesan balasan BRRP dan ERT node tetangga. Jika node C mendapatkan pesan BRRP lebih besar dari 1, maka node C memilih jalur alternatif dengan *throughput* paling besar, Jika *throughput* sama, maka node C memilih jalur alternatif yang jumlah *hop*-nya paling minimal. Jika *throughput* dan *hop* sama, maka node C memilih jalur alternatif berdasarkan pesan BRRP mana yang sampai duluan.

Misal node E memiliki jalur *throughput* yang tinggi dan *hop count* paling minimal, maka node E yang menjadi node penghubung alternatif menggantikan node D, sehingga data ERT node E, yakni $F \rightarrow G \rightarrow H$ disubstitusikan ke tabel data ERT node C, tentu dengan penambahan node E sebagai *next hop*¹ untuk node C,

sehingga jalur alternatif terbentuk menjadi $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H$. Berikut adalah ERT node C setelah diupdate:

Tabel II
Extended Routing Table untuk Node C setelah di update

Entri	Tujuan	Next hop ¹ (C)	Next hop ² (C)	Next hop ³ (C)	...	Next hop (C)	Throughput
...
i-1	A	B	5,5 Mbps
I	H	E	F	G	5,5 Mbps
...

Selanjutnya, berikut skema pemeliharaan jalur menggunakan jalur alternatif saat node sedang mengalami kongesti dapat dilihat pada Gambar 6. Misal pada node D terjadi kondisi penumpukan antrian paket data, dimana *StatusQue* antrian paket lebih besar dari *MaxThr* *buffer* node D, maka node D dikategorikan sebagai node kongesti, dengan nilai $CC=010$. Node D segera mengirimkan CSP (*Congestion Status Packet*) ke node

tetangganya sejauh 1 hop, yakni node C, E, dan F. Kemudian node C, E, dan F mengupdate ERT mereka dengan menghapus *routing* yang melewati hop node D. Jika ternyata setelah penghapusan *routing*, node C tidak menemukan jalur ke node tujuan, maka skema pencarian jalur alternatif menggunakan cara yang sama, seperti ketika pencarian jalur dilakukan saat kerusakan fisik atau mobilitas node terjadi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Untuk pencarian jalur pada desain modifikasi AODV yang diusulkan penelitian ini, selain mempertimbangkan minimum *hop count*, juga dipertimbangkan jalur *throughput* yang bisa dilewati untuk pemrosesan seleksi jalur. Selain itu, pencarian jalur dilakukan dengan mengirimkan pesan RREQ yang disisipi frame paket data, serta mengirimkan paket ERT (*Extended Routing Table*) untuk mengupdate tabel ERT untuk setiap node yang telah dilewati. Untuk pemeliharaan jalur, ada dua kondisi yang dipertimbangkan. Kondisi pertama saat node mengidentifikasi node tetangganya yang rusak saat pengiriman paket data berlangsung maupun melalui pengiriman pesan *hello message*. Jika ditemukan rusak sejauh 1 hop, maka *routing* yang mengarah ke node tersebut akan dihapus. Kondisi kedua saat node sedang mengalami *density* (kepadatan) jalur diakibatkan antrian pengiriman paket yang mendekati kapasitas maksimal *buffer* node, node tersebut kemudian mengirimkan CSP (*Congestion Status Packet*) ke node tetangganya sejauh 1 hop. Node yang menerima CSP kemudian mengalihkan jalur ke *routing* alternatif lain dan menghapus *routing* yang mengarah ke node yang sedang kongesti. Kedua kondisi tersebut mengakibatkan jalur utama terputus, sehingga diperlukan pencarian jalur alternatif. Untuk pencarian jalur *routing* alternatif itu sendiri tidak dilakukan dengan menginisialisasi ulang dari node sumber ke node tujuan, melainkan cukup dengan pertukaran pesan BRRQ dan BRRP di sekitaran node penghubung. Jika alternatif *routing* ditemukan dari data *routing* node tetangga tertentu, maka node penghubung cukup mensubstitusi data *routing* yang lama dengan data *routing* yang berasal dari node tetangga tersebut pada tabel ERT-nya.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah hasil desain rancangan usulan penelitian ini dapat diujicobakan ke dalam simulasi skala lab untuk kemudian dilakukan penilaian performansi dengan membandingkan nilai PDR, *throughput*, *overall routing traffic*, dan *overall end-to-end delay* terhadap data kontrolnya, yaitu AODV_BRL dan AODV konvensional. Algoritma diterapkan dalam skenario yang sama pada *software* simulasi OPNET Modeler 16.0. Diharapkan dengan perbandingan ini, algoritma AODV modifikasi baru menghasilkan performa yang lebih baik daripada AODV konvensional.

REFERENSI

- [1] R. F. Sari, A. Syarif and B. Budiarjo, "Analisis Kinerja Protokol *Routing* AODV Pada Jaringan Ad Hoc Hybrid: Perbandingan Hasil Simulasi Dengan NS-2 dan Implementasi Pada Testbed dengan PDA," *Makara, Teknologi*, vol. 12, no. 1, pp. 7-18, 2008.
- [2] S. Mittal and P. Kaur, "Performance Comparison of AODV, DSR, and ZRP *Routing* Protocols in MANET'S," in *International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies*, 2009.
- [3] A. B. Malany, V. S. Dhulipala and R. M. Chandrasekaran, "Throughput and Delay Comparison of MANET *Routing* Protocols," *Int. J. Open Problems Compt. Math*, vol. 2, no. 3, pp. 461-468, 2009.
- [4] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad Hoc Demand Distance Vector *Routing*," in *Proc. IEEE Symp. The 2th IEEE Workshop on Mobile Systems and Application*, 1999.
- [5] E. M. Reyer, "A Review of Current *Routing* Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," in *IEEE Personal Communication*.
- [6] H. Yang and Z.-y. Li, "Simulation and Analysis of a Modified AODV *Routing* Protocols," in *International Conference on Computer Science and Network Technology*, 2011.
- [7] B. LI, Y. Liu and G. Chu, "Optimized AODV *Routing* Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks," in *IEEE*, 2010.
- [8] E. S. Dewo, Bandwidth dan Throughput, IlmuKomputer.com, 2003.
- [9] L. U. Khan, S. A. Mahmud, M. H. Zafar, G. M. Khan and H. S. Al-Raweshidy, "M-AODV: Modified Ad Hoc On-demand Distance Vector *Routing* Scheme," in *9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP)*, 2014.
- [10] L. Yujun and H. Lincheng, "The Research on an AODV-BRL to Increase Reliability and Reduce *Routing* Overhead in Manet," in *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM)*, 2010.
- [11] S. T. Kumaran and V. Sankaranarayanan, "Early Congestion Detection and Adaptive *Routing* in MANET," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 165-175, 2011.
- [12] I. N. B. Hartawan and W. Wibisono, "Mekanisme Pemilihan MPR dengan Congestion Detection dalam OLSR Pada MANET," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Universitas Udayana*, vol. 6, no. 2, pp. 11-17, 2013.
- [13] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," *IEEE/ACM Transactions Networking*, vol. 1, no. 4, pp. 397-413, 1993.
- [14] Y. Wang, Y. Zhou*, Y. Yu, Z. Wang and S. Du, "AD-AODV: A Improved *Routing* Protocol Based on Network Mobility and Route Hops," 2012.
- [15] C. T. Cuong, V. T. Tu and N. T. Hai, "MAR-AODV: Innovative *Routing* Algorithm in MANET based on Mobile Agent," in *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 2013.

ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU FASA KE TANAH PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) SEBATIK MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION 12.6.0

Tomi Samin

Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

email: tomi.elektro@gmail.com

Abstract—The distribution system of medium voltage 20 kV is a means of plant to the consumer. But in reality the distribution system is often impaired among which the most common is the one-phase short circuit to ground. Therefore, short circuit analysis is required to determine a reliable protection system settings to localize the disorder. Equipment protection system is used for medium power distribution system is more current relays and relay circuit ground, the relay function PMT instructed to open the event of disruption, so that the affected tissue can be separated from the network. In this final project will discuss about the analysis of single phase short circuit to ground that is then used for the determination of the protection relay settings on the secondary power distribution system PT. PLN Sebatik.

Keywords—The distribution system, the one-phase short circuit to ground, relay settings

Intisari—Sistem distribusi tegangan menengah 20 kV merupakan alat tanam bagi konsumen. Namun pada kenyataannya sistem distribusi sering mengalami gangguan antara yang paling umum adalah hubung singkat satu fase ke ground. Oleh karena itu, analisis hubungan arus pendek diperlukan untuk mengetahui pengaturan sistem proteksi yang andal untuk melokalisasi gangguan tersebut. Sistem proteksi peralatan yang digunakan untuk sistem distribusi tenaga medium lebih banyak relay arus dan relay circuit ground, fungsi relay PMT diinstruksikan untuk membuka acara gangguan, sehingga jaringan yang terkena dapat dipisahkan dari jaringan. Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang analisis hubung singkat fase tunggal ke ground yang kemudian digunakan untuk penentuan setting proteksi proteksi pada sistem distribusi tenaga sekunder PT.PLN Sebatik.

Kata Kunci—Sistem distribusi, sirkuit pendek satu fasa ke ground, pengaturan relay

I. PENDAHULUAN

Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem Proteksi yang tepat pada Sistem Tenaga Listrik dapat ditentukan. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam

sistem tenaga listrik. Berdasarkan kesimetrisannya, gangguan terdiri dari gangguan simetris dan asimetris. Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan arus hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah, dan tingkat tegangan busbar selama gangguan pada PT. PLN Sebatik untuk menentukan setelan relai arus lebih dan relai hubung tanah, agar dapat menjadi bahan pertimbangan bagi PT.PLN Sebatik untuk memperbaiki kinerja sistem proteksi agar dapat menjaga kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

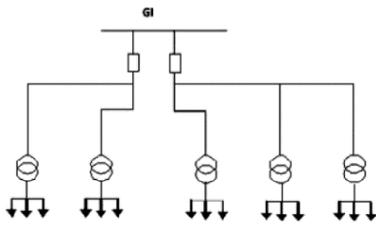
Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dari ketiga sistem tersebut, sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen, fungsinya adalah menyalurkan energi listrik dari distribusi ke konsumen. Adapun bagian-bagian dari sistem distribusi tenaga listrik adalah distribusi, jaringan primer/jaringan tegangan menengah (JTM), transformator distribusi, jaringan sekunder/jaringan tegangan rendah (JTR).

B. Sistem Distribusi 20 kV

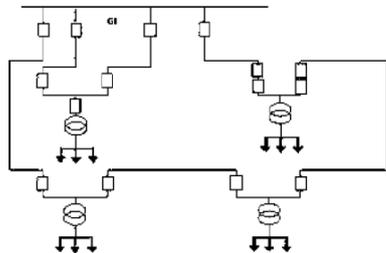
Keluaran dari trafo daya dikumpulkan dulu pada Bus 20 KV di kubikel Gardu Induk untuk kemudian di distribusikan melalui beberapa penyulang 20 KV ke konsumen dengan jaringan berupa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) atau Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). Bila terjadi gangguan itu biasanya pada sambungan yang akan merupakan gangguan permanen.

C. Klasifikasi Sistem Jaringan Distribusi

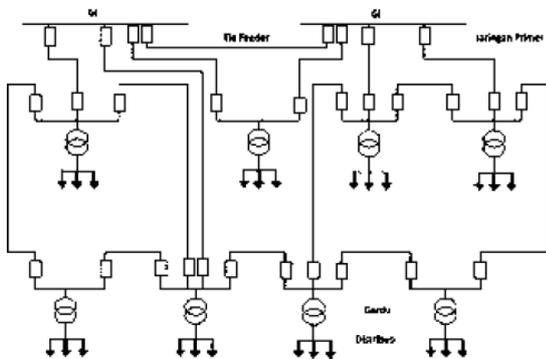
Jaringan distribusi dikategorikan kedalam beberapa jenis, Tegangan pengenalnya dan Konfigurasi jaringan primer. Dalam konfigurasi jaringan primer ada beberapa bagian yaitu Jaringan Distribusi Pola Radial, Jaringan Distribusi Pola loop, Jaringan Distribusi Pola Grid, Jaringan Distribusi Pola Spindel



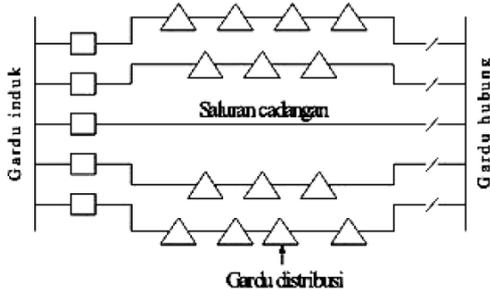
Gambar 1. Jaringan Distribusi Pola Radial



Gambar 2. Jaringan Distribusi Pola Loop



Gambar 3. Jaringan Distribusi Pola Grid



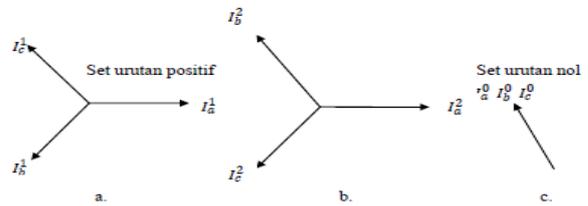
Gambar 4. Jaringan Distribusi Pola Spindel

D. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam (Tegangan lebih dan arus tak normal) maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi. Ada dua jenis gangguan berdasarkan lama waktunya yaitu gangguan permanen dan gangguan temporer. Gangguan juga dapat dibedakan berdasarkan kesimetrisan yaitu simetri dan tidak simetri.

E. Komponen Simetris

Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol.



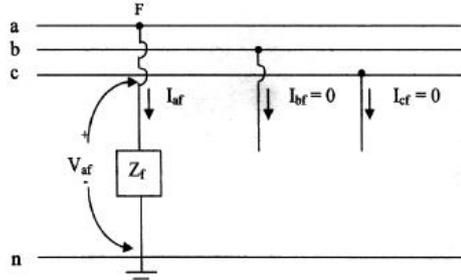
Gambar 5. Representasi komponen simetris

Dengan aturan arah putaran fasor berlawanan dengan arah jarum jam, ketiga fasor dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned}
 I_a 1 &= I_a 1 \angle 0^\circ = I_a 1 \\
 I_b 1 &= I_a 1 \angle 240^\circ = a^2 I_a 1 \\
 I_c 1 &= I_a 1 \angle 120^\circ = a I_a 1
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

F. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena *flashover* antara penghantar fasa dan tanah (tiang *travers* atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. Pada gangguan yang tembusnya adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh relai pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa.



Gambar 6. Gangguan satu fasa ke tanah

Kondisi terminalnya sebagai berikut :

$$I_b = 0 ; I_c = 0 ; V_{af} = I_a \cdot Z_f ; V = 0
 \tag{2}$$

Untuk persamaan arus yang digunakan diperoleh dari komponen simetris arus :

$$\begin{aligned}
 I_{a0} &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} I_a \\
 I_{a1} &= \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) = \frac{1}{3} I_a \\
 I_{a2} &= \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) = \frac{1}{3} I_a
 \end{aligned}$$

Jadi,

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a
 \tag{3}$$

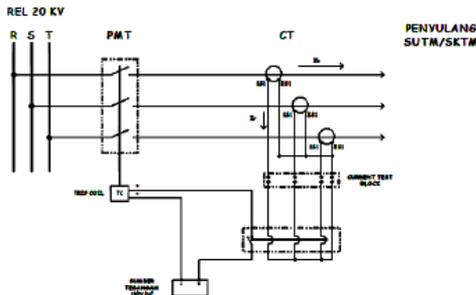
G. ETAP Power Station

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relai proteksi dan sistem harmonisasi. Pada sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan.

ETAP Power Station juga menyediakan fasilitas *library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP Power Station adalah *One Line Diagram*, *Library*, *Standar yang dipakai*, *Study Case*.

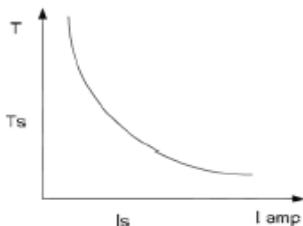
H. Relai Arus Lebih/*Overcurrent Relay* (OCR)

Prinsip kerja relay OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relay, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 7. Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR)

Relai arus lebih merupakan relai pengamanan yang bekerja karena adanya besaran arus relai ini terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada transformator tenaga.



Gambar 8. Karakteristik Waktu Terbalik

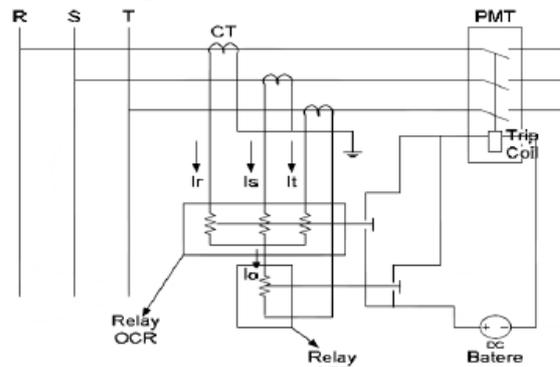
Relai arus lebih memiliki setelan *pick up* dan setelan *time dial* (waktu kerja relai). *Pick up* didefinisikan

sebagai nilai arus minimum yang menyebabkan relai bekerja (*Iset*). *Overcurrent Relay*. Pada dasarnya batas penyetelan relai arus lebih relai tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus settingnya harus lebih besar dari arus beban maksimumnya. Arus penyetelannya pun harus memperhatikan kesalahan *pick up* sesuai dengan *British Standard Pick Up*.

$$I_{set\ primer} = IP = 1,05 \times I_{nominal}$$

$$I_{set\ sekunder} = IP \times 1Ratio\ CT \tag{4}$$

I. Relai Hubung Tanah/*Ground Fault Relay* (GFR)



Gambar 9. Rangkaian Pengawatan Relai GFR

Prinsip kerja GFR adalah pada kondisi normal beban seimbang *Ir, Is, It* sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay hubung tanah akan bekerja.

Relai hubung tanah merupakan relai pengamanan yang bekerja karena adanya besar arus yang terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah, juga pada pengamanan transformator tenaga. Penyetelan relay GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga.

III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini lokasi yang diambil yaitu di PT. PLN (Persero) Sebatik Cabang Berau Kabupaten Nunukan. Penulis juga mengumpulkan data dari PT.PLN sebatik berupa data generator, data Transformator, data Kawat Penghantar, data Beban dan data Bus. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah Diagram segaris (*single line diagram*) PT.PLN Sebatik, Data Busbar, Data pembangkit Data transformator, Data saluran penghantar, Data beban puncak PT.PLN Sebatik.

Dalam pengolahan data dilakukan beberapa tahap yaitu pengambilan data, membuat diagram segaris, memasukkan parameter kelistrikan kedalam tampilan perangkat *editor ETAP Power Station 12.6.0*, memasukkan simulasi aliran daya, melakukan simulasi arus hubung singkat satu fasa ketanah pada *software ETAP Power Station 12.6.0* dan menganalisis hasil simulasi arus hubung singkat satu fase pada *software ETAP Power Station 12.6.0* pada bus yang di tentukan. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah

perangkat keras laptop dan *software* ETAP Power station 12.6.0.

Data Parameter Kelistrikan, Data beban, data pembangkit, Data Transformator :

A. Data-Data Pembangkit Tenaga Listrik PT.PLN Sebatik

Tabel I
Data Pembangkit yang Beroperasi

No.	Nama Generator	Jumlah	Daya Output (kW)	AS Output Hasil Perhitungan	AQ Output Hasil Perhitungan
1	DEUTZ MWM	1	290	341,1764706	177,4117647
2	DEUTZ MWM	1	310	364,7058824	189,6470588
3	MAN D2842	1	300	352,9411765	183,5294118
4	MAN D2842	1	290	341,1764706	177,4117647
5	MAN D2842	1	300	352,9411765	183,5294118
6	MAN D2842	1	310	364,7058824	701,3574661
7	MAN D2842	1	0	0	0
8	PLTS	1	0	0	0
9	PLTMG	1	0	0	0
Total		9		2117,647059	1612,8878

$$\cos \varphi = 0,85$$

$$\sin \varphi = 0,52$$

Nilai daya kompleks dan daya reaktif dipengaruhi oleh besarnya nilai $\cos \varphi$, daya Kompleks (S) dihitung dengan persamaan:

$$S = P \cdot \cos \varphi$$

B. Data Beban Tiap Penyulang

Tabel II
Data Beban Tiap Penyulang PT.PLN Sebatik

No.	Feeder	Daya Output (kW)	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAR)
1	1	574	675,2941176	351,1529412
2	2	678	797,6470588	414,7764706
3	3	568	668,2352941	347,4823529
Jumlah		1820	2141,176471	1113,411765

C. Data Kabel Tiap-tiap Penyulang PT.PLN Sebatik

Tabel III
Data Kabel Tiap-tiap Penyulang PT.PLN Sebatik

No.	Penyulang	A3C					A3CS	Jumlah (KMS)
		50mm ²	70mm ²	95mm ²	120mm ²	150mm ²	240mm ²	
1	1	11,3 KMS	-	-	-	-	-	11,3
2	2	6,2	-	-	-	-	-	6,2

		KMS						
3	3	42,4 KMS	-	-	-	-	-	42,4
4	Feeder Express	-	-	-	-	43	-	43

Tabel IV
Data penghantar A3C (All Aluminium Alloy Conductor) (SPLN 64 1985)

Luas Penampang (mm)	Jari-Jari (mm)	Jumlah Urat	GM R (mm)	Impedansi	
				R (Ohm/km)	X (Ohm/km)
35	3,3371	7	2,4227	0,9217	0,379
50	3,9886	7	2,8957	0,6452	0,3678
70	4,7193	7	3,4262	0,4608	0,3572
95	5,4979	19	4,1674	0,3396	0,3449
120	6,1791	19	4,6837	0,2688	0,3376
150	6,9084	19	5,2365	0,2162	0,3305
185	7,6722	19	5,8155	0,1744	0,3239
240	8,7386	19	6,6238	0,1344	0,3158

D. Data Transformator (Trafo) Tenaga

Tabel V
Data Transformator Tenaga

No	Nama	Type	Kapasitas	Tegangan (kV)		Tegangan Toleransi %		
				Pri mar y	Secon dary	Tap	Pri mar y	Secon dary
1	Trafo Unindo	ST EP UP 01	630 kVA	0,4	20	2 x 2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%
2	Trafo Unindo	ST EP UP 02	630 kVA	0,4	20	2 x 2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%
3	Trafo Unindo	ST EP UP 03	630 kVA	0,4	20	2 x 2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%
4	Trafo Unindo	ST EP UP 04	630 kVA	0,4	20	2 x 2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%
5	Trafo	ST EP	630 kVA	0,4	20	2 x	± 5%, ± 5%	± 5%, ± 5%

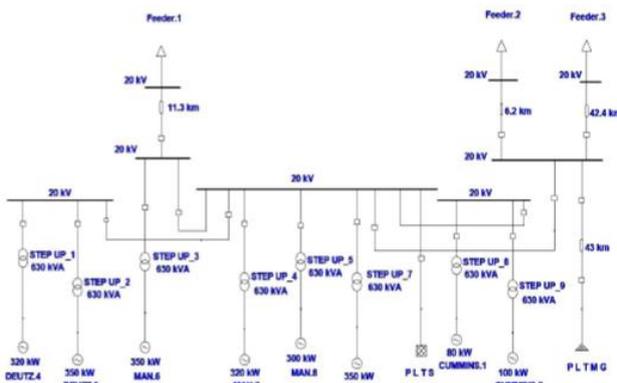
No	Nama	Type	Kapasitas	Tegangan (kV)		Tegangan Toleransi %		
				Pri mar y	Sec on dary	Tap	Pri mar y	Sec on dary
	Unindo	UP 05				2,5	5%, ± 10%	± 5%
6	Trafo Unindo	STEP UP 06	630 kVA	0,4	20	2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%
7	Trafo Unindo	STEP UP 07	630 kVA	0,4	20	2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%
8	Trafo Unindo	STEP UP 08	630 kVA	0,4	20	2,5	± 5%, ± 10%	± 5%, ± 5%

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Tenaga Listrik PT.PLN Sebatik

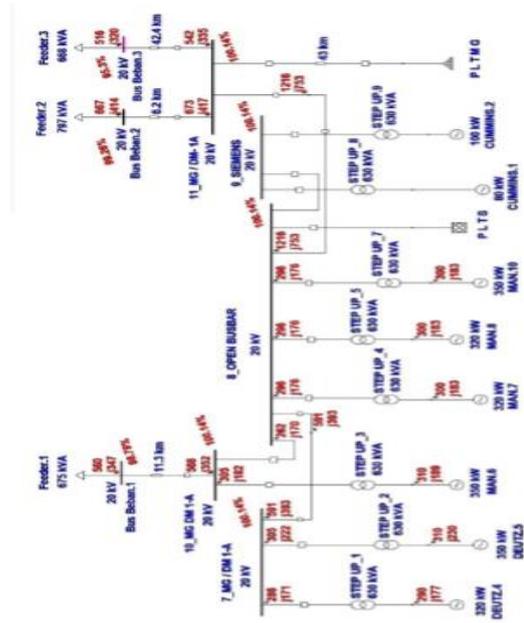
Penyaluran system tenaga listrik PT. PLN (Persero) Sebatik cabang berau ke beban listrik dengan mengoperasikan pembangkit listrik secara paralel. Sistem paralel digunakan agar daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit sesuai dengan beban listrik yang ada. Daya listrik yang disalurkan ke beban listrik melalui penyulang (feeder). Sistem tenaga Listrik PT. PLN (Persero) Sebatik cabang berau dibagi dalam 3 penyul sudut Total daya yang dibangkitkan dari semua pembangkit yang beroperasi di PT. PLN (Persero) Sebatik cabang Berau saat ini yaitu 2170 kW. Cosφ pada PT.PLN (Persero) Sebatik cabang Berau adalah 0.85 dan Sinφ 0.52.

B. Pemodelan Sistem Tenaga Listrik



Gambar 10. Diagram segaris pabrik PT. PLN (Persero) Sebatik dalam ETAP 12.6.0

C. Simulasi Aliran Daya Software ETAP Power Station



Gambar 11. Aliran daya pada kondisi beban puncak

Tabel VI Loading/Beban bus kondisi beban puncak

BUS ID	kV	Load/Beban		Total BUS Load		
		MW	MVar	MVA	PF	Amp
1_Bus DEUTZ.5	0,4	0	0	0,386	80,3	557,5
2_Bus DEUTZ.4	0,4	0	0	0,34	85,4	492,1
3_Bus MAN.6	0,4	0	0	0,363	85,4	525,2
4_Bus MAN.7	0,4	0	0	0,351	85,4	508,6
5_Bus MAN.8	0,4	0	0	0,351	85,4	508,6
6_Bus MAN.10	0,4	0	0	0,351	85,4	508,6
7_MG / DM 1-A	20	0	0	0,710	83,3	20,5
8_Open BUSBAR	20	0	0	1,742	84,8	50,2
9_SIEMENS	20	0	0	0	0	0
10_MG / DM 1-A	20	0	0	0,668	85	19,2
11_MG / DM 1-A	20	0	0	1,430	85	41,2
12_Bus MG.2	20	0	0	0,710	83,3	20,5
13 Bus MG	20	0	0	1,430	85	42,1
Bus Beban.1	20	0,560	0,347	0,659	85	19,2
Bus Beban.2	20	0,667	0,414	0,785	85	22,8
Bus Beban.3	20	0,516	0,32	0,607	85	18,4

D. Simulasi Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Setelah melakukan simulasi aliran daya kemudian dilakukan simulasi hubung singkat pada masing-masing bus. Untuk gangguan ini dapat dianggap fasa a mengalami gangguan. Kondisi terminal pada saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah adalah tegangan pada fasa yang mengalami gangguan sama dengan nol ($V_a=0$), arus pada fasa b dan fasa c sama

dengan 0 ($I_a = I_b = 0$). Masing-masing arus urutan sama besarnya $I_1 = I_2 = I_0$ dan arus urutannya sama dengan $1/3$ arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah ($1/3I_a$).

E. Setelan Relai Arus Lebih

Untuk setelan relai arus lebih yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk relai invers biasanya diset sebesar 1,05 sampai dengan $1,1 \times I$ beban, sedangkan untuk relai *definitive* diset sebesar 1,2 sampai dengan $1,3 \times I$ beban. Nilai arus tersebut merupakan nilai setelan pada sisi primer, yang akan disetkan pada relai adalah nilai sekundernya. Oleh karena itu dihitung menggunakan rasio terafo arus yang terpasang pada penyul sudut.

F. Setelan Relai Hubung Tanah

Untuk setelan arus di penyulang menggunakan pedoman yaitu setelan arus gangguan tanah di penyulang diset $10\% \times$ arus gangguan tanah terkecil penyulang tersebut.

V. KESIMPULAN

Besar arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada penyulang 1 = 313 A, penyulang 2 = 363A, penyulang 3 = 165A

1. Setelan relai arus lebih pada penyulang 1
Iset primer = 20,6A
Iset sekunder = 1A
2. Setelan relai arus lebih pada penyulang 2 Iset primer = 23,9A
Iset sekunder = 1,2A
3. Setelan relai arus lebih pada penyulang 3
Iset primer = 19,3A
Iset sekunder = 0,6A
4. Setelan relai hubung tanah pada penyulang 1
Iset primer = 31,3 A
Iset sekunder = 1,6A
5. Setelan relai hubung tanah pada penyulang 2
Iset primer = 36.3A
Iset sekunder = 1.8A
6. Setelan relai hubung tanah pada penyulang 3
Iset primer = 16.5A
Iset sekunder = 0.8A

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada segenap pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah berkontribusi baik terhadap proses penyusunan tulisan ini maupun dalam proses publikasinya. Terima kasih kepada para autor yang naskahnya penulis jadikan sebagai referensi.

REFERENSI

- [1] Affandi Irfan, Juni 2009, "Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa Di GI Cawang" Universitas Indonesia, Depok
- [2] Amira, Juli 2014, "Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Pada SUTT 150 KV Untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP – PAUH LIMO)". Volume 3 No. 2, hal 96-97, 24 maret 2015
- [3] Cekmas Cekdin, (2006). *Sistem Tenaga Listrik*. Palembang : Penerbit Andi Yogyakarta.

- [4] Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. (2013). *Transmisi Daya Listrik* Palembang : Penerbit Andi Yogyakarta.
- [5] Hidayat, Ade Wahyu, September 2013, "Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung ".Volume 7, No. 3, hal 109, 22 april 2015
- [6] Kadarisma Pribadi, sarimun Wahyu.N, "Koordinasi OCR Dan GFR pada Jaringan Distribusi" : PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Jasa Pelatihan Jakarta.
- [7] Yoyok Triyono, Ontoseno Panangsang, jamsjul Alam, 2013,"Analisis Studi Rele Pengaman (*Over Current Relay Dan Ground Fault Relay*) pada Pemakaian Distribusi Sendiri dari PLTU Rembang" volume 2 No.2, hal 160, 4 oktober 2015, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

PEMODELAN DAN SIMULASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* MENGGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* PADA APLIKASI FOTOVOLTAIK DENGAN KONVERTER CUK

Abil Huda

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Kaltara, Indonesia

e-mail: abil@engineer.com

Abstract—Fossil fuels have a finite number such as coal and petroleum. It encourages the development of renewable energy as an alternative energy source powerhouse. PV maximum power is controlled using MPPT method for improving the performance of PV. Research conducted on the application method MPPT PV system using Cuk converter. This was done by various methods MPPT. This study uses Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) as MPPT to track the maximum power point. Analysis and simulation of the proposed system has been carried out. PV can generate maximum power with irradiation and temperature variations both in static conditions. ANFIS can work well as an MPPT control on the PV system against irradiation and temperature changes in static conditions. Accuracy of PV power on the condition of irradiation and temperature variation are above 90%.

Keywords— MPPT, ANFIS, Konverter Cuk, PV

Intisari—Penelitian ini menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam pemodelan Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk mengontrol konverter Cuk sehingga fotovoltaik (PV) menghasilkan daya maksimum. Sistem ini menggunakan Fotovoltaik 200 W dan konverter Cuk dengan desain teganganterhubung beban. Dari hasil penelitian, PV dapat menghasilkan daya maksimum dengan variasi iradiasi dan temperatur pada kondisi statis. ANFIS dapat bekerja dengan baik dalam menjejak titik daya maksimum atau sebagai kontrol MPPT pada sistem PV terhadap perubahan iradiasi dan temperatur dalam kondisi statis. Akurasi daya PV terhadap daya maksimum pada kondisi variasi iradiasi dan temperatur berada di atas 90%.

Kata Kunci— MPPT, ANFIS, Konverter Cuk, PV

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan jumlah masyarakat di suatu daerah yang mengakibatkan bertambahnya jumlah infrastruktur seperti bangunan tempat tinggal, kantor-kantor, sekolah, rumah sakit dan bangunan sosial lainnya. Berkembangnya jumlah infrastruktur menyebabkan konsumen listrik semakin meningkat. Sehingga diperlukan penambahan energi listrik.

Saat ini bahan bakar fosil berupa minyak bumi dan batu-bara masih menjadi sumber energi yang paling banyak digunakan dalam proses pembangkitan tenaga listrik. Bahan bakar fosil tersebut tidak dapat diperbarui dan jumlahnya semakin menipis seiring dengan berjalannya waktu. Karena kebutuhan energi listrik

semakin hari semakin meningkat, sumber energi alternatif terutama sumber energi terbarukan menjadi semakin dibutuhkan [1].

Salah satu sumber energi terbarukan adalah Photovoltaic (PV) yang memanfaatkan energi cahaya matahari. Sumber energi ini memiliki kelebihan yaitu bersih dan tersedia di alam dalam jumlah yang melimpah [2].

Permasalahan dalam penggunaan PV saat ini adalah efisiensinya yang masih rendah dengan biaya yang tinggi. Kebutuhan penggunaan PV yang semakin meningkat mendorong berbagai penelitian mengenai peningkatan efisiensi pada sistem PV. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem PV. Pertama adalah material PV. Kedua adalah efisiensi konverter dan efisiensi algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [3].

PV dapat memberikan daya output sesuai dengan kapasitas. Kapasitas daya output maksimal PV dapat dihasilkan dengan penggunaan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Cuk *converter* adalah konverter DC-DC pengembangan dari konverter Buckboost. Konverter ini dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Komponen rangkaian konverter Cuk terdiri dari sebuah switch, sebuah dioda, dua induktor dan dua kapasitor. Dibandingkan dengan konverter buckboost, Cuk *converter* mempunyai arus input dan output yang kontinu. Sehingga *ripple* yang dihasilkan juga kecil [4].

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan metode yang menggunakan jaring syaraf tiruan (*Neural Network*) untuk mengimplementasikan *Fuzzy Inference System* (FIS) atau sistem inferensi *fuzzy*. Keunggulan sistem inferensi *fuzzy* adalah dapat menerjemahkan pengetahuan dari pakar dalam bentuk aturan-aturan, namun biasanya dibutuhkan waktu yang lama untuk menetapkan fungsi keanggotaannya. Oleh sebab itu dibutuhkan teknik pembelajaran dari jaringan syaraf tiruan untuk mengotomatisasi proses tersebut sehingga dapat mengurangi waktu pencarian, hal tersebut menyebabkan metode ANFIS sangat baik untuk diterapkan pada MPPT [5].

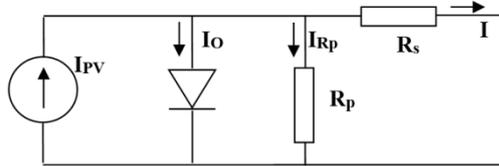
Penelitian ini menggunakan metode ANFIS sebagai MPPT yang mengontrol Cuk *converter* untuk aplikasi sistem PV.

II. LANDASAN TEORI

A. PV

PV mempunyai kemampuan untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Energi cahaya membangkitkan tegangan PV. PV yang terhubung beban akan menyebabkan arus PV mengalir.

PV mempunyai karakteristik tegangan (V) dan arus (I) yang nilainya berdasarkan iradiasi dan temperatur. Kurva I-V dapat menunjukkan titik daya maksimum. Kurva I-V didapatkan berdasarkan 2 kondisi yaitu *short circuit* dan *open circuit*. Ketika kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Pemodelan rangkaian ekivalen PV adalah sebuah sumber arus yang terpasang paralel dengan sebuah diode seperti ditunjukkan pada gambar 1. Besar arus output dari suatu PV berbanding lurus dengan besar iradiasi cahaya matahari yang diterima oleh PV.



Gambar 1. Pemodelan Sistem

Karakteristik PV didapatkan menggunakan persamaan (1). [5]

$$I = I_{pv} - I_o \left[e^{\left(\frac{V + IR_s}{N_s k T / q} \right)} - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- I = arus output PV (A).
- I_{pv} = arus yang terbangkit pada PV (A).
- I_o = arus saturasi dioda.(A)
- N_s = jumlah cell terhubung seri.
- k = konstanta Boltzman (j/K).
- T = temperatur (K)
- q = muatan elektron = 1.6×10^{-19} (Coloumb).
- R_s = tahanan seri (Ohm).
- R_p = tahanan paralel (Ohm).
- V = tegangan output PV (V).

Karakteristik I-V PV diobservasi bahwa nilai R_s mendominasi tegangan operasi PV sedangkan nilai R_p mendominasi arus operasi PV. Ketika nilai tahanan paralel R_p tinggi, maka arus yang melaluitahanan paralel R_p dapat di abaikan.

Iradiasi matahari berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan PV dan juga dipengaruhi oleh temperatur diberikan pada persamaan (2).Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H. (2013)

$$I_{pv} = [I_{pv,n} + K_I \Delta T] \frac{G}{G_n} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- I_{pv} = arus pada kondisi nominal ($25^{\circ}C$ dan 1000 W/m^2)
- ΔT = $T - T_n$
- T = temperatur aktual (K).
- T_n = temperatur nominal (K).
- K_I = koefisien arus.
- G = iradiasi aktual (W/m^2).
- G_n = iradiasi nominal (W/m^2).

Koefisien arus K_I dan tegangan K_V dimasukkan sebagaimana yang ditunjukkan dalam persamaan (3) untuk mendapatkan arus saturasi I_o yang dipengaruhi langsung oleh temperatur.Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H. (2013)

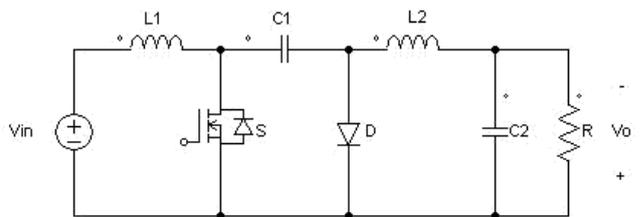
$$I_o = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{e^{\left(\frac{V_{oc,n} + K_V \Delta T}{a V_T} \right)} - 1} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- I_o = arus saturasi (A)
- $I_{sc,n}$ = arus hubung singkat (A)
- $V_{oc,n}$ = tegangan hubung terbuka (V)
- K_I = koefisien arus.
- K_V = koefisien tegangan.
- ΔT = $T - T_n$ (1.1)
- T = temperatur aktual (K).
- T_n = temperatur nominal (K).
- $V_T = N_s k T / q$

B. Konverter Cuk

Konverter Cuk adalah converter DC-DC pengembangan dari converter BuckBoost. Konverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan masukkan dengan polaritas terbalik serta mempunyai arus masukkan dan keluaran yang kontinu. Maysa, F. & Sbita, L. (2012).



Gambar 2. Rangkaian Konverter Cuk

Konverter cuk digunakan untuk menaikkan tegangan PV dan menyalurkan daya maksimum. Hubungan antara tegangan masukkan dan tegangan keluaran diberikan pada

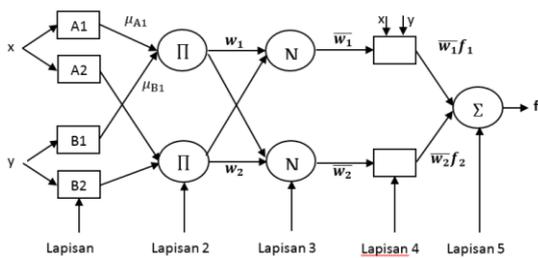
persamaan (4). Mayssa, F. & Sbita, L. (2012).

$$V_o = -\frac{D}{1-D} V_{in} \dots \dots \dots (4)$$

D adalah duty cycle yang bernilai antara 0 sampai 1. Duty cycle yang bernilai 0 - 0,49 akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan. Duty cycle yang bernilai 0,5 - 1 akan menghasilkan tegangan yang lebih besar dari tegangan masukan.

C. ANFIS

Metode ANFIS memiliki struktur yang terdiri dari 5 layer yang masing-masing layernya mempunyai fungsi yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. berikut:



Gambar 3. Struktur ANFIS

Lapisan 1: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter yang dapat berubah) dengan fungsi simpul:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \text{ atau } \dots \dots \dots (5)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4 \dots \dots \dots (6)$$

Lapisan 2: Setiap simpul pada lapisan ini adalah nonadaptif (parameter tetap). Fungsi simpul ini adalah mengalikan setiap sinyal masukan yang datang. Fungsi simpul:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \dots \dots \dots (7)$$

Lapisan 3: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu rasio output simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh output lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \dots \dots \dots (8)$$

Lapisan 4: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul:

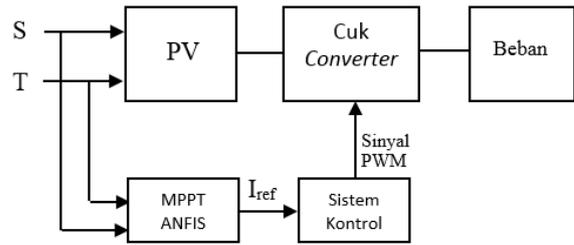
$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i = 1, 2 \dots \dots (9)$$

Lapisan 5: Pada lapisan ini hanya ada satu simpul tetap yang fungsinya untuk menjumlahkan semua masukan. Fungsi simpul:

$$O_{5,1} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \dots \dots \dots (10)$$

III. METODE PENELITIAN

Sistem terdiri dari PV, konverter cuk dan kontrol MPPT.



Gambar 4. Pemodelan Sistem

Tabel I
Parameter PV KC200GT

No.	Parameter	Nilai
1.	Impp	7,7 A
2.	Vmpp	25,98 V
3.	Pmax	200 W
4.	Isc	8,21 A
5.	Voc	32,9 V
6.	Rp	415,405 Ω
7.	Rs	0,00684 Ω

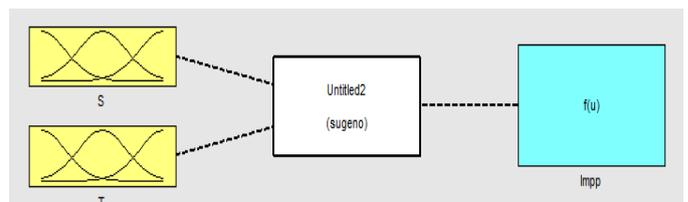
Tabel II
Parameter Konverter Cuk

No.	Parameter	Nilai
1.	Vi	25,98 V
2.	Vo	-220 V
3.	L1	0,003 H
4.	L2	0,026 H
5.	C1	3,695 μF
6.	C2	0,026 μF

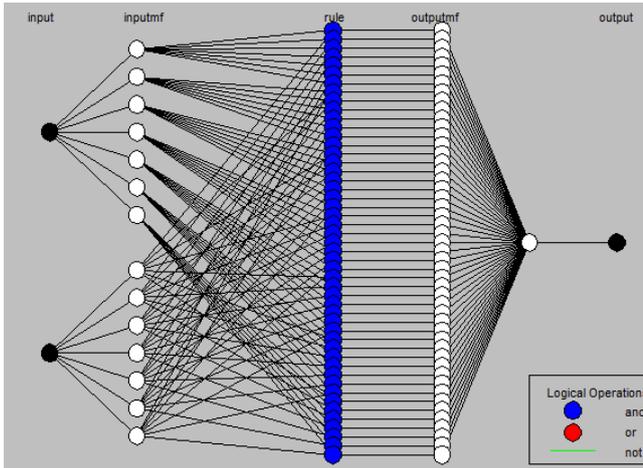
Kontrol MPPT ANFIS

MPPT adalah metode menjejak titik daya maksimum disetiap kondisi iradiasi matahari dan temperatur. Keluaran ANFIS adalah arus referensi Impp (*maximum power point*) yang merupakan arus pada titik daya maksimum. Impp akan dieksekusi oleh cuk converter untuk memastikan PV membangkitkan arus yang sama dengan arus referensi yang dihasilkan oleh ANFIS. Jika PV membangkitkan arus di Impp, maka PV akan menghasilkan daya maksimum.

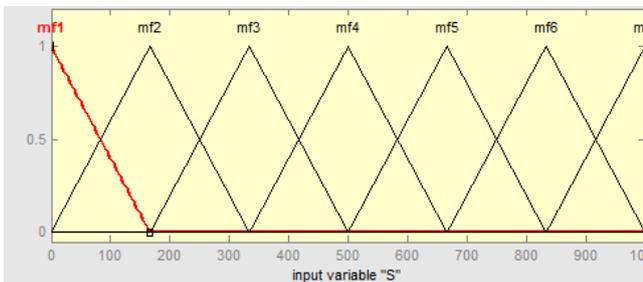
Masukkan ANFIS adalah iradiasi matahari dan temperatur. Keluaran adalah arus referensi berupa Impp. Struktur ANFIS terdiri dari dua masukan dengan 7 fungsi keanggotaan segitiga, 49 rule dan 1 keluaran.



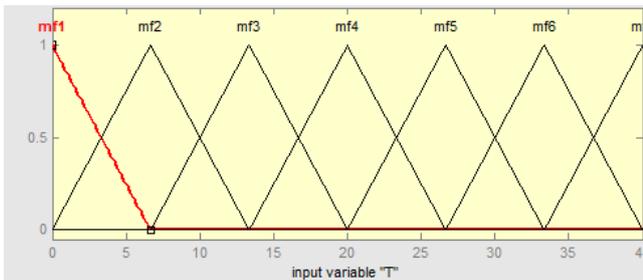
Gambar 5. Sistem Inferensi Fuzzy



Gambar 6.. Struktur ANFIS



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Iradiasi Matahari



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Temperatur

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan sistem seperti gambar 4. telah dicoba. Input PV dicoba dalam kondisi statis dengan variasi iradiasi dan temperatur. Kondisi variasi iradiasi dimulai dari 1000 W/m², 800 W/m², 600 W/m², sampai dengan 400 W/m². Kondisi variasi Temperatur dimulai dari 10°C, 25°C, sampai dengan 40°C.

Kondisi Statis variasi Iradiasi temperatur 25°C

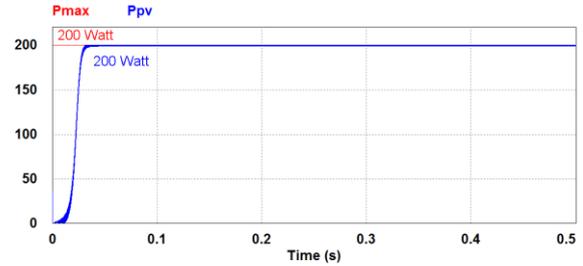
Gambar 9. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 1000 W/m² sebesar 200 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 1000 W/m² sebesar 200 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

Gambar 10. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 800 W/m² sebesar 161 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 800 W/m² sebesar 159,7 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

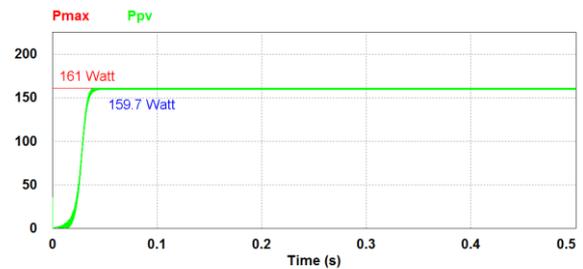
Gambar 11. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 600 W/m² sebesar 121 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 600 W/m² sebesar 121

Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

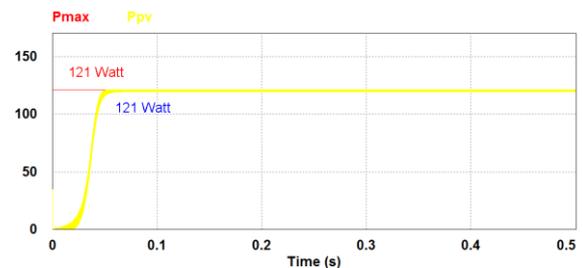
Gambar 12. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 400 W/m² sebesar 80 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 400 W/m² sebesar 79 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.



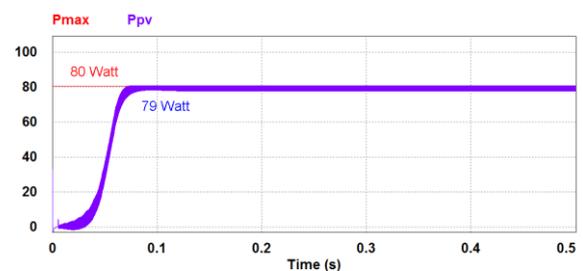
Gambar 9. Daya PV iradiasi 1000 W/m²



Gambar 10. Daya PV iradiasi 800 W/m²



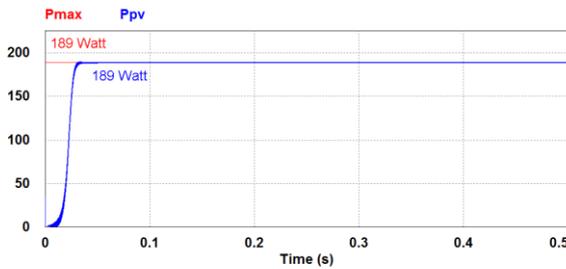
Gambar 11. Daya PV iradiasi 600 W/m²



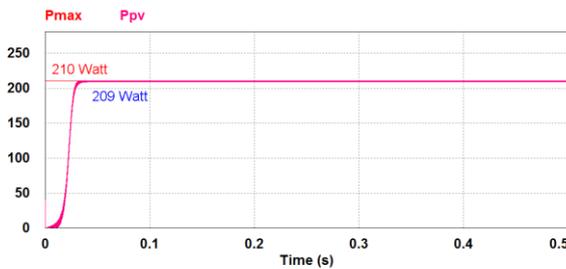
Gambar 12. Daya PV iradiasi 400 W/m²

Gambar 9. sampai 12. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) mendekati daya maksimum (Pmax). Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS memiliki respon yang baik dalam menjejak titik daya maksimum diberbagai kondisi iradiasi yang berbeda-beda.

Kondisi Statis Iradiasi 1000 W/m² variasi temperatur



Gambar 13. Daya PV Temperatur 40°C



Gambar 14. Daya PV Temperatur 10°C

Gambar 13 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (P_{pv}) ketika temperatur 40°C sebesar 189 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 40°C sebesar 189 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

Gambar 14 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (P_{pv}) ketika temperatur 10°C sebesar 210 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 10°C sebesar 209 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

Gambar 13 sampai 14 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (P_{pv}) mendekati daya maksimum (P_{max}). Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS memiliki respon yang baik dalam menjejak titik daya maksimum diberbagai kondisi temperatur yang berbeda-beda.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi, maka diambil beberapa kesimpulan diantaranya PV menghasilkan daya maksimum dengan variasi iradiasi. PV menghasilkan daya maksimum dengan variasi temperatur. ANFIS mampu bekerja sebagai MPPT. Kontrol MPPT ANFIS memiliki respon yang baik dalam menjejak titik daya maksimum diberbagai kondisi iradiasi dan temperatur.

REFERENSI

- [1] Sankarganesh, R. & Thangvel, S. 2012, *Maximum Power Point Tracking in PV System using Intelligence based P&O Technique and Hybrid Cuk Converter*, 2012-International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology. pp. 429-436.
- [2] Soedibyo, Priananda, C. W. & Haikal, M. A., *Maximum Power Point Tracking Using Root Finding Modified Bisection Algorithm*, International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), pp. 394-399.
- [3] Devi, M. L. & Chilambarasan, M. 2013, *Design and Simulation of Incremental Conductance MPPT Using Self*

- Lift Cuk Converter*, 2013 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy [ICRESE' 13].
- [4] Sahu, T. P. & Dixit, T.V. 2012, *Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter*, 2012 IEEE Student's Conference on Electrical, Electronics and Computer Science. pp. 1-6.
- [5] Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H. 2013, *Maximum Power Point Tracker Control for Photovoltaic System Using Adaptive Neuro-Fuzzy "ANFIS"*, 2013 Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), IEEE.

Alamat Redaksi
Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan
Gedung D Lt. 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan
Jl. Amal Lama No. 1 Tarakan 77123

