



**ANALISIS MINIMALISASI PEMADAMAN DENGAN CARA
SISTEM *HOT LINE MAINTENANCE* PADA JARINGAN
DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO)
AREA MEDAN**

**"Disusun Dan Dajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menempuh Ujian
Akhir Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Dari Fakultas Sains Dan
Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi"**
Medan

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : MARTONI SIMANJUNTAK
NPM : 1614210289
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2020**

**ANALISIS MINIMALISASI PEMADAMAN DENGAN CARA
SISTEM *HOT LINE MAINTENANCE* PADA JARINGAN
DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO)
AREA MEDAN**

**"Disusun Dan Dijukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menempuh Ujian
Akhir Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Dari Fakultas Sains Dan
Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi"
Medan**

SKRIPSI

OLEH:

NAMA : MARTONI SIMANJUNTAK
NPM : 1614210289
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

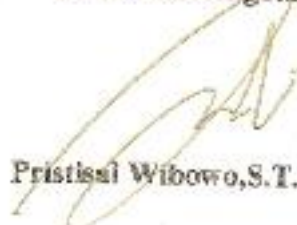
Diketahui dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I



Adisastra Pengalaman tarigan, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II



Pristisi Wibowo, S.T., M.T


Diketahui dan Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi



Hamdan, S.T., M.T

Ketua Program Studi



Siti Anisah, S.T., M.T

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Martoni Simanjuntak
NPM : 1614210289
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non exclusive Royalty-free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: "**Analisis Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt. Pln (Persero) Area Medan**" beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, Oktober 2020



Martoni Simanjuntak

NPM : 1614210289

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, Oktober 2020



1614210289



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30105057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : **MARTONI SIMANJUNTAK**
 NPM : **1614210289**
 Program Studi : **Teknik Elektro**
 Jenjang Pendidikan : **Strata Satu**
 Dosen Pembimbing : **Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T**
 Judul Skripsi : **Analisis Penyelamatan Energi Listrik dan Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi 20 kv PT. PLN (Persero) Area Medan**

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
Jun 2020	- lengkapi data yang sesungguhnya bukan dengan kata misal, lampirkan data hasil prode bulan Januari sd pebruari 2020 seperti dijelaskan pada bab 3. - pembahasan belum menjawab keseluruhan apa yang menjadi rumusan masalah seperti yang tertulis pada bab 1.	Revisi	
Jun 2020	pada bab 2 ditambahkan bahan pustaka yang berisi tentang bahan yang dikutip termasuk rumus-rumus yang akan digunakan pada bab 4. penambahan kutipan jurnal terkini berkaitan dengan penelitian yang dilakukan sehingga diperoleh data perbandingan yang relevan lengkapi dengan nomor halaman untuk mempermudah pengecekan perhatikan pada bab 4.3.1 terdapat kata persamaan 2.1 namun persamaan tersebut tidak dituliskan	Revisi	
Jun 2020	Perbaiki diagram air pada bab 3	Revisi	
Jun 2020	lanjut ke seminar hasil	Revisi	
Jun 2020	ACC seminar Hasil	Disetujui	
Juli 2020	perhatikan pada bab 3.2 tertulis penelitian dimulai Januari - pebruari 2019 perhatikan halaman 63 tertulis dari tabel dapat diketahui total Kwh dan Rp yang diselamatkan dalam 6 bulan penyelesaian... sinkronkan dengan jadwal penelitian di Bab. 3 sesudah halaman 63 dstnya tertulis 4 bulan..... sinkronkan dulu data yang diperoleh dari PLN apakah prode 2 Bulan atau 6 bulan.	Revisi	
Juli 2020	ACC sidang meja hijau	Disetujui	
28 September 2020	acc jilid	Disetujui	

Medan, 19 Oktober 2020
Dosen Pembimbing,

Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4.5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30108057 Fax. (061) 4514808
 MEDAN - INDONESIA
 Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

**LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : **MARTONI SIMANJUNTAK**
 NPM : **1614210288**
 Program Studi : **Teknik Elektro**
 Jenjang Pendidikan : **Strata Satu**
 Dosen Pembimbing : **Pristiasal Wibowo, ST., MT**
 Judul Skripsi : **Analisis Penyelamatan Energi Listrik dan Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi 20 kv PT. PLN (Persero) Area Medan**

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
Juni 2020	Revisi skripsi : A. Lembar pengesahan, Pak handani itu bukan dekan fakultas teknik. B. Abstrak sudah sesuai data perhitungan? Bukukan? C. Bab 2. Masih terdapat tulisan asing yang belum dimiringkan. Coba cek kembali panduan dan sesuaikan dengan tulisan..masih banyak yang berantakan. D. Bab 4. a. Flowchart diperbaiki b. Isi bab 3 alihkan diskusi ke doping 1. H. Bab 4. Analisis perhitungannya cuma seperti itu aja? Betul q bilang kmrn..ujung2 nya cuma menghitung saidi sma self..Gak seperti yang eq harapkan.. I. Lihat semua format tulisan pada masing-masing bab. Masih banyak yang berantakan tidak sesuai panduan.	Revisi	
Juni 2020	Kita bahas lebih lanjut di seminar hasil	Revisi	
Juni 2020	ACC SEMINAR HASIL	Disetujui	
Juni 2020	ACC SEMINAR HASIL	Disetujui	
Juli 2020	Pahami konsep him	Revisi	
Juli 2020	Pahami saidi, saifi yang di maksud. Datanya disesuaikan dan konsisten dalam menganalisis	Revisi	
Juli 2020	Kuatkan pembahasan tentang analisis jaringan dengan sistem HLM (Hot Line Maintenance)	Revisi	
Juli 2020	ACC SIDANG MEJA HIJAU	Disetujui	
Oktober 2020	Perbaiki lembar pengesahan dan kata pengantar, dekan program studi diganti menjadi Dekan Fakultas Sains dan Teknologi	Revisi	
Oktober 2020	Perbaiki daftar pustaka. Lihat panduan. Masih ada kutipan yang belum sesuai format	Revisi	
Oktober 2020	ACC JILID	Disetujui	

Medan, 19 Oktober 2020
 Dosen Pembimbing,



Pristiasal Wibowo, ST., MT

Plagiarism Detector v. 1450 - Originality Report 07/27/20 12:28:57

Analyzed document: MARTON SIMANJUNTAK_1614210289_TEKNIK ELEKTRO.docx
User's full name: Universitas Pembangunan Panca Budi_License03
Comparison Preset: Rewrite, Detected language: Indonesian

Prepared chart



Discarded graph



Top Sources of Plagiarism

- widac** <http://www.kalidewa.com> **widac** <http://www.kalidewa.com>
 - widac** <http://www.kalidewa.com> **widac** <http://www.kalidewa.com>
 - widac** <http://www.kalidewa.com> **widac** <http://www.kalidewa.com>
- [Show other Sources.]

Flagged references analysis

51 - OK 79 - Failed

[Show other Sources.]

Dengan ini saya Ka.LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

VB: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.

Ka.L.PMU



Cahyo Pramono, SE.,MM



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
LABORATORIUM ELEKTRO
Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Sei Sikambing Telp. 081-8455571
Medan - 20122

KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 1331/BL/LAKO/2020

bertanda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : MARTONI SIMANJUNTAK
NPM : 1614210289
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

dan telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 19 Oktober 2020
Ka. Laboratorium

[Approve By System]
D T O
Hamdani, S.T., M.T.



Dokumen : FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 2553/PERP/BP/2020

Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan nama saudara/i:

Nama : MARTONI SIMANJUNTAK
NIM : 1614210289
Kelas/Semester : Akhir
Jurusan : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

sejak tanggal 27 Juli 2020, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku sekaligus lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 27 Juli 2020
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I

SURAT PERNYATAAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

- : MARTONI SIMANJUNTAK
- : 1614210289
- D/Tel. : PURBASINOMBA / 2 Maret 1997
- : Jln. Jend Gatot Subroto km 4,5 Selsikambang Medan
- : 081362560377
- Orang : Jumadi simanjuntak / Ospine perdede
- as : SAINS & TEKNOLOGI
- m : Teknik Elektro
- : Analisis Penyelamatan Energi Listrik dan Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi 20 kv PT. PLN (Persero) Area Medan

na dengan surat ini menyatakan dengan sebenar - benarnya bahwa data yang tertera diatas adalah sudah benar sesuai n Ijazah pada pendidikan terakhir yang saya jalani. Maka dengan ini saya tidak akan melakukan penuntutan kepada . Apabila ada kesalahan data pada ijazah saya.

anlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar - benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun dan dibuat keadaan sadar. Jika terjadi kesalahan, Maka saya bersedia bertanggung jawab atas kelalaian saya.

Medan, 19 Oktober 2020

MARTONI SIMANJUNTAK

1614210289

MARTONI SIMANJUNTAK
1614210289

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 19 Oktober 2020
Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
UNPAB Medan
Di -
Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MARTONI SIMANJUNTAK
Tempat/Tgl. Lahir : PURBASINGKINGA / 2 Maret 1997
Nama Orang Tua : Jumadi simanjuntak
N. P. /A : 1614210289
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Program Studi : Teknik Elektro
No. HP : 081362560377
Alamat : Jln. Jend. Gatot Subroto km 4,5 Seiaknembang Medan

yang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul Analisis Penyelamatan Energi Listrik dan Implementasi Pemadaman Dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi 20 kv PT. PLN (Persero) Area Medan, selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan Indeks prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercapai keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk Ijazah ukuran 4x6 - 5 lembar dan 3x4 - 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijiid lux 2 eksemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 eksemplar untuk penguji (bentuk dan warna pengijidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangi dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKDL (pada saat pengambilan Ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukkan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya yang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan rincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	650,000
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,500,000
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp.	100,000
4. [221] Bebas LAB	: Rp.	5,000
Total Biaya	: Rp.	2,255,000

Periode Wisuda Ke : **65**

Ukuran Toga : **M**

Diketahui/Disebuti oleh :

Hormat saya



Martoni, ST., MT
Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI



MARTONI SIMANJUNTAK
1614210289



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: MARTONI SIMANJUNTAK
Tempat/Tgl. Lahir	: PURBASINOMBA / 02 Maret 1997
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1614210289
Program Studi	: Teknik Elektro
Konsentrasi	: Teknik Energi Listrik
Jumlah Kredit yang telah dicapai	: 118 SKS, IPK 3,36
Nomor Hp	: 081362560377

Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut :

No.	Judul
1.	Analisis penyelamatan energi listrik dan minimalisasi pemadaman dengan cara sistem hot line maintenance pada jaringan distribusi 20 kv PT. PLN (Persero) Area Medan

Disetujui oleh Dosen Pembimbing I dan Pembimbing II :

Tanda Tangan Yang Tidak Perlu

(Ir. Bhakri Alamshah, M.T., Ph.D.)

Medan, 07 November 2019

(Martoni Simanjuntak)

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Dekan

 (Sri Simanungkalit, S.T., M.Sc.)

Tanggal : 15-11-2019
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing I :

 (Adisasstra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T.)

Tanggal : 15-11-2019
 Disetujui oleh :
 Ka. Prodi Teknik Elektro

 (Haridan, S.T., MT.)

Tanggal : 15-11-2019
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing II :

 (Pristia Rizki, S.T., MT.)



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Jend. GatotSubroto Km 4,5 ☎ 061-50200508 Medan - 20122
Email : fastech@pancabudi.ac.id <http://www.pancabudi.ac.id>

BERITA ACARA PERUBAHAN JUDUL SKRIPSI / TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Martoni Simanjuntak
N P M : 1614210289
Prodi : Teknik Elektro
Stambuk : 2016

Mengalami perubahan judul skripsi / tugas akhir sebagai berikut:

Judul Awal : Analisis Penyelamatan Energi Listrik dan Minimalisasi Pemadaman dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance pada Jaringan Distribusi 20 Kv di PT. PLN (Persero) Area Medan

Judul Perubahan : Analisis Minimalisasi Pemadaman dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance pada Jaringan Distribusi 20 Kv di PT. PLN (Persero) Area Medan

Alasan Perubahan : Analisis Perhitungan / Penjelasannya Terlalu Luas

Demikian berita acara perubahan judul/tugas akhir ini saya perbuat dengan sebenarnya,

Diketahui oleh,
R. Dekan


Hamdani, S.T., M.T

Medan, 04 Maret 2020
Pemohon,


Martoni Simanjuntak

**Analisis Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem
Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi
20 KV Di PT. PLN (Persero) Area Medan**

Martoni Simanjuntak*
Adisastra Pengalaman Tarigan**
Pristisal Wibowo**
Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Pemeliharaan dan perbaikan jaringan dengan sistem HLM (Hot line maintenance) di PT. PLN (persero) Area Medan dapat menyelamatkan kWh dan rupiah terselamatkan dari bulan januari sampai juni 2020. Dimana nilai kWh jual tertinggi pada bulan februari sebesar 501.667,36 bila di tafsirkan kedalam rupiah sebesar 629.090.872,87 sedangkan nilai terkecil pada bulan mei sebesar 354.864,40 bila dirupiahkan 444.999.450,15 dimana total keseluruhan kWh terselamatkan dalam enam bulan sebesar 2.578.900,75 jika di tafsirkan kedalam rupiah 3.233.941.027,79 dari 325 pekerjaan dengan total durasi pengerjaan 571 menit/pelanggan. Untuk nilai parameter keandalan saidi yang di dapat nilai tertinggi terdapat pada februari sebesar 55,521 menit /pelanggan, data dari PLN 56,708 tanpa HLM 113 menit /pelanggan. Untuk nilai terkecil terdapat pada bulan mei 20,315 data dari PLN 20,319 tanpa HLM 65 menit/pelanggan. Nilai rata-rata saidi dalam enam bulan sebesar 44,471 menit/pelanggan telah memenuhi target PT.PLN (persero area medan) di bawah 3 jam/pelanggan. Untuk nilai saifi angka tertinggi pada bulan juni sebesar 0,572 kali /pelanggan data dari PLN 0,575 tanpa HLM 1,572 nilai terkecil pada bulan mei sebesar 0,313 kali/pelanggan tanpa HLM 1,313 perolehan nilai rata-rata saifi dalam enam bulan sebesar 0,462 kali/pelanggan telah memenuhi target PLN (area medan) dibawah 1,0 kali/pelanggan.

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : simanjuntakmartoni6@gmail.com

** Dosen Pembimbing Program Studi Teknik Elektro

**Analisis Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem
Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi
20 KV Di PT. PLN (Persero) Area Medan**

Martoni Simanjuntak*
Adisastra Pengalaman Tarigan**
Pristisal Wibowo**
Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Maintenance and repair of networks with the HLM (Hot line maintenance) system at PT. PLN (Persero) Medan Area can save kWh and rupiah saved from January to June 2020. Where the highest selling kWh value in February is 501,667.36 when interpreted into rupiah amounting to 629,090,872.87 while the smallest value in May is 354,864 , 40 if converted to 444,999,450.15 where the total total kWh saved in six months was 2,578,900.75 if interpreted in rupiah 3,233,941,027.79 out of 325 jobs with a total duration of work of 571 minutes / customer. For saidi reliability parameter values the highest values found in February were 55,521 minutes / customer, data from PLN 56,708 without HLM 113 minutes / customer. For the smallest value there is in May 20,315 data from PLN 20,319 without HLM 65 minutes / customer. The average value of saidi in six months amounted to 44,471 minutes / customer has met the target of PT.PLN (persero terrain area) under 3 hours / customer. For the highest value of saifi value in June of 0.572 times / data customer from PLN 0.575 without HLM 1,572 the smallest value in May of 0.313 times / customer without HLM 1,313 acquisition of average value of saifi in six months amounting to 0.462 times / customer has met the target PLN (terrain area) under 1.0 times / customer

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : simanjuntakmartoni6@gmail.com

** Dosen Pembimbing Program Studi Teknik Elektro

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya yang senantiasa memberikan petunjuk dan kemudahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Adapun judul skripsi ini yaitu **“Analisis Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem Hot Line Maintenance Pada Jaringan Distribusi 20 KV Di PT.PLN (Persero) Area Medan ”**.Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan mata kuliah tugas akhir pada program studi Teknik Elektro dengan peminatan Energi Listrik di Universitas Pembangunan Pancabudi.

Dalam penulisan skripsi ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Maka dari itu penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr.H.Muhammad Isa Indrawan,S.E.,M.M., selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani,S.T.,M.T., selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Adisastra Pengalaman Tarigan,S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini sampai selesai.

5. Bapak Pristisal Wibowo,S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini sampai selesai.
6. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staff pengajar di jurusan Sains dan Teknologi khususnya Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
7. Terkhusus kepada keluarga saya Bapak Jumadi Simanjuntak dan Ibu Ospine Pardede tercinta, Kakak Reflin simanjuntak, Henri simanjuntak dan Adik Sunarto simanjuntak, Daniel simanjuntak tersayang serta semua keluarga yang telah memberikan doa, semangat, dukungan, kasih sayang dan motivasi kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Pembangunan Panca Budi.
8. Buat rekan-rekan Mahasiswa terkhusus kelas Reguler pagi-B Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan kenangan selama perkuliahan.
9. Semua pihak yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Untuk teman yang selalu memberikan masukan,dorongan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan, baik dari segi isi maupun penyusunannya. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun untuk kebenaran skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermamfaat bagi siapapun yang membacanya.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	ix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Mamfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB 2 LANDASAN TOERI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.1.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).....	8
2.1.2 Pendistribusian Sistem Tenaga Listrik.....	10
2.2 Komponen Jaringan Distribusi.....	11
2.2.1 Komponen Peralatan Jaringan Distribusi	11
2.2.2 Gardu Induk.....	20
2.2.3 Jaringan Distribusi Primer	20
2.2.4 Gardu distribusi Atau Trafo Distribusi	20
2.2.5 Jaringan Distribusi Primer	21
2.3 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Tegangan	
Menengah 20 kv	21
2.3.1 Jaringan Distribusi Radial	21
2.3.2 Jaringan Distribusi Pola Loop	22

2.3.3	Jaringan Distribusi Pola grid	23
2.3.4	Jaringan Distribusi Pola Spindle.....	24
2.4	Pemeliharaan Jaringan Distribusi Saluran Udara	25
2.5	Pengertian Sistem <i>Hot Line Maintenance</i> (HLM).....	27
2.5.1	Persyaratan Kerja <i>Hot Line Maintenance</i>	29
2.5.2	Metode Sistem Kerja <i>Hot Line Maintenance</i>	32
2.5.3	Kondisi Jarak Pengerjaan Sistem HLM.....	34
2.5.4	Penerapan Kerja <i>Hot Line Maintenance</i> Dilapangan....	35
2.6	Pengertian Energi Listrik KWh Terselamatkan	38
2.6.1	Rasio SAIDI-SAIFI.....	39
2.7	Peralatan Yang Digunakan Saat Pekerjaan HLM	41
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Jenis Penelitian.....	50
3.2	Tempat Dan Waktu Penelitian	50
3.3	Teknik Pengumpulan Data.....	51
3.4	Teknik Analisa Data.....	51
3.5	Diagram Alir	52
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Jenis Peralatan Dalam Hot Line Maintenance	53
4.1.1	Data Pengerjaan Dilapangan	56
4.2	Data Penyulang	58
4.3	Analisa Dan Perhitungan	60
4.3.1	Perhitungan Kwh Dan Rupiah Terselamatkan	60
4.3.2	Analisa Perhitungan Rasio Saidi Dan Saifi.....	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		74
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Saluran Udara Tegangan Menengah.....	10
Gambar 2.2 : Jenis Isolator Tumpu.....	16
Gambar 2.3 : Isolator Tarik.....	17
Gambar 2.4 : Pola Jaringan Radial.....	22
Gambar 2.5 : Pola Jaringan Loop.....	23
Gambar 2.6 : Pola Jaringan Grid.....	24
Gambar 2.7 : Sistem Jaringan Spindle.....	25
Gambar 2.8 : Jarak Bebas Konduktor Bertegangan Pada Metode Kerja Berjarak.....	36
Gambar 2.9 : Pemakaian Platform Berisolasi Pada Metode Kerja Berjarak.....	37
Gambar 2.10 : Pemakaian Penutup Dan Tangga Isolasi Pada Metode Kerja Berjarak.....	38
Gambar 2.11 : Hook Pole.....	42
Gambar 2.12 : Tie Pole.....	42
Gambar 2.13 : Wire Holding Stick.....	43
Gambar 2.14 : Rack Wire Cutter.....	44
Gambar 2.15 : Temporary Jumper Set.....	44
Gambar 2.16 : Conductor Cover.....	45
Gambar 2.17 :Tangga Isolasi.....	46
Gambar 2.18 : Cover Pegs.....	46
Gambar 2.19 :Measuring Rod.....	47
Gambar 2.20 :APD (Alat Pelindung Diri).....	48
Gambar 3.1 : Diagram Alir (<i>Flowchart</i>).....	51
Gambar 4.1: Bongkar Sambung DS.....	55
Gambar 4.2 :Pemutusan Kabel Jumper.....	55
Gambar 4.3 :Pemutusan Kabel Aresster.....	56
Gambar 4.4 :Penyisipan Tiang.....	56

Gambar 4.5:Penggantian Isolator	56
Gambar 4.6:Penjumperan Kabel Baru	56
Gambar 4.7: Grafik Kwh Terselamatkan	64
Gambar 4.8: Grafik Rupiah Terselamatkan	64
Gambar 4.9: Grafik Nilai Saidi Januari Sampai Juni 2020	68
Gambar 4.10: Grafik Nilai Saifi Januari Sampai Juni 2020	71

DAFTAR TABEL

Table 2.1: Klasifikasi Ukuran panjang Tiang	13
Table 2.2: Kode Pengenal Pada Kabel.....	17
Table 2.3: Sifat-Sifat Logam Penghantar Jaringan.....	19
Tabel 2.4: Jarak Aman Kerja HLM	34
Tabel 4.1: Daftar Peralatan Yang Digunakan Untuk Pekerjaan HLM	52
Tabel 4.2: Daftar gardu induk dan penyulang	58
Tabel 4.3: Data Laporan Jenis Pekerjaan HLM Dan Durasi Pengerjaan Dari Tiap Titik Kerja	60
Tabel 4.4: Hasil Perhitungan Kwh Terselamatkan Dan Rupiah Terselamatkan	62
Tabel 4.5: Data Jumlah Gangguan Pelanggan Padam PT.PLN (Persero) Area Medan Dalam 6 Bulan 2020.....	65
Tabel 4.6: perhitungan nilai saidi dalam 6 (enam) bulan 2020	67
Tabel 4.7: perhitungan saifi dalam 6 (enam) bulan 2020	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi berkembang tiada hentinya mengikuti perkembangan zaman. Perkembangan teknologi mengakibatkan perkembangan industrinya semakin meningkat, perkembangan industri meningkatkan penggunaan listrik bertambah dengan cepat. Peningkatan akan energi listrik mengindikasikan bahwa listrik sudah menjadi bagian yang sangat penting bagi manusia. Karena hampir 90 % dalam kehidupan sudah menggunakan listrik. Hal ini, terlihat dengan pemamfaatan penggunaan berbagai peralatan yang menggunakan listrik sebagai sumbernya. Bertambahnya pemakaian energi listrik diperlukan keandalan pada sistem tenaga listrik. Perbandingan keandalan dari sistem distribusi adalah seberapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kondisi pemadaman jaringan listrik. Karena dengan dimilikinya keandalan yang tinggi akan mampu menyalurkan energi listrik saat dibutuhkan.

Untuk meningkatkan keandalan dan kontinuitas dalam penyaluran tenaga listrik dan pelayanan terhadap konsumen maka dibutuhkan keandalan pada sistem tenaga listrik. Upaya untuk mengurangi pemadaman jaringan listrik terencana disaat melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perluasan jaringan maka PT. PLN (Persero) Area medan menerapkan sistem HLM agar dalam pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan dapat dilaksanakan tanpa harus memadamkan sumber

aliran listrik. Keandalan suatu sistem dalam penyaluran energi listrik ke konsumen sangat berpengaruh terhadap frekuensi padam penyulang. Karena yang menjadi kendala adalah seringnya pemadaman listrik dilakukan saat melakukan pekerjaan perbaikan, pemeliharaan dan perluasan jaringan listrik. Tentu dengan perbaikan listrik secara memadamkan aliran listrik akan sangat merugikan bagi konsumen maupun industri lainnya karena banyaknya energi listrik yang hilang atau penyaluran kwh jual tidak dapat tersalurkan. Untuk mengatasi masalah pemadaman yang terjadi saat pekerjaan perbaikan, pemeliharaan jaringan, PT.PLN (Persero) Area Medan melakukan pemeliharaan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kv dengan sistem *Hot Line Maintenance (HLM)* atau Pekerjaan Dalam Deadaan Tertegangan (PDKB)

Pekerjaan sistem HLM dapat meningkatkan pendistribusian listrik ke konsumen dengan lancar dan energi listrik dapat terselamatkan dari rugi-rugi yang berupa kenaikan frekuensi sistem. Penerapan teknik HLM ini juga dapat menguntungkan ke dua pihak konsumen dan pln. Karena kelancaran penyaluran sumber listrik dapat dinikmati oleh konsumen tanpa padam serta pihak PLN tidak kehilangan pendapatan karena masih bisa melakukan penjualan melalui KWH yang terselamatkan. Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk melakukan analisa terhadap pemeliharaan jaringan distribusi dengan sistem HLM di daerah kerja PT. PLN (Persero) Rayon Medan Baru. Untuk mengetahui bagaimana proses perbaikan jaringan dapat menyelamatkan energi listrik. Maka penulis tertarik untuk membahas tentang“**ANALISIS MINIMALISASI PEMADAMAN DENGAN CARA SISTEM *HOT LINE MAINTENANCE* PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO) AREA MEDAN**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan latar belakang diatas perumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar jumlah kWh yang dapat terselamatkan dengan sistem HLM pada jaringan distribusi 20 KV di PT. PLN (Persero) Area Medan ?
2. Berapa besar nilai keandalan pemeliharaan jaringan bertegangan untuk menekan rasio Saidi dan Saifi pada jaringan distribusi 20 KV di PT. PLN (Persero) Area Medan ?
3. Bagaimana cara meminimalisir pemadaman pada jaringan distribusi 20 KV di PT.PLN (Persero) Area Medan ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Menghitung peningkatan kWh jual/salur yang terselamatkan yang dilaksanakan saat perbaikan, pemeliharaan jaringan distribusi dengan sistem HLM.
2. Hanya menganalisa sistem penyelamatan energi listrik pada jaringan distribusi saluran udara 20 KV
3. Menentukan nilai indeks keandalan untuk menekan rasio saidi dan saifi dengan pekerjaan sistem HLM pada jaringan distribusi 20 KV

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dengan diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui berapa jumlah Kwh jual yang terselamatkan saat pemeliharaan,perbaikan jaringan distrbusi 20 KV..
2. Untuk meminimalisasi pemadaman listrik pada jaringan distribusi 20 KV saat melakukan pekerjaan perbaikan dan pemeliharaan jaringan.
3. Mengetahui keandalan sistem HLM dalam perbaikan jaringan untuk menekan rasio saidi dan saifi pada jaringan distribus.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dengan sistem pekerjaan dalam kondisi bertegangan dapat ditunda pekerjaannya jika pemeliharaan belum siap untuk satu hari dan dapat dilanjutkan besoknya karena jaringan listrik tidak padam.
2. Karena sistem pekerjaannya tanpa harus memadamkan aliran listrik sehingga energi listrik yang disalurkan pada pelanggan masih dapat digunakan atau tidak harus dipadamkan.
3. Pekerjaan dengan sistem HLM dapat menjaga kontinuitas penyaluran kWh jual dan meningkatkan keandalan penyaluran listrik ke konsumen sehingga layak untuk dilakukan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Dalam pembahasan bab berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan permasalahan, tujuan dari penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : LANDASAN TEORI

Dalam pembahasan bab ini berisi mengenai teori-teori umum tentang pembahasan dan defenisi masalah serta material yang akan dibahas untuk meyelesaikan penyusunan skripsi ini.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang gambaran umum waktu dan tempat penelitian, metode yang digunakan, teknik dalam pengumpulan data, dan peralatan yang digunakan.

BAB 4 : Hasil Dan PEMBAHASAN

Pembahasan dalam bab ini berisi tentang pembahasan dari hasi data dan perhitungan secara lengkap.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari suatu sistem infrastruktur penyaluran tenaga listrik yang menghubungkan mulai dari gardu induk / pusat pembangkit hingga sampai dengan konsumen atau pelanggan masyarakat. Sedangkan untuk jaringan distribusi adalah sistem tenaga listrik yang mendistribusikan atau menyalurkan energi sampai ke konsumen. Saat penyaluran tenaga listrik untuk sampai ke pusat beban pendistribusian tenaga listrik harus sesuai dengan kondisi yang setempat dengan memperhatikan faktor dan lokasi beban, perkembangan untuk masa yang akan datang, keadaan dan nilai dari ekonomisnya.

Sistem distribusi disini dapat menjadi suatu sistem yang tersendiri karena unit dalam distribusi ini memiliki komponen-komponen pada peralatan yang saling berkaitan dengan operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Dimana sistem disini merupakan perangkat unsur yang saling berketergantungan dengan yang disusun untuk mencapai suatu tujuan dengan menampilkan fungsi yang sudah ditetapkan. Fungsi utama sistem distribusi adalah untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya sampai dengan ke pemakai atau konsumen. Keandalan suatu sistem distribusi dapat dilihat dari faktor – sebagai berikut :

- a. Regulasi tegangan (*Voltage Regulation*)
- b. Kontinuitas pelayanan

- c. Fleksibel
- d. Efisiensi
- e. Biaya jaringan

Namun kendala yang dihadapi pada suatu sistem jaringan distribusi adalah bagaimana supaya penyaluran tenaga listrik bisa sampai kekonsumen dengan sebaik mungkin untuk waktu yang akan datang. Untuk itu suatu sistem distribusi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a) Regulasi untuk tegangannya tidak terlalu besar.
- b) Gangguan pada pelayanan tidak boleh terlalu lama dan daerah yang mengalami gangguan perlu dibatasi.
- c) Untuk gangguan terhadap pelayanan (*interruption*) tidak boleh sering terjadi.
- d) Biaya pada sistem harus rendah.
- e) Sistem harus fleksibel (dapat menyesuaikan diri dengan perubahan beban atau perubahan pada sistem yang terjadi karena perubahan beban yang tidak menekan biaya yang sangat tinggi.

Pada sistem distribusi tenaga listrik, tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Keandalan ini dapat ditinjau dari sejauh mana suplai tenaga listrik dapat mensuplai secara kontinui kekonsumen. Gangguan pada suatu sistem distribusi tenaga listrik terdapat pada letak mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan. Perkiraan keandalan didasarkan pada sejumlah faktor seperti karakteristik operasinya, kondisi operasi dan distribusi kegagalannya. Jadi hal utama dalam menentukan keandalan sistem distribusi dengan menentukan karakteristik operasi dan komponen-

komponennya. Beberapa penyebab suatu sistem distribusi mengalami gangguan yang menyebabkan keandalan jaringan distribusi terganggu.

- a) Terjadinya angin kencang yang menimbulkan gesekan pohon terhadap jaringan listrik.
- b) Kurangnya kesadaran masyarakat, misalnya bermain layang-layang ditempat yang bisa dilalui aliran listrik, hal ini sangat berbahaya jika benang tersebut mengenai jaringan listrik.
- c) Kualitas peralatan atau material yang kurang baik, misalnya penggunaan kabel twisted pada JTR yang kurang baik, sehinggalan tahanan pada isolasinya mempunyai tegangan tembus yang rendah, mudah tergelupas dan tidak tahan panas.
- d) Pemasangan jaringan yang kurang baik, seperti pemasangan konektor yang memakai TC, apabila pemasangannya kurang baik akan menimbulkan percikan api yang menyebabkan kerusakan pada fasa lain.
- e) Gangguan karena sambaran petir, umur jaringan kabel yang sudah tua singga mengakibatkan pengelupasan isolasi.

2.1.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Sistem saluran udara tegangan menengah merupakan saluran distribusi yang paling banyak digunakan karena konstruksi penyaluran tenaga listriknya lebih mudah pemasangannya. Konstruksi ini juga paling murah dalam pembangunannya dari pada dengan sistem saluran bawa tanah (SKTM). Pada sistem ini penggunaan kabel penghantar dengan kabel telanjang yang di topang oleh isolator pada tiang

penyangga. Pemilihan kebel penghantar telanjang, juga harus memperhatikan faktor terhadap keselamatan untuk tenaga listrikan seperti jarak aman minimum dengan kawat penghantar bertegangan 20 kv tersebut antar fasa dan jarak aman dengan bangunan atau pepohonan serta jangkauan terhadap manusia.

Konstruksi dalam penggunaan saluran tegangan menengah ini haruslah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, dan memperhitungkan jenis sutm yang digunakan baik dari segi luas penampang, tinggi tiang, pin isolator, arrester, dan jarak antara tiang dengan andongan yang di perbolehkan menurut standar aman yang ditentukan. Untuk standar jarak antar tiang jaringan distribusi sutm yang diperbolehkan adalah 35-40 meter.

Penggunaan konduktor penghantar pada sutm ini digunakan konduktor jenis AAAC (*All Alloy Aluminium conductor*). Luas penampang konduktornya berukuran 240 mm^2 , 150 mm^2 , 70 mm^2 dan 35 mm^2 . Jika dalam saluran sutm menggunakan penghantar berisolasi setengah AAAC-S (*half insulated single core*). Penggunaan ini belum tentu menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang diisyaratkan, tetapi hanya untuk mengatasi gangguan temporer akibat setuh tanaman.



Gambar 2.1 Saluran Udara Tegangan Menengah

Sumber: Penulis, 2019

2.1.2 Pendistribusian Sistem Tenaga Listrik

Defenisi penyaluran distribusi listrik merupakan segala bentuk jalur dan dalam suatu sistem penyaluran sebuah barang dari produsen ke konsumen. Tentu dalam suatu sistem penyaluran diharapkan suatu kelancaran dalam membantu berlangsungnya proses produksi yang berkesinambungan, untuk membantu memenuhi kebutuhan suatu konsumen. Sistem tenaga listrik terbagi dalam beberapa bagian mulai dari unit pembangkit, unit transmisi dan distribusi. Menurut Suswanto, daman (2009) jenis sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

a) **Sistem distribusi langsung**

Sistem distribusi langsung merupakan sistem yang dilakukan dengan cara menyalurkan tenaga listrik secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik, dengan tidak melalui jaringan transmisi lagi. Penyaluran dengan sistem ini digunakan jika suatu sistem pembangkit tenaga listrik berada

pada jarak yang tidak jauh dari pusat pelanggan atau konsumen pemakai. Sistem ini biasanya digunakan pada daerah pelayanan beban yang berada dipinggiran kota.

b) Sistem distribusi tidak langsung

Sistem distribusi tidak langsung merupakan sistem yang dilakukan dengan menyalurkan tenaga listrik jika pembangkit listrik berada pada tempat yang jauh dari pusat desa, sehingga harus melalui penransmisian sebagai perantara untuk menghubungkan jaringan distribusi dengan langsung menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen.

Penyaluran dengan sistem distribusi tidak langsung memerlukan banyak anggaran biaya yang cukup besar. Hal ini dikarenakan untuk pembangunan tower jaringan transmisi dan peralatan-peralatan yang digunakan pada transmisi serta pembebasan lahan masyarakat yang sangat rumit, sehingga menjadi penghalang untuk penyediaan layanan listrik dalam hal ini yaitu perusahaan listrik Negara (PLN).

2.2 Komponen Jaringan Distribusi

2.2.1 Komponen Peralatan Jaringan Distribusi

Komponen peralatan jaringan distribusi merupakan segala jenis komponen yang terpasang pada konstruksi jaringan distribusi, materi pada jaringan jtm dapat di kelompokkan dalam dua bagian yaitu :

A. Material distribusi utama

Material ini merupakan hal yang sangat penting untuk konstruksi jaringan distribusi sehingga material ini merupakan bagian yang tidak dapat tergantikan. Bagian dari pada material komponen distribusi utama pada jaringan distribusi tegangan menengah adalah:

- a) Tiang
- b) Isolator penghantar
- c) Kawat penghantar/ konduktor
- d) Travers /*cross arm*

B. Material pelengkap

Material ini digunakan komponen pembantu atau penunjang pemasangan material distribusi utama untuk konstruksi di jaringan distribusi.

a) **Tiang**

Tiang penyangga jaringan distribusi, tiang disini digunakan pada saluran udara (*overhead line*) untuk menyangga kawat penghantar dalam penyaluran tenaga listrik ke konsumen atau pada pusat beban. Penggunaan tiang penyangga sebagai penopang kawat penghantar harus memiliki ketahanan yang kuat (Daman, 2012). Untuk itu tiang listrik harus memiliki persyaratan sebagai berikut :

- a. Mempunyai kekuatan mekanis yang tinggi
- b. Memiliki umur yang panjang
- c. Mudah dalam pemasangannya dan tidak membutuhkan biaya banyak dalam pemeliharannya
- d. Tidak terlampau berat dan memiliki harga yang murah

e. Dapat dicabut dengan mudah dan dipasang kembali

f. Mempunyai tampilan yang menarik

Pembagian jenis klasifikasi pada tiang penyangga jaringan distribusi yang digunakan pada saluran udara tegangan menengah dapat dibedakan beberapa macam yaitu :

Table 2.1 Klasifikasi Ukuran Panjang Tiang

Tinggi Tiang	Diameter Bagian Atas	Diameter Bagian Bawah	Kedalaman Pondasi
M	M	M	M
9	15	20	1,65
	20	25	1,65
	20	30	1,65
10	15	20	1,65
	20	25	1,65
	20	30	1,65
11	15	20	1,80
	20	25	1,80
	20	30	1,80
12	20	20	2
	20	25	2,00
	20	30	2,00
13	20	20	2,15
	20	25	2,15
	20	30	2,15
14	20	20	2,30
	20	25	2,30
	20	30	2,30
15	20	20	2,50
		25	2,50
		30	2,50
16	20	22	2,65
		25	2,65
		30	2,65

17	20	20	3,00
		25	3,00
		30	3,00

Sumber: Kepdir Pln No. 606 K 2010

Dalam pemasangan sebuah tiang perlu diketahui ketentuan yang harus dipenuhi pada tiang listrik adalah sebagai berikut :

a. Beban kerja

Beban kerja yang dimaksud disini merupakan beban yang diijinkan untuk pemasangan pada tiang, sehingga beban yang disanggakan dapat ditopang oleh tiang secara terus menerus. Peletakan beban pada tiang 20 cm dibawah puncak tiang, dan pemasangan tiang harus benar-benar kuat, penanaman tiang harus sesuai dengan ketentuan yaitu $\frac{1}{6}$ panjang tiang bagian bawah. Satuan beban kerja dinyatakan dengan daN (*deca newton*)

b. Kekuatan puncak tiang

Pada kekuatan puncak tiang sangat dipengaruhi oleh konstruksi dan ukuran dari sebuah tiang sedangkan gaya pada kerjanya ditentukan oleh berat serta gaya tarik dari hantaran.

c. Penandaan

Tanda pengenal dari sebuah tiang ditentukan dari panjang, beban kerja, kode pabrik, dan nomor seri produksi, yang ditulis pada bagian bawah tiang 1,5 m diatas gari tanah ,misalkan :9 m / 200 daN.

b) Isolator

Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat penopang kawat penghantar pada tiang listrik dan memisahkan kawat penghantar dengan yang lainnya agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage curret*) atau loncatan bunga api. Hal yang perlu diperhatikan untuk mencegah terjadinya kebocoran arus pada jaringan tenaga listrik, adalah menentukan penggunaan isolator sesuai daya isolasinya (*dielectric strength*). Karena sifat dari sebuah isolator ditentukan oleh jenis bahan yang digunakan. Kemampuan suatu isolator untuk menahan tegangan dan mengisolisir tanpa terjadi cacat atau kerusakan ditentukan oleh kekuatan dielektriknya. Fungsi utama isolator adalah:

- a. Untuk mengisolasi penghantar dengan tanah dan penghantar dengan penghantar.
- b. Memikul beban mekanis yang ditopang yaitu berat penghantar dan gaya tarik penghantar.
- c. Menjaga supaya jarak antar penghantar tidak mengalami perubahan/pergeseran

Bahan yang digunakan untuk pembuatan isolator jaringan tegangan menengah adalah porselin, keramik yang dilapisi *glazur* dan gelas. Konstruksi sebuah isolator dibuat dengan bentuk lekukan-lekukan tujuannya untuk memperjauh jarak rambatan sehingga saat terjadi hujan maka permukaan isolator ada yang tidak ditemeli hujan. Berdasarkan beban yang dipikulnya isolator dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

- a) Isolator tumpu (*Pin insulator*)

Penggunaan isolator tumpu biasanya dipasang pada tiang penyangga, isolator ini berfungsi sebagai tempat pengikat kawat penghantar yang terletak pada

treves tiang lurus, tiang sudut kecil serta penghubung pada treves tiang penegang. Beban yang dipikul isolator tumpu berupa beban berat penghantar. Pemasangan penghantar di bagian atas isolator (*top side*) maka sudut maksimal yang dibolehkan 2° sedangkan beban tarik jika penghantar dipasang pada bagian sisir isolator maka sudut maksimalnya adalah 18° .



Gambar 2.2 Jenis Isolator Tumpu

Sumber: Penulis, 2020

b) Isolator tarik (*Strain isulator*)

Pada isolator tarik beban yang dipikul adalah beban berat penghantar begitu juga ditambah dengan beban pengencangan (tarikan) penghantar, yang terdapat pada tiang awal/akhir, tiang sudut tiang pencabangan, dan tiang penegang. Peletakan isolator ditempatkan di traves atau searah dengan tarikan penghantar. Kawat penghantar diikat strain clam isolator kemudian dikencangkan dengan mur-bautnya. Penggunaan isolator pada konstruksi

jaringan SUTM dipasang menggantung dibawah traves, untuk mengikat penghantarnya digunakan suspension clam.



Gambar 2.3 Isolator Tarik

Sumber: Kepdir Pln No. 606 K 2010

c) **Kawat Penghantar / Konduktor**

Tabel 2.2 Kode Pengenal Pada Kabel

Kode Pengenal	Uraian
N	Inti terbuat dari bahan tembaga
NF	Kabel udara dengan inti dari tembaga
NA	Inti terbuat dari aluminium
NFA	Kabel udara dengan inti terbuat dari aluminium
Y	Isolasi atau selubung dari pvc
2X	Isolasi atau selubung dari clpe
S atau E	Pelindung elektrik dari pita plat tembaga
C atau CE	Pelindung elektrik dari kawat tembaga yang dipasang konsentris
F	Pelindung mekanik terbuat dari piva baja pipih
Gb	Pelindung mekanik terbuat dari spiral plat baja

B	Pelindung mekanik dari plat baja
---	----------------------------------

Sumber: Buku Ajar Pusdiklat Pt.Pln (Persero

Dalam penggunaan kawat penghantar pada jaringan distribusi tegangan menengah berfungsi menghantarkan arus listrik dari satu bagian instalasi distribusi ke bagian yang lain. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan pada saluran udara mempengaruhi besarnya beban yang dilayani, jika makin luas beban yang dilayani maka menggunakan ukuran penampang kawat makin besar. Karena dengan ukuran penampang besar maka tahanan jenis kawat menjadi kecil. Sehingga tidak mengakibatkan kehilangan daya pada jaringan dan efisiensi penyaluran yang tinggi, karena penampang kawat penghantar tidak mempengaruhi penyaluran tenaga listrik. Dalam penggunaan kabel penghantar harus memiliki sifat sebagai berikut :

1. Memiliki daya hantar yang tinggi/konduktivitas
2. Mempunyai daya tarik tinggi (*tensile strength*)
3. Fleksibilitas tinggi
4. Tidak cepat rapuh
5. Ringan

Untuk memenuhi persyaratan tersebut dapat ditinjau dari segi ekonomis dan penggunaan jenis penghantar. Penggunaan suatu penghantar dalam jaringan sumbu banyak digunakan kawat aluminium campuran (*aluminium alloy*) dan kawat tembaga campuran (*copper alloy*), namun karena factor ekonomis penggunaan kawat aluminium campuran lebih banyak digunakan pada jaringan distribusi. Untuk penghantar dengan skala kecil hanya menggunakan satu kawat tunggal saja, tetapi dalam ukuran yang besar terdiri dari beberapa kawat berlilit yang dibuat menjadi satu.

Selain untuk keperluan kelenturan, kuat tarik dan daya hantar akan jadi lebih besar dibandingkan dengan satu penghantar saja. Misalnya logam liat yang berwarna kemerah-merahan mempunyai tahanan jenis 0,0175, dengan berat jenis 8,5 dan titik cairnya sampai 1083 C° yang lebih tinggi dari kawat aluminium. Berikut tabel sifat-sifat logam penghantar

Tabel 2.3 Sifat – Sifat Logam Penghantar Jaringan

Macam Logam	BD	Tahanan Jenis (M/Cm)	Titik Cair (C°)	Resistansi (Omh)	Koefisien Suhu (K°)	Kekuatan Tarik (Km/Mm ²)
Tembaga	2,56	0.03	660	33,3	0,0038	15-23
Aluminium	8,95	0,0175	1083	57,14	0,0037	30-48
Baja	7,85	0,42	1535	10	00,0052	46-90
Perak	10,5	0,018	960	62,5	0,0036	
Kuningan	4,44	0,07	1000	14,28	0,0015	
Emas	19,32	0,022	1063	45,45	0,0035	

Sumber: Kepdir Pln No. 606 K 2010

d) Traves (Cross arm)

Traves berfungsi sebagai tempat pemasangan atau dudukan isolator. Penggunaan konstruksi traves di Sumatra utara untuk saat ini, tidak diperlukan karena pemasangan isolator sudah langsung di pasang pada tiang. Bahan yang digunakan untuk pembuatan traves itu sendiri dibuat dari besi baja berlapis galvanis yang berbetuk kanal U berukuran 10 x 5 x 5cm dengan tebal 5 mm, dengan bentuk persegi panjang berukuran 7,5 x 7,5 x 7,5 x 7,5 cm. Berdasarkan besar sudut tarikan kawat, ukuran panjang traves dapat di bedakan menjadi tiga bagian yaitu :

- 1) Panjang 1800 mm untuk sudut tarikan 0° s.d 18°
- 2) Panjang 2662 mm untuk sudut tarikan 18° s.d 60°

- 3) Panjang 2500 mm untuk sudut tarikan 60° s.d 90°

2.2.2 Gardu Induk

Pada gardu induk sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tidak langsung, karena bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah pusat pembangkit tenaga listrik dimana biasanya terletak jauh dari pusat kota. Proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke pusat beban (pelanggan) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan sekunder. Jika penyaluran distribusi tenaga listrik dilakukan secara tidak langsung, bagian pertamanya adalah gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari bagian transmisi yang kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi primer.

2.2.3 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan bagian pertama penyaluran tenaga listrik dari gardu induk (GI) ke konsumen/pelanggan pada sistem distribusi langsung. Sedangkan penyaluran sistem distribusi tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Tegangan pada jaringan distribusi primer atau yang biasa disebut juga jaringan tegangan menengah (JTM) memiliki tegangan sistem sebesar 20 KV.

2.2.4 Gardu Distribusi Atau Trafo Distribusi

Merupakan salah satu komponen dari sistem distribusi PLN yang berfungsi menghubungkan/ menyalurkan jaringan listrik dari trafo ke konsumen atau mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen atau pelanggan, baik pelanggan tegangan menengah maupun pelanggan tegangan rendah. Trafo distribusi memiliki fungsi untuk mengubah tegangan listrik dari tegangan primer menjadi tegangan

terpakai yang digunakan konsumen atau yang disebut juga dengan jaringan distribusi sekunder.

2.2.5 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau yang biasa juga disebut jaringan tegangan rendah (JTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang berfungsi mendistribusikan energi listrik dari tiang distribusi ke pelanggan secara langsung (sambungan rumah) dengan tegangan rendah. Oleh karena itu tegangan yang dipakai untuk jaringan distribusi sekunder adalah 130/230 V dan 130/400V untuk sistem lama dan untuk sistem baru 220/380V. Tegangan 130 V dan 220 V merupakan tegangan fasa dengan netral, dan untuk tegangan 400 atau 380 V merupakan tegangan fasa antar fasa.

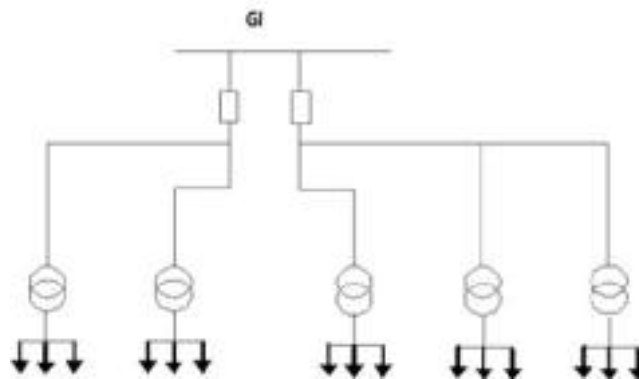
2.3 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (20 KV)

Sistem distribusi tegangan menengah digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara maupun kabel bawah tanah yang disesuaikan dengan tingkat keandalan dan kondisi serta situasi lingkungan. Penyaluran sistem distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik hingga pada pusat beban. Terdapat macam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi tegangan menengah.

2.3.1 Jaringan Distribusi Radial

Sistem jaringan pola radial merupakan jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Penggunaan sistem jaringan radial dipakai untuk melayani daerah yang mempunyai kerapatan beban yang rendah. Keuntungan dari penggunaan sistem ini karena kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan

dekat dengan sumber, maka seluruh beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan pada titik kerusakan dapat diatasi kembali.

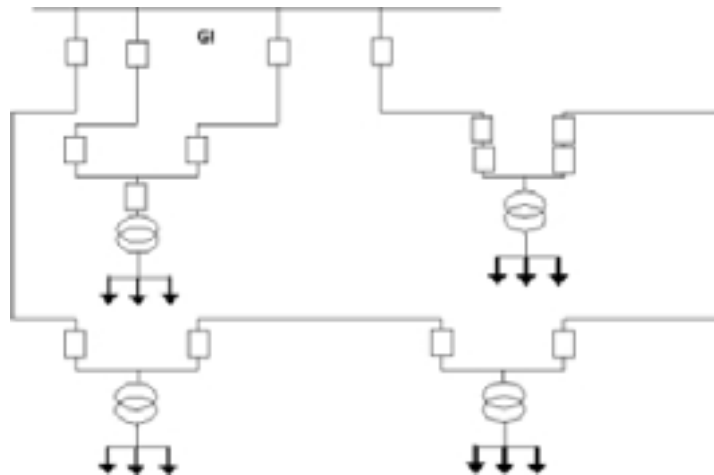


Gambar 2.4 Pola Jaringan Radial

Sumber: F.Rozeta, 2015

2.3.2 Jaringan Distribusi Pola Loop

Sistem jaringan dengan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang sistem instalasinya berkeliling didaerah beban dan kembali lagi pada titik rel daya semula. Pola sistem jaringannya ditandai adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sumber cadangan. Dimana jika pada salah satu sumber pengisian (saluran utama) terdapat gangguan, maka sumber pengisian (saluran cadangan) bisa dapat menggantikannya. Jaringan dengan pola ini bisa dipakai untuk sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinyutas pelayanan yang baik, penggunaan sistem ini lebih baik dari sistem pola radial.

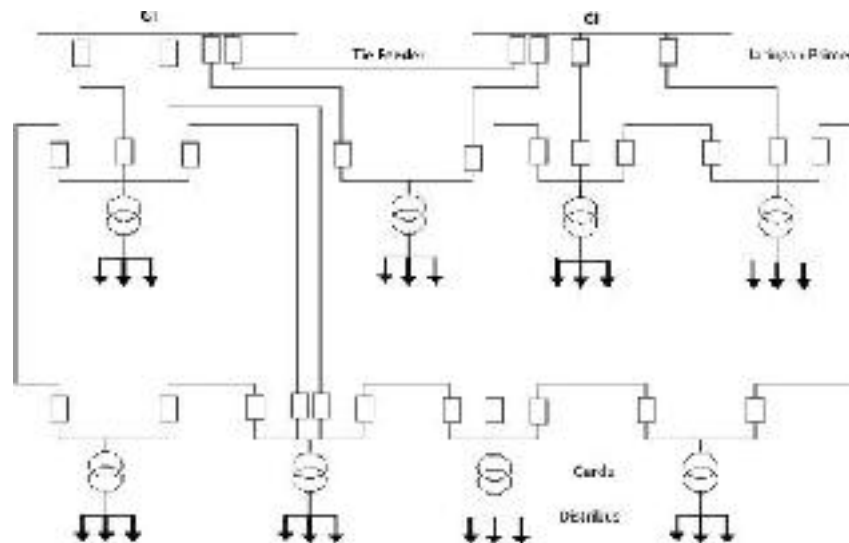


Gambar 2.5 Pola Jaringan Loop

Sumber: F.Rozeta, 2015

2.3.3 Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan sistem ini mempunyai beberapa rel daya dimana pada tiap rel tersebut terhubung dengan saluran penghubung yang disebut dengan *tie feeder*. Maka setiap gardu distribusi bisa menerima sekaligus mengirimkan daya dari atau ke rel yang lain. Kelebihan dari penggunaan sistem jaringan ini karena kontinuitas pelayanannya lebih baik dari pola radial dan loop, memiliki tingkat fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban dan penggunaan sistem pola grid ini cocok untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi. Adapun kekurangannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal serta membutuhkan biaya investasi mahal.



Gambar 2.6 Pola Jaringan Grid

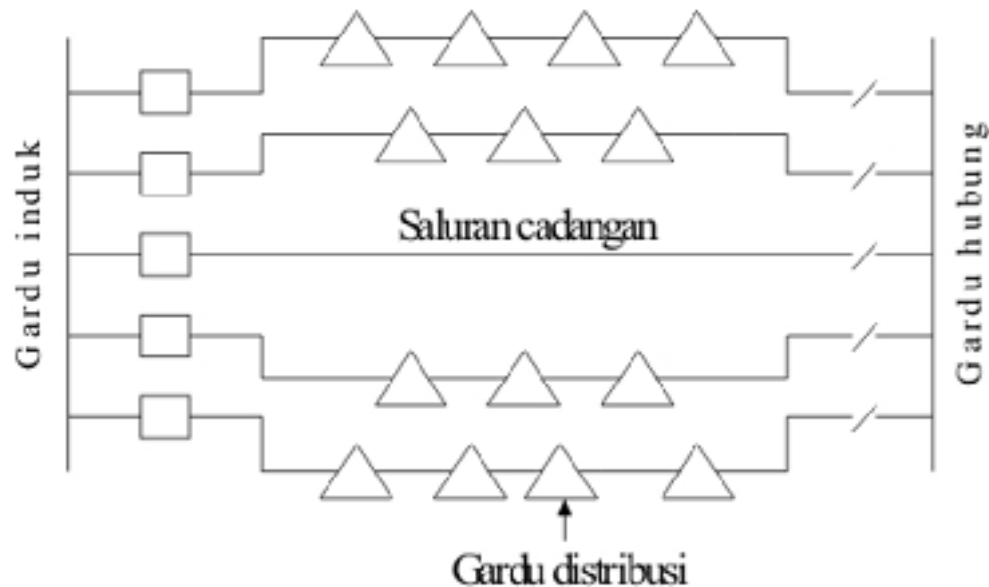
Sumber: F.Rozeta, 2015

2.3.4 Jaringan Distribusi Pola Spindle

Jaringan primer pola spindle merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Dimana sebagian saluran yang keluar dari gardu induk dialihkan menuju suatu tempat yaitu gardu hubung (GH), yang kemudian GI dan GU dihubungkan kembali dengan satu saluran yang disebut dengan *express feeder*. Pada sistem saluran gardu distribusi terdapat disepanjang saluran kerja yang dihubungkan secara seri. Bagian saluran kerja yang terhubung pada gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran keluar dari gardu dihubungkan oleh saklar beban. Sehingga sistem kerja pola ini akan bekerja secara radial jika dalam keadaan normal dan jika terdapat gangguan keadaan darurat maka akan bekerja secara loop melalui saluran cadangan dan gardu hubung.

Keuntungan penggunaan pola jaringan ini karena memiliki kesederhanaan dalam teknis pengoperasiannya, kontinuitas pelayanan lebih baik daripada pola radial

dan loop, pengecekan beban yang terganggu akan lebih mudah dibanding pola grid dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah serta cocok dipakai untuk daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.



Gambar 2.7 Sistem Jaringan Spindel

Sumber : F.Rozet, .2015

2.4 Pemeliharaan Jaringan Distribusi Saluran Udara

Pemeliharaan peralatan listrik merupakan serangkaian tindakan atau proses pemeliharaan untuk mempertahankan kondisi yang menjamin bawah peralatan dapat berfungsi sebagai mestinya sehingga dapat dipastikan peralatan dapat dicegah dari gangguan yang menyebabkan kerusakan. Pemeliharaan peralatan jaringan listrik dilakukan untuk menjamin dari keandalan dan kontinyunitas penyaluran tenaga listrik sebagai berikut :

- a. Meningkatkan *reliability*, *availability* dan *efficiency*
- b. Untuk memperpanjang ketahanan dari peralatan

- c. Mengurangi resiko dari kegagalan yang mungkin terjadi atau kerusakan peralatan
- d. Meningkatkan safety peralatan
- e. Mengurangi terjadinya pemadaman akibat seringnya gangguan

Pemeliharaan peralatan listrik saluran udara dilakukan untuk menjaga seluruh komponen peralatan yang terpasang pada jaringan berada dalam keadaan sebaik mungkin dan memungkinkan semua komponen peralatan memperoleh jaminan fungsi baik. Gangguan yang terjadi pada peralatan dapat diketahui adanya ketidak normalan sehingga biasa diperbaiki untuk memperkecil perluasan gangguan yang mungkin terjadi. Berbeda dengan kabel bawah tanah, pemeliharaan yang dilakukan pada jaringan saluran udara dalam bentuk pemeriksaan atau inspeksi periodik sepanjang rute tiang saluran sangat menentukan pemeliharaan pekerjaan (pengoperasian dan pemeliharaan jaringan distribusi, 1982) :

- a. Pemeriksaan kawat penghantar :kekuatan tarikan, konektor, jamper
- b. Isolator :apakah ada yang mengalami retak dan pecah
- c. Pembebasan saluran udara dari tumbuhan yang mendekati kawat
- d. Pemeriksaan tiang :miring, keropos, bengkok, tiang tegak lurus, sekaligus diperbaiki atau dengan mengganti baru

Dalam keadaan normal peralatan saluran udara kemungkinan dapat bersih dengan sendirinya karena siraman air hujan. Kotoran mungkin dapat terjadi menempel pada peralatan karena garam atau daerah tempat pinggiran laut. Maka pengecekan untuk daerah pinggiran laut inspeksi/patrol harus sering dilakukan (1-1,5

bulan sekali). Pemeriksaan lengkap dilakukan bersama sambil penebagan pohon yang diprogram dari hasil inspeksi rutin penanggung jawab zone inspeksi.

2.5 Pengertian Sistem *Hot Line Maintenance* (HLM)

Sesuai dengan KEPDIR nomor 132. K/0594/DIR/1993 pekerjaan dalam keadaan bertegangan merupakan pekerjaan pada jaringan listrik yang meliputi pemeliharaan, perbaikan, rehabilitasi dan perluasan jaringan yang dilakukan dengan tanpa harus memadamkan aliran sumber listrik atau listrik masih dalam bertegangan. Maka dengan demikian penyaluran suplai energi listrik bisa terjaga dan selama pekerjaan tersebut dilakukan para pelanggan atau konsumen bisa menikmati aliran listrik dengan tidak mengalami pemadaman. Tugas pokok HLM yaitu melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perluasan jaringan terhadap pihak perusahaan secara sewakelola tanpa harus memutus aliran listrik distribusi tenaga, pengelolaan peralatan dan sarana kerja lainnya dan membina kemampuan serta ketrampilan anggotanya. Pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan para HLM yaitu seperti penggantian atau pemeliharaan isolator tumpu, penggantian travers / cross arm, pemeliharaan sambungan isolator, pemeliharaan sambungan LBS, penyisipan tiang dan penggeseran jaringan. Dengan sistem ini keuntungan yang diberikan oleh PDKB dapat dilihat dari pekerjaan yang sudah dilakukan ataupun dari sisi penjualan energi listrik pada konsumen antara lain :

- a. Pekerjaan PDKB dapat ditunda jika belum siap dalam satu hari dan masih dapat dilanjutkan esok harinya karena listrik tidak padam.
- b. Peralatan yang dimiliki petugas PDKB lengkap dan aman

- c. Dari sisi penjualan energi listrik, karena aliran listrik tidak padam energi yang disalurkan akan maksimum sehingga akan memberikan keuntungan bagi perusahaan.

Dalam hal ini dikenal empat metode pemeliharaan yaitu *breakdown maintenance*, pemeliharaan preventif, pemeliharaan prediktif dan pemeliharaan proaktif. Untuk perbaikan dengan sistem *breakdown maintenance* dilakukan jika suatu komponen telah mengalami kerusakan (kecelakaan yang sudah terlanjur terjadi). Sehingga dalam pemeliharaannya membutuhkan biaya yang cenderung mahal dan berdampak domino pada sector lain yang menghilangkan kepercayaan pada masyarakat. Pemeliharaan secara preventif berdampak dalam penggantian komponen yang sudah memiliki umur panjang. Strategi seperti ini biasa menghemat biaya 75 % dibandingkan *breakdown maintenance*.

Pada sistem pemeliharaan preventif terdapat kelemahan karena kurang memperhatikan kondisi bagus atau tidak suatu komponen mempunyai umur dibawah perkiraan, kesalahan desain maupun kesalahan pengoperasian. Maka dikembangkan pemeliharaan dengan sistem prediktif untuk memantau suatu kondisi atau kinerja dari suatu peralatan. Hal yang perlu dimonitoring dapat berupa vibrasi temperature, unjuk kerja dan unsur kimia, maka dengan pemantauan secara rutin kerusakan yang mungkin terjadi dapat terdeteksi secara dini. Pemeliharaan dengan sistem prediktif akan menghemat biaya sekitar 60% jika dibanding pemeliharaan secara preventif. Sedangkan pemeliharaan proaktif lebih mengacu pada kegiatan pemeliharaan dengan tujuan mengantisipasi terjadinya kegagalan. Penambahan komponen dalam rangka

memperpanjang umur suatu peralatan merupakan kategoridari pemeliharaan proaktif, karena fenomena yang bias merusak suatu peralatan diketahui secara pasti.

2.5.1 Persyaratan Kerja *Hot Line Maintenance*

Ketika sedang melakukan pekerjaan dengan kondisi masih bertegangan, tentu akan sangat berbahaya bagi pekerja. Untuk itu perlu dibuat aturan baku atau yang disebut standing operation procedur (SOP), dalam peraturan ini terdapat hal – hal yang harus dipenuhi untuk melindungi para pekerja dari bahaya yang mengancam saat pekerjaan. Setiap pekerja memiliki SOP yang berbeda dalam jenis pekerjaan PDKB untuk tiap orang. Ketika SOP pekerjaan dalam bertegangan peralatan yang digunakan sesuai dengan fungsinya untuk menunjang pekerjaan dan melindungi orang yang sedang melakukan pekerjaan tersebut.

Orang yang melakuakan pekerjaan dalam kondisi bertegangan disebut dengan linesman. Linesmen terlebih dahulu dilatih sebelum diterjunkan untuk melakukan pekerjaan, dalam menghindari terjadinya kesalahan operasi ketika bekerja. Pelatihan dilakukan selama berbulan-bulan, mulai dari teknik pekerjaan dengan tidak bertegan terlebih dahulu (*offline*), sampai langsung diturunkan melakukan pekerjaan pada saluran transmisi maupun distribusi dengan keadaan berteganagan. (Vernandez, 2014)

Sebelum melakukan pekerjaan PDKB maka harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a) Harus ada linesmen
- b) Harus ada groundmen
- c) Terdapat pengawas K3 dan penngawas pekerjaan

- d) Terlebih dahulu menanda tangani SP3B (Surat perintah melaksanakan pekerjaan bertegangan) kepada linesmen dan groundmen.
- e) Menanda tangani SP3B (Surat perintah pengawasan pekerjaan bertegangan).
- f) Memakai alat pelindung diri (APD) dengan keadaan baik yang dicek oleh pengawas K3 sebelum bekerja.
- g) Untuk tiap peralatan diberi lapisan silikon dalam mencegah aliran air saat pekerjaan dalam keadaan hujan.

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada PDKB merupakan hal yang memang harus dipenuhi baik pada personil, peralatan, dan sistem instalasi. K3 ini sendiri merupakan upaya dalam mewujudkan keadaan aman bagi para pekerja dari bahaya yang bisa terjadi saat melakukan kegiatan ketenaga listrikan lainnya dari perusahaan. Dengan memberikan perlindungan dan pencegahan pada saat penyelesaian terhadap terjadinya kecelakaan atau penyakit yang timbul karena hubungan kerja yang menimpa pekerja. Ketika dalam pelaksanaan PDKB jaringan udara tegangan menengah kesalahan harus bisa dihindari karena jika terjai akan mengakibatkan gangguan pada sistem tenaga listrik dan menyebabkan kerusakan peralatan dan bahkan dapat mencelakai manusia. Untuk mencegah kesalahan sewaktu pelaksanaan PDKB maka petugas kerja wajib mematuhi pedoman K3 sehingga pekerjaan dapat terlaksana dengan lancar. Pedoman K3 terdiri atas k3personil, k3 peralatan dan K3 instalasi. Personil harus memiliki sertifikat yang dinyatakan lulus saat melakuakan General check up kerja, memakai alat pelindung diri yaitu pakaian kerja, *conductive suit complete, conductive shoes, helm, satefy shoes, safety gloves, safety glasses, harnes, handy talky*, rompi pengawas pekerjaan dan rompi pengawas

K3. Susunan struktur organisasi HLM-TM sesuai dengan SK DIR NO: 1043.K/DIR/2011 pada tanggal 08 juli 2011 adalah sebagai berikut :

a. Asman jaringan / kepala operasi

Kepala operasi merupakan kepala unit yang ditunjuk sebagai penanggung jawab atas sejumlah instalasi yang batasnya telah ditetapkan dengan jelas.

b. Supervisor HLM-TM

Bertanggung jawab untuk mengelola hlm dalam meningkatkan keandalan, keamanan, mutu dan efisien pada jaringan.

c. Preparator HLM-TM

Sebagai penanggung jawab dalam pelaksanaan kegiatan hlm, untuk mensurvei kelengkapan administrasi, peralatan dan sarana kerja untuk kelancaran pelaksanaan.

d. Kepala regu

Bertanggung jawab dalam pelaksanaan kegiatan regu hlm sesuai peraturan SOP untuk meningkatkan keandalan, keamanan dan efisiensi jaringan distribusi.

e. Pengawas K3

Bertanggung jawab menjaga keamanan dan keselamatan tenaga listrikan untuk pelaksanaan hlm sesuai sop

f. Teknisi HLM

Bertanggung jawab dalam pelaksanaan kegiatan pemeliharaan jaringan dalam keadaan bertegangan sesuai rencana kerja dan sop yang ditetapkan.

2.5.2 Metode Sistem Kerja *Hot Line Maintenance*

Dalam pelaksanaan metode pemeliharaan jaringan listrik ada tiga metode pemeliharaan saluran dalam keadaan bertegangan yang berhubungan dengan daerah terlarang dimana sesuai penghantar atau struktur penghantar dilokasi dilakukan pekerjaan (SPLN82:1-1991) yaitu dengan metode sentuh langsung (*barehand*), metode dengan menggunakan tongkat berisolasi (*hot stick*) dan metode dengan menggunakan sarung tangan karet (*rubber glove method*) (Putra, 2016)

a) Metode *barehand* (sentuh langsung)

Metode dengan teknik sentuh langsung sudah dikenal sejak tahun 1837, *michael faraday* membuat suatu penemuan dalam ruangan tertutup yang dibuat dalam bahan penghantar listrik. Dalam penemuannya mampu merintang medan listrik statik eksternal yang menyebabkan muatan listrik dalam bahan konduktif dan menyalurkan kembali kediri mereka sendiri. Dengan teori tersebut, seseorang bisa dialiri listrik yang bertegangan tinggi, yang dilindungi dalam sebuah sangkar faraday yang terhubung kekonduktor bertegangan. Pemakaian metode ini biasanya untuk saluran udara ekstra tinggi pada tegangan 230 kv-500 kv. Metode ini sudah dilaksanakan oleh PT.PLN (persero) P3B jawa bali pada tahun 2004.

b) Metode *Hot Stick* (Tongkat berisolasi)

Metode dengan hot stick merupakan metode dimana dalam pelaksanaan pekerjaan berada disisi tower yang terisolasi dari konduktor bertegangan. Dimana seorang pekerja menggunakan peralatan hot stick dengan jarak yang telah ditentukan sehingga aman dalam pengerjaan. Metode ini juga dapat

digunakan bersama dengan metode barehand sehingga saling melengkapi, hot stick yang digunakan terbuat dari plastik yang diperkuat dengan fiberglass (*fibreglass reinforced plastic*). Metode ini biasanya untuk jaringan tegangan menengah dan tegangan tinggi atau untuk jaringan bertegangan 20 kv / 150 kv.

- c) Metode menggunakan sarung tangan karet (*rubber glove method*), biasanya pada jaringan tegangan rendah dengan tegangan 480 volt sampai 1500 volt.

Hot line maintenance (pekerjaan dalam keadaan bertegangan) terbagi atas empat bagian menurut tegangan operasinya yang terdiri atas

- a. *Hot line maintenance* untuk tegangan rendah dengan tegangan 220 / 380 volt.
- b. *Hot line maintenance* untuk tegangan menengah dengan tegangan 20 KV.
- c. *Hot line maintenance* untuk tegangan tinggi dengan tegangan 70 KV sampai 150 KV.
- d. *Hot line maintenance* untuk tegangan ekstra tinggi dengan tegangan 275 KV sampai 500 KV.

Dalam pemeliharaan jaringan udara tegangan menengah yang digunakan untuk pelaksanaan HLM adalah dengan metode berjarak. Metode berjarak merupakan metode dengan menekan jarak sebagai titik aman yaitu dengan menggunakan stick berisolasi yang sudah tahan uji dengan baik. Jarak aman dalam metode berjarak atau yang biasa disebut dengan istilah elemen pelindung (EP) / $1EP = 10$ cm. Seorang pekerja harus mentaati jumlah minimal elemen pelindung yaitu ruang bebas gerak pelaksanaan dengan jaringan yang bertegangan.

Tabel 2.4 Elemen Pelindung

Tegangan	U < 20 KV	20 KV < U < 26 KV
Jarak aman (Elemen pelindung)	6 EP	8 EP

Sumber: (PDKB) PT.PLN (Persero) WS2JB Area Lahat, Dian eka putra

2.5.3 Kondisi Jarak Pengerjaan Sistem *Hot Line Maintenance*

Kondisi jarak yang harus diperhatikan saat melaksanakan pekerjaan harus ditaati oleh pekerja saluran pada pemeliharaan saluran udara dalam keadaan bertegangan yang tergolong dari beberapa bagian diantaranya jarak tegangan, daerah terlarang, jarak pelindung serta daerah bebas minimum (SPLN 82-1 :1982) :

a. Jarak tegangan

Jarak phasa kebumi't' tanpa menggunakan alat pelindung pada bagian penghantar. Jarak tegangan merupakan jarak teoritis yang harus dijaga untuk menghindari setiap loncatan bunga api.

b. Daerah terlarang

Daerah terlarang merupakan daerah yang sudah ditetapkan yang tidak bisa dimasuki oleh seorang pekerja saluran tanpa menggunakan alat pelindung diri sesuai dengan tingkat tegangan. Kedalaman hanya dapat dimasuki pekerja yang memakai perlengkapan dan peralatan yang cocok untuk pekerja pemeliharaan saluran dalam kondisi bertegangan terdiri dari semua titik yang terletak pada jarak kurang dari jarak 't'.

c. Jarak perlindungan

Jarak perlindungan kerja dalam keadaan bertegangan (PDKB) merupakan daerah yang ditetapkan untuk membebaskan pekerja saluran titik keamanan dirinya dengan jarak tegangan perlindungan 0,5 untuk kategori II

d. Daerah bebas bergerak minimum

Daerah bebas minimum pekerja saluran udara bertegangan merupakan jumlah jarak tegangan dengan jarak perlindungan. Ketika pelaksanaan pekerjaan bertegangan pekerja harus mematuhi daerah bebas bergerak minimum untuk menghindari sengatan listrik.

2.5.4 Penerapan Kerja *Hot Line Maintenance* Dilapangan

Pekerjaan saluran selama melakukan pekerjaan pemeliharaan dengan menggunakan metode kerja berjarak pada saluran distribusi 20 kv perlu diketahui dua hal ketika pengerjaan yaitu cara pekerja saluran berada ditempat (pemeliharaan posisi kerja) dengan ruang gerak bebasnya dan ketrampilan seorang pekerja saluran.

Pada metode kerja berjarak langkah-langkah berikut yang dapat dilaksanakan pekerja saluran distribusi 20 kv udara untuk pekerjaan saluran dengan pemeliharaan dalam keadaan bertegangan memakai metode berjarak yaitu (kursus regu lengkap PDKB-TM,1995):

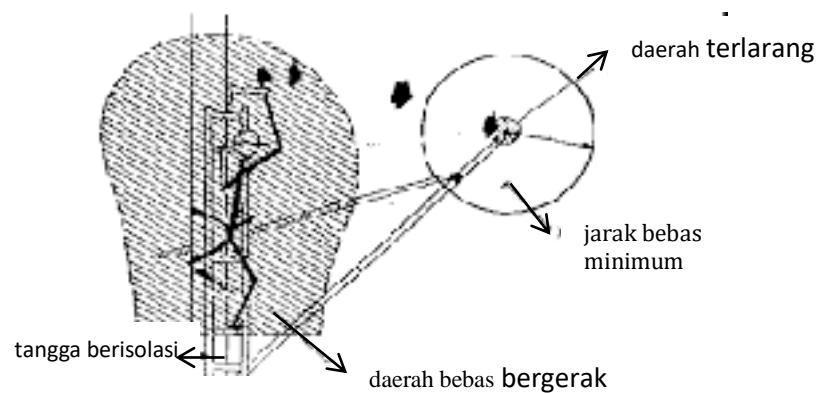
a. Pemakaian perkakas berisolasi

Pemakaian peralatan perkakas berisolasi yang dapat dijelaskan sebagai berikut : pengukur jarak yang terdapat pada tongkat isolasi mempermudah saat pekerjaan saluran dan pengawas pekerja untuk memperkirakan jarak.

Pemakaian perkakas berisolasi digunakan pada pekerjaan penggantian isolator (PDKB-TM, 1994).

b. Jarak bebas penghantar

Jarak bebas penghantar seperti pada gambar 2.5 dan dijelaskan sebagai berikut: penghantar dipisahkan sesuai jarak bebas, memungkinkan pekerja saluran bergerak ke isolator. Dalam pengerjaan saluran memisahkan penghantar dengan menggunakan hotstick memperhitungkan posisi penghantar lainnya. Penerapan jarak bebas penghantarnya dapat digunakan pada pekerjaan penggantian isolator (PDKB-TM, 1994)



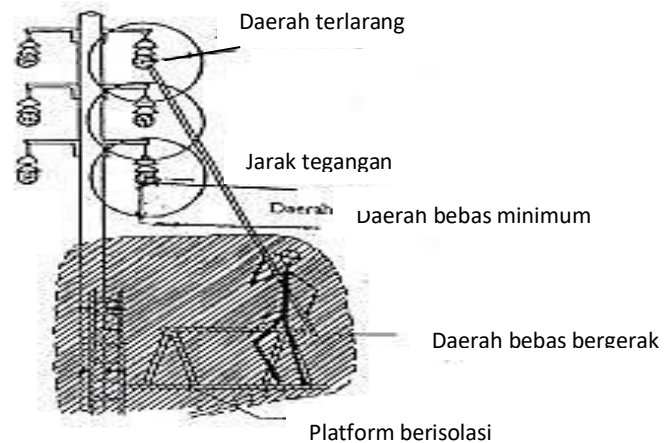
Gambar 2.8 Jarak Bebas Konduktor Bertegangan Pada Metode Kerja Berjarak

Sumber: PDKB-TM, 1994

c. Pemilihan posisi kerja

Penggunaan platform memungkinkan pekerja saluran berada pada posisi yang cocok untuk melakukan pengerjaan dan dapat juga memenuhi daerah bebas minimum dari bagian yang bertegangan dengan posisi bekerja menggunakan platform yang dapat dilakukan yaitu :pembersihan isolator,

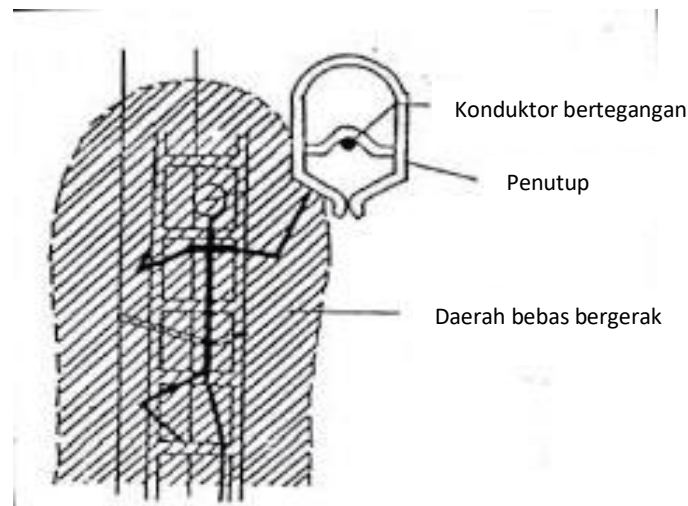
penggantian jumper serta penggantian isolator. Pada gambar 2.6 dapat dijelaskan dengan posisi pekerja saluran paling atas (dari komposisi saluran vertikal), daerah bebas pekerja saluran harus terhadap fasa saluran yang dibawah (PDKB-TM, 1994).



Gambar 2.9 Pemakaian Platform Berisolasi Pada Metode Kerja Berjarak
Sumber : PDKB-TM, 1994

d. Pemakaian penutup (berisolasi)

Penutup adalah selubung isolasi yang menghasilkan perlindungan yang efektif secara kontinyu jika dipasang dengan kontinyu jika dipasang dengan baik, dirakit dengan penutup lain ditempatkan pada tempat yang telah ditentukan. Penutup mempunyai kekuatan mekanis yang kurang memadai untuk ditekan dan diinjak. Penggunaan penutup untuk perlindungan dari penghantar seperti pada gambar 2.7 dapat dijelaskan sebagai berikut : pekerja saluran dengan tangga berisolasi dan pemasangan penutup tidak memperhatikan daerah bebas minimum (PDKB-TM, 1994).



Gambar 2.10 Pemakaian Penutup Dan Tangga Isolasi Pada Metode Kerja Berjarak
Sumber : PDKB-TM, 1994

2.6 Pengertian Energi Listrik KWH Terselamatkan

Energi KWh terselamatkan yaitu energi listrik yang masih dapat disalurkan disaat dilakukannya pekerjaan pemeliharaan, dan perbaikan atau penggantian komponen dalam jaringan distribusi tanpa harus memadamkan aliran listrik. Sedangkan untuk energi yang tidak terselamatkan merupakan energi yang hilang karena pemadaman jaringan saat melakukan pekerjaan perbaikan, perluasan, dan perbaikan komponen distribusi. Untuk sistem jaringan 3fasa ,formulasi perhitungan energi yang terselamatkan dalam kilo watt hour (KWH) menurut Spln-81 TAHUN 1993 pada jaringan distribusitegangan menengah dengan PDKB.

Perhitungan beban pada jaringan SUTM yang dilaksanakan dengan PDKB dan KWh yang diselamatkan dapat dirumuskan dengan :

$$E_{safe} = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot t}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

V_{safe} = Energi terselamatkan (KWh)

V = Tegangan line to line (Volt)

I = Arus saluran (Ampere)

t = Waktu pengerjaan

$\sqrt{3}$ = 1,732

$\cos \phi$ = Faktor daya (0.85)

Dari hasil tersebut didapat rupiah yang diselamatkan yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Rp diselamatkan} = \text{KWh diselamatkan} \times (\text{Rp/kwh})$$

Keterangan :

$$\text{Rp/kwh} = \text{Total rupiah jual unit} / \text{total kwh jual unit}$$

2.6.1 Rasio SAIDI – SAIFI

A. Saidi (*Sytem Average Interuption Index*)

Lama padam rata –rata (LPR=SAIDI) dalam satuan x jam/tahun, x jam /bulan atau x jam/kuartal. Menurut IEEE istilah yang digunakan adalah SAIDI (System Averange Interruption Duration Index) yaitu jumlah lamanya gangguan pemadaman yang dialami oleh pelanggan listrik dalam satu periode waktu dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani, atau bisa juga disebut indeks durasi pemadaman rata – rata.

$$SAIDI = \sum \frac{k_i t_i}{N} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Saidi = Durasi atau lamanya gangguan (menit/bulan)

t_i = Lamanya gangguan (menit)

k_i = Jumlah per unit pelanggan yang mengalami pemadaman

N = Jumlah konsumen yang dilayani

Perhitungan pada saidi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu :

- a. Perhitungan SAIDI jika pekerjaan dilakukan tanpa pemadaman (dengan teknik HML) untuk itu digunakan $\sum k_i t_i$ yang diperoleh dari gangguan murni selama periode januari sampai juni 2020
- b. Perhitungan SAIDI jika pekerjaan dilakukan dengan memadamkan aliran sumber distribusi (tanpa HML) untuk itu digunakan $\sum k_i t_i$ total hasil penjumlahan dari $\sum k_i t_i$ yang diperoleh dari pemadaman karena gangguan murni dengan $\sum k_i t_i$ yang didapat dari pemadaman karena pekerjaan tanpa teknik *hot line maintenance*.

Maka perolehan nilai saidi yang didapat dari keseluruhan perhitungan lamanya gangguan tiap bulan berdasarkan indeks keandalan untuk membandingkan unjuk kerja sistem, sehingga dapat dilihat secara detail bagian sistem yang lemah yang selalu mengalami gangguan. Sehingga untuk mengetahui indeks keandalan lama gangguan dari rata-rata saidi dapat dicari dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$d_{\text{rata-rata}} = \frac{d^1+d^2+d^3+\dots+d^6}{6} \text{menit/pelanggan} \dots \dots (2.3)$$

B. Saifi (*System Average Interruption Frequency Index*)

Frekuensi padam rata-rata (FPR=SAIFI) dalam satuan n kali/tahun, n kali/bulan atau n kali/kuartal. Menurut IEEE istilah yang digunakan adalah SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) merupakan suatu indek yang menyatakan banyaknya pelanggan listrik yang mengalami gangguan (pemadaman) yang terjadi pada suatu sistem keseluruhan dalam periode waktu dibagi dengan jumlah pelanggan listrik yang dilayani, atau disebut juga dengan indeks frekuensi pemadaman rata – rata.

$$\text{SAIFI} = \sum \frac{k_i \lambda_i}{N} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

Saifi = Frekuensi pemadaman (kali/bulan)

λ_i = Laju garis komponen

k_i = Jumlah per unit pelanggan yang mengalami pemadaman

Perhitungan dapat di bedakan menjadi dua jenis yaitu :

- a. SAIFI dengan HLM, suatu pekerjaan yang dilakukan tanpa pemadaman (dengan teknik HLM) untuk itu digunakan $\sum k_i \lambda_i$ yang didapat dari gangguan murni selama pengerjaan periode januari sampai juni 2020
- b. SAIFI tanpa HLM,yang merupakan pekerjaan yang dilakukan dengan pemadaman aliran distribusi tanpa menggunakan teknik hml maka digunakan rumus $\sum k_i \lambda_i$ yang didapat dari pemadaman akibat gangguan

murni dengan $\sum k_i \lambda_i$ yang diperoleh dari pemadaman akibat tidak menggunakan teknik HLM. Maka perolehan nilai saifi yang didapat dari keseluruhan perhitungan banyaknya gangguan yang terjadi tiap bulan berdasarkan indeks keandalan untuk membandingkan unjuk kerja sistem, sehingga dapat dilihat secara detail bagian sistem yang lemah yang selalu mengalami gangguan. Sehingga untuk mengetahui indeks keandalan banyak gangguan perbulan penilaian mendapatkan rata-rata saifi dapat dicari dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

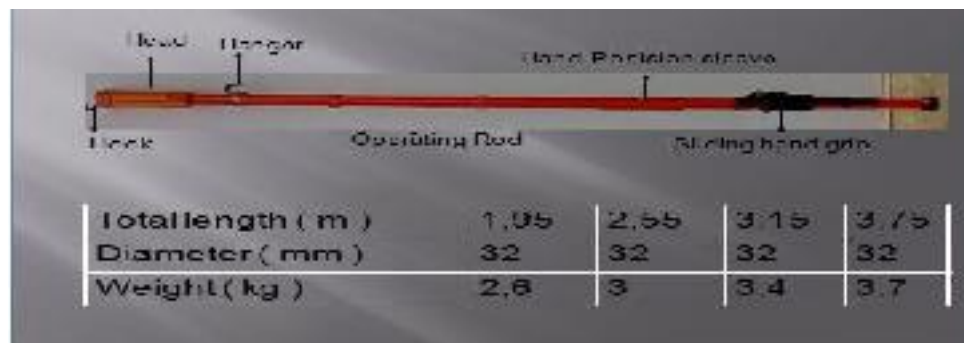
$$f_{\text{rata-rata}} = \frac{f^1 + f^2 + f^3 + \dots + f^6}{6} \text{kali/pelanggan} \dots \dots \dots (2.5)$$

Lamanya padam (SAIDI) dan frekuensi padam (SAIFI) merupakan suatu aspek keandalan dari suatu sistem distribusi. Frekuensi padam merupakan ukuran seberapa sering suatu pemadaman terjadi, umumnya frekuensi padam (Saifi) merupakan suatu fungsi penyebab terjadinya outage seperti tipe dan kondisi dari peralatan distribusi. Sedangkan lamanya (durasi) padam (Saidi) pada umumnya merupakan fungsi daripada organisasi ,manajemen dan sumberdaya untuk memperbaiki jaringan distribusi. Standar niali tertentu, SPLN 1985 adalah salah satu standar yang digunakan sesuai SPLN 1985 standar nilai SAIFI sebesar 3,2 kali/tahun dan SAIDI 21 jam/tahun. Namun nilai ini bukan menjadi patokan pekerjaan HLM karena sudah menjadi ranah seksi opdist pada tiap PLN. Nilai saidi dan saifi yang ditarget PT.PLN (Persero) Area Medan sebesar 1,0 kali/bulan dan nilai saidi dibawah 3 jam per bulan.

2.7 Peralatan Yang Digunakan Saat Pekerjaan HLM

Saat melakukan pekerjaan HLM digunakan peralatan – peralatan yang sudah diuji dengan tegangan 100 KV per 30 cm. Jumlah setiap peralatan terdapat sekitar 120 buah alat berisolasi semuanya harus diuji secara berkala ketahanan tegangannya dalam 3 bulan sekali, untuk mengetahui kebocoran peralatan (Fajarrullah, 2015). Secara umum peralatan yang digunakan dalam pekerjaan HLM antara lain sebagai berikut :

1. Hook Pole



Gambar 2.11 Hook Pole

Sumber: Alat-Alat Pdkb, Cvaristonkupang, 2019

Hook pole adalah peralatan yang digunakan dalam pemasangan dan pembongkaran peralatan yang akan dipasang di konduktor yang bertegangan. Pemakaian *hook pole* sering digunakan untuk pekerjaan penyambungan jaringan tegangan menengah dan pemasangan *conductor cover* dibagian kabel bertegangan.

2. Tie Pole



Gambar 2.12 Tie Pole

Sumber: Alat-Alat Pdkb, Cvaristonkupang, 2019

Seperti gambar diatas, *Tie pole* merupakan peralatan yang digunakan untuk membuka dan memasang *tie wire* (benrad) pada konduktor sebagai pengikat isolator. Dalam gambar alat ini sering digunakan saat pekerjaan pemeliharaan dalam penggantian pin isolator.

3. Wire Holding Stick

Wire holding stick yaitu peralatan yang digunakan oleh petugas hml untuk menahan / memegang konduktor bertegangan. Alat ini sering digunakan pada saat pekerjaan pemeliharaan sambungan transformator atau untuk pemeliharaan sambungan LBS, seperti gambar berikut :



Gambar 2.13 Wire Holding Stick

Sumber: Alat-Alat Pdkb, Cvaristonkupang, 2019

4. Rack Wire Cutter

Rack wire cutter seperti pada gambar , adalah peralatan yang digunakan untuk memotong konduktor. Pemakaian alat ini digunakan pada saat pekerjaan pemeliharaan penyambungan untuk konstruksi tegangan menengah misalnya saat pemeliharaan sambungan trafo ke SUTM atau sambungan LBS ke SUTM.

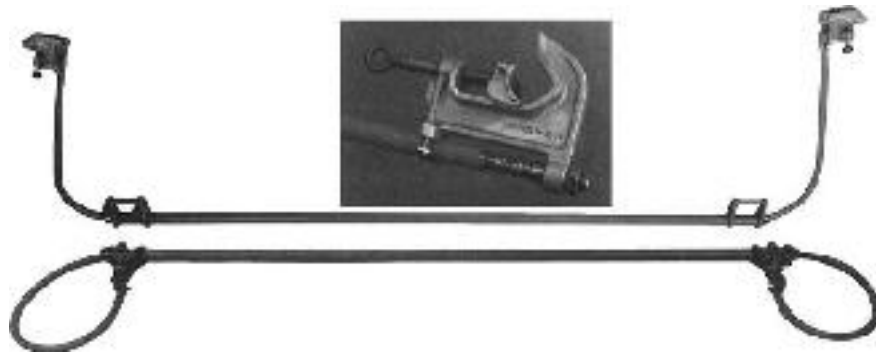


Gambar 2.14 Rack Wire Cutter

Sumber: Alat-Alat Pdkb, Cvaristonkupang, 2019

5. Temporary Jumper Set

Temporary jumper set merupakan sebuah kabel berisolasi yang digunakan untuk kabel penjumperan sementara ketika jumperan pada jaringan sedang diputus. Pemakaian *temporary jumper set* digunakan pada saat pekerjaan pemeliharaan sambungan percabangan, dimana sambungannya digantikan dengan *temporary jumper set* yang sudah dipotong.



Gambar 2.15 Temporary Jumper Set

Sumber: Alat-Alat Pdkb, Cvaristonkupang, 2019

6. Conductor Cover

Conductor cover adalah alat penutup konduktor yang digunakan agar jarak linesman dari konduktor dapat sedekat mungkin. Pemakaian *conductor cover* biasanya digunakan oleh pekerja linesman ketika pemeliharaan *load break switch*, penggantian fuse cut out bagian transformator, penggantian pin isolator, penyambungan baru kabel jaringan 3 phase, dan *emergency* jaringan lainnya.



Gambar 2.16 Conductor Cover

Sumber: Pdkb-Tm Area Tasik Makaya.

7. Tangga Isolasi

Tangga isolasi digunakan oleh linesman supaya ketika terjadi *short circuit* maka linesman tidak menyentuh dengan tanah. Tangga ini digunakan setelah tangga aluminium terpasang dahulu, yang terbuat dari fiber plastik sehingga memiliki tahanan isolasi yang tinggi.

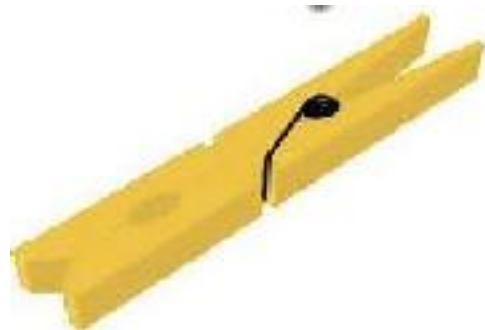


Gambar 2.17 Tangga Isolasi

Sumber: Pdkb-Tm Area Metro, Suhandi

8. Cover Pegs

Cover pegs merupakan alat pengepit yang digunakan untuk mencepit selimut isolasi agar insulated rubber blanket tidak terjatuh saat linesman sedang bekerja.



Gambar 2.18 Cover Pegs

Sumber: Pdkb Singkawang, Andrika Fajarrullah, 2015

9. Tangga Aluminium

Tangga aluminium adalah tangga yang digunakan sebagai tangga awal agar pondasi tidak meleset, tangga ini juga digunakan untuk memudahkan linesman menaiki tiang jaringan listik.

10. Insulating By Pass Jumper

Insulating By pass jumper merupakan sebuah peralatan yang digunakan untuk menyambung, digunakan pada saat pekerjaan jumper pada konstruksi tegangan menengah

11. Measuring Rod

Measuring rod yaitu suatu alat ukur jarak, digunakan untuk mengukur jarak EP pekerjaan dan mengukur panjang kabel jumper yang dibutuhkan, pengukuran panjang kabel jumper disesuaikan dengan konstruksi tiang.



Gambar 2.19 Measuring Rod

Sumber : Penulis ,2020

12. APD (Alat Pelindung Diri)

APD (alat pelindung diri) digunakan oleh linesman sebagai alat pelindung diri untuk keselamatan kerja dan groundman pada saat pekerjaan dilakukan. Jenis alat APD ini sendiri terdiri dari helm, *safety shoes*, *full body harness*, sarung tangan isolasi dengan ketahanan tegangan 20 KV, kaca mata ultraviolet, dan masker. Seperti gambar berikut, APD yang dipakai oleh pekerja HLM.



Gambar 2.20 APD (Alat Pelindung Diri)

Sumber: Alat Pelindung Diri, Pln Pdkb Sumedan

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan observasi kelengkapan dan sesuai dengan bentuk penelitian yang dilakukan untuk mencoba melakukan pengkajian terhadap data-data teknis yang terjadi pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 KV. Data- data kemudian yang didapat kemudian diolah dengan melakukan perhitungan secara matematis untuk memperoleh angka-angka kemudian membandingkannya dengan target PT.PLN (Persero) Area Medan.

3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

Untuk memenuhi data-data yang akan dibutuhkan dalam perhitungan tempat penelitian akan dilaksanakan pada jaringan distribusi saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 KV PT.PLN (Persero) Rayon Medan Baru. Penelitian ini mulai dilakukan pada januari sampai juni 2020. Dimana dalam 6(enam) bulan tersebut banyak gangguan pengerjaan pemeliharaan dan perbaikan jaringan sebanyak 325, dengan total durasi/lama perbaikan gangguan yang tercatat selama 571 jam. Total kWh terselamatkan dari bulan januari sampai juni 2020 sebesar 2.578.900,75 jika ditafsirkan kedalam rupiah terselamatkan sebesar 3.233.941.027,79 . sudah memenuhi target per bulannya dengan total target kWh dalam enam bulan tersebut 2.318.718. nilai parameter saidi 44,471 menit/pelanggan sedangkan untuk saifi sebesar 0,462 kali/pelanggan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

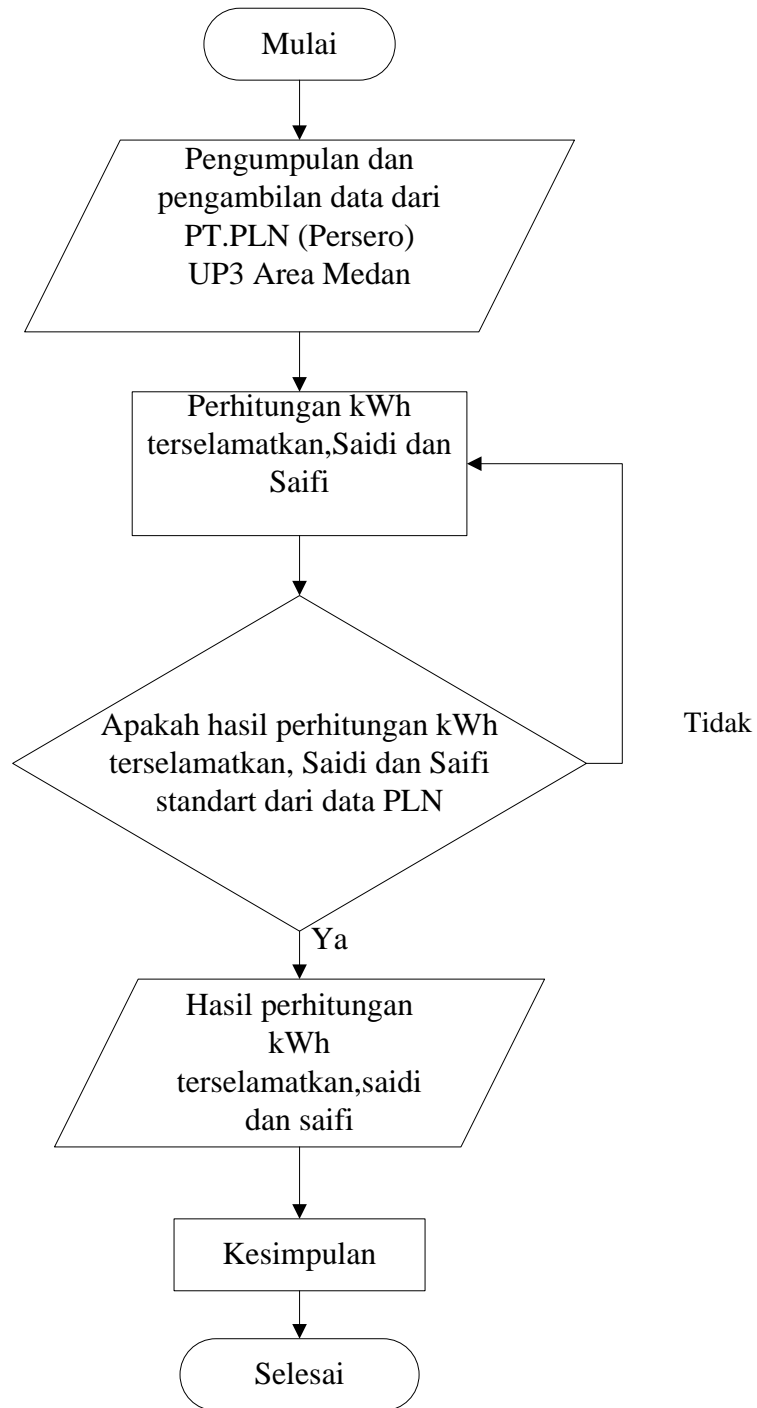
- a. Penelitian lapangan, dimana penulis melakukan observasi langsung kelapangan di PT.PLN (Persero) Rayon Medan Baru sistem 20 KV untuk memperoleh data dan informasi yang berhubungan dengan masalah penelitian.
- b. Diskusi / wawancara menanyakan berupa seputar PDKB (Pekerjaan dalam kondisi bertegangan) /*Hot Line Maintenance* untuk mencari data-data tentang alat yang dipergunakan saat melakukan pengerjaan dan dokumentasi berupa pengambilan foto tentang pekerjaan PDKB.
- c. Teknik dokumen, penulis melakukan dengan mencari dari buku-buku di perpustakaan dan jurnal yang dianggap dapat memberikan informasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

3.4 Teknik Analisa Data

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan ini adalah sebagai berikut :

- a. Analisa yang dilakukan mengetahui hasil dari perhitungan KWH yang berhasil terselamatkan dan berapa berapa rupiahnya.
- b. Menghitung indeks keandalan pemeliharaan dalam keadaan bertegangan dengan menentukan nilai-nilai SAIDI dan SAIFI.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.1: Diagram Alir (Flowchart)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jenis Peralatan Dalam Hot Line Maintenance

Dalam pelaksanaan pekerjaan HLM /PDKB digunakan peralatan-peralatan yang telah diuji dengan tegangan 100KV per 30 cm setiap 3 bulan sekali, sehingga jika terjadi kebocoran bisa cepat diketahui. Secara umum daftar peralatan yang digunakan dalam HLM antara lain sebagai berikut :

Tabel 4.1 Daftar Peralatan Yang Digunakan Untuk Pekerjaan HLM

No	Jenis Peralatan / Material	Jlh/Buah	Merek	Ukuran	Satuan Ukuran
1	Hook pole / grip-all clampsticks, dia 32 mm ²	3	Ritz	2,55	meter
	Hook pole / grip-all clampsticks, dia 32 mm ²	2	Catu	2,55	Meter
	Hook pole / grip-all clampsticks, dia 32 mm ²	2	Catu	3,20	Meter
	Hook pole / grip-all clampsticks, dia 32 mm ²	2	AB chance	3,80	Meter
	Hook pole / grip-all clampsticks, dia 32 mm ²	1	Ritz	3,80	Meter
2	Hook pole extension , dia 32 mm ²	1	Catu	1,22	Meter
3	Tipe pool / tie stiks, dia 32 mm ²	4	Catu	2,40	Meter
	Tipe pool / tie stiks, dia 32 mm ²	4	Ritz	2,40	Meter
4	Universal hand pole/universal poles, dia 32mm ²	2	AB chance	3,15	Meter
	Universal hand pole/universal poles, dia 32mm ²	1	Catu	2,40	Meter
	Universal hand pole/universal poles, dia 32mm ²	2	AB chance	1,90	Meter

5	Universal hand pole with rotary prong, dia 32mm ²	1	Catu	2,40	Metet
6	Insulated oiler pole, dia 32 mm ²	1	Ritz	2,40	Meter
7	Wire holding pole / wire holding sticks, dia 32 mm ²	2	AB chance	3,70	Meter
	Wire holding pole / wire holding sticks, dia 32 mm ²	2	Ritz	3,60	Meter
	Wire holding pole / wire holding sticks, dia 32 mm ²	1	AB chance	3,60	Meter
8	Rack wire cutter / ratchet cable cutters, dia 39 mm ²	3	Catu	3,70	meter
	Rack wire cutter / ratchet cable cutters, dia 39 mm ²	1	AB chance	3,60	Meter
9	Conductor support pole / wire tong, dia 38 mm ²	4	Catu	3,10	Meter
	Conductor support pole / wire tong, dia 38 mm ²	2	Catu	3,10	Meter
	Conductor support pole / wire tong, dia 38 mm ²	2	Ritz	2,55	Meter
10	Conductor support pole / wire tong, dia 63 mm ²	5	Catu	3,90	Meter
	Conductor support pole / wire tong, dia 63 mm ²	2	Ritz	3,90	Meter
	Conductor support pole / wire tong, dia 63 mm ²	3	Catu	5,10	Meter
11	Measuring rod, dia 10 mm ²	3	Ritz	3,00	meter
	Measuring rod, dia 10 mm ²	2	Catu	3,00	Meter
12	Auxiliary arm, dia 63 mm ²	1	Catu	0,90	Meter
13	Roller link pole/Roller link stick, dia 32 mm ²	3	AB chance	1,50	meter
14	Spiral link pole/ Spiral link stick, dia 32 mm ²	2	AB chance	0,70	Meter
15	Tension link pole/ srain link stick, dia 32 mm ²	2	AB chance	1,40	Meter
	Tension link pole/ srain link stick, dia 32 mm ²	2	Catu	1,00	Meter
16	Tension puller coupler, dia 32	2	Catu	0,70	Meter

17	Isulated hanger, dia,32 mm ²	2	Catu	0,50	Meter
18	Telescopic stick, dia 60 mm ²	3	Catu	12,00	Meter
	Telescopic stick, dia 60 mm ²	2	Ritz	12,00	Meter
19	Binding wire cutter	3	Catu	2,60	Meter
20	Conductor cover	11	Catu		
	Conductor cover	12	Ritz		
21	Tension string cover/ dead end covers	6	Catu		
	Tension string cover/ dead end covers	6	Ritz		
22	Pin type isulatorcover	7	Catu		
	Pin type isulatorcover	5	Ritz		
23	Pole cover, dia 300 mm ²	6	Ritz		Meter
	Pole cover, dia 300 mm ²	5	AB chance		Meter
24	Cross arm cover	9			Meter
25	Isulating flaxibel cover/ solid blankets 3,5mm	10	catu	0,50	Meter
26	Isulating flexible cover 0,8 mm	1	Catu		
27	Isulating blanket clamp / hot stick clamp	16	Ritz		
	Isulating blanket clamp / hot stick clamp	13	Catu		
28	Spliced ladders base (Aluminium)	4	Catu	3,20	Meter
	Spliced ladders base (Aluminium)	1	Catu	2,00	Meter
29	Full body harness	10	sala		Set
30	Spliced ladders seption (insulated)	3	Catu	3,00	Meter
	Spliced ladders seption (insulated)	8	Catu	2,00	Meter
	Spliced ladders seption (insulated)	2	ritz	1,00	Meter
31	Sepatu isolasi	16	Rovak		Pasag
32	Sarung tangan isolasi	1	Honeywell		Pasag
33	Kaca mata ultra violet	16	Oakley		
34	Mantel hujan	16	Dolphinwer		Pasag

35	Helm biru	14	Proguard		
	Helm merah	2	Proguard		
	Helm hijau	2	Proguard		

Sumber: Daftar inventaris peralatan HLM UP3 Medan

Data daftar peralatan diatas merupakan jumlah keseluruhan peralatan kerja yang digunakan untuk melakukan pekerjaan pemeliharaan jaringan distribusi untuk PT. PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Sumut UP3 Medan. Daftar peralatan tersebut diantaranya meliputi peralatan berisolasi yang sudah di ujicoba dengan tegangan tinggi.

4.1.1 Data Pekerjaan Di Lapangan



Gambar 4.1 Bongkar Sambung DS



Gambar 4.2 Pemutusan Kabel Jumper



Gambar 4.3 Pemutusan Kabel Aresster



Gambar 4.4 Penyisipan Tiang



Gambar 4.5 Penggantian Isolator



Gambar 4.6 Penjumperan Kabel Baru

1.2 Data Penyulang

Daftar gardu induk dan penyulang yang mencakup PT.PLN Area Medan dengan nilai arus yang mengalir pada daerah tersebut pada bulan januari 2020 terdapat dalam tabel berikut.

Tabel 4.2: Daftar Gardu Induk Dan Penyulang

No	Gardu Induk	Penyulang	Arus		No	Gardu Induk	Penyulang	Arus
1	Titikuning	TT.04	142	2	Denai	DA.07	141	
		TT.04	142			DA.06	111	
		TT.04	142	DA.05		151		
		TT.04	142	DA.05		151		
		TT.04	142	DA.05		151		
		TT.04	142	DA.05		151		
		TT.04	142	DA.06		114		
		TT.04	142	3		Listrik	LI.04	160
		TT.03	115				LI.04	160
		TT.03	115				LI.04	160
	TT.03	115	LK.04		210			
	TT.05	140	LS.03		142			
	TT.05	140	LS.06		167			
	TT.05	140	LS.06		167			
	TT.03	115	LS.06		167			
	TI.06	151	LS.07		189			
	TI.06	151	LS.07		189			
	TI.08	130	LS.07	189				
	TI.08	130	4	Glugur	GG.06	115		
	TI.08	130			GG.06	115		
TK.06	180	GG.06			115			
TK.06	180	GL.03			79			
TK.06	180	GL.03			79			
TN.06	168	GL.03			79			
2	Denai	DN.02	101	5	Payageli	PA.07	100	
		DN.02	101			PA.07	100	
		DN.04	200			PA.07	100	
		DA.02	141			PA.01	100	
		DA.02	141			PA.01	100	

		DA.02	141		6	Maimun	BG.03	160
--	--	-------	-----	--	---	--------	-------	-----

Sumber: Data Laporan Pekerjaan HLM-TM PT.PLN (Persero) UP3 Medan

Dari Tabel 4.2 diatas dapat diketahui bahwa dalam pekerjaan dengan keadaan bertegangan (PDKB) Area Medan mencakup 6 Gardu Induk. Pada bulan januari terdapat 59 penyulang dari 6 gardu induk dan memiliki nilai arus yang berbeda-beda. Dimana pada gardu titikuning terdapat 24 penyulang, gardu induk denai 12 penyulang, gardu induk listrik terdapat 11 penyulang, gardu induk glugur 6 penyulang, gardu induk payageli terdapat 6 penyulang dan untuk gardu induk maimun terdapat 1 penyulang. Dimana tinggi rendahnya arus dipengaruhi titik pekerjaan yang dilakukan. Pencatatan arus dimulai saat arus masih mengalir dan tidak mengalami pemadaman. Seperti yang terdapat pada tabel bawah ini merupakan data laporan hasil pekerjaan dari bulan januari 2020.

Tabel 4.3: Data Laporan Jenis Pekerjaan HLM dan Durasi Pengerjaan Dari Tiap Titik Kerja

No	Jenis pekerjaan	Lokasi pekerjaan	Rayon	Titik Kerja	Durasi Pekerjaan (jam)	Penyulang		Jlh Plg	Jlh Plg Unit
						Teg	Arus		
1	Pemasangan lighthning arrester	Jl. Perumahan riverview	Medan baru	1	2	20 kv	130	2448	372252
2	Penggantian jumper atas	Jl. Putri hijau	Medan kota	1	2	20 kv	142	3220	372252
3	Sambungan baru percabangan tumpu lurus	Jl. Razak	Medan baru	1	2	20 kv	142	4507	372252
4	Sambungan baru percabangan isolator penegang lurus	Jl. Selamat ujung	Medan baru	11	21	20 kv	210	41536	372252
5	Pemasangan jumper transformator 3 fasa pada tiang satu	Jl. Bajak v	Medan selatan	3	6	20 kv	168	9287	372252

6	Pemasangan jumper transformator 3 fasa pada dua tiang / portal	Jl. Selamat ujung	Medan selatan	5	10	20 kv	151	24795	372252
7	Memasang tiang sisipan	Jl. Pasar baru	Medan baru	2	4	20 kv	142	3004	372252
8	Penggantian cross arm / traverse	Jl. Pasar baru	Medan baru	2	4	20 kv	142	3004	372252
9	Penggantian holder fuse cut out dengan menggunakan UGD	Jl. M basyir	Medan baru	2	3	20 kv	130	4896	372252
10	Pemeliharaan isolator tumpu fasa R HLM-TM metode sentuh langsung	Jl. Samanhudi	UP3 Medan	1	2	20 kv	160	7354	372252
11	Penggantian LA fasa R pada konstruksi LA terpisah HLM-TM metode sentuh langsung	Jl. Abdullah lubis	Medan baru	2	4	20 kv	167	1661	372252
12	Penggantian LA fasa S pada konstruksi LA terpisah HLM-TM metode sentuh langsung	Jl. Abdullah lubis	Medan baru	2	4	20 kv	167	1661	372252
13	Penggantian LA fasa T pada konstruksi LA terpisah HLM-TM metode sentuh langsung	Jl. Abdullah lubis	Medan baru	2	4	20 kv	167	1661	372252
14	Pemasangan penangkal petir	Jl. STM	Medan selatan	24	45	20 kv	180	61596	372252
Jumlah				59	110			170630	372252

Sumber: Data Laporan Pekerjaan HLM-TM PT.PLN (Persero) UP3 Medan

4.1 Analisa Dan Perhitungan

4.3.1 Perhitungan kWh Jual dan Rupiah Terselamatkan

Data laporan hasil pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan jaringan yang dilakukan tim HLM dari bulan Januari sampai juni 2020 dengan 96 jenis pekerjaan dari 325 titik kerja. Pelaksanaan pekerjaan yang dilakukan dengan durasi/lama pengerjaan (jam) tercatat selama proses pemeliharaan dan perbaikan

jaringan dilakukan. Jenis pekerjaan dari tiap rayon dengan beban (Ampere) penyulang yang berbeda.

Dari data yang sudah didapat dapat dianalisis menggunakan rumus yang ada seperti pada perhitungan dibawah.

Pada kegiatan Penggantian jumper atas dan Sambungan baru percabangan tumpu lurus yang dilakukan dengan sistem pekerjaan tanpa memadamkan aliran listrik pada bulan januari seperti yang terdapat dalam tabel. Dapat dicari nilai KWh yang terselamatkan dan berapa nilai rupiah yang berhasil diselamatkan dalam penyulang LS.03 dan TT.04 dapat dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui besar arus yang mengalir dan durasi pengerjaan, untuk asumsi tegangan line to line 20 KV dan $\cos \phi$ sebesar 0,85. Yang mana V_3 (tegangan line tiga fasa) $\sqrt{3} = 1,732$ terukur arus yang mengalir sebesar 142 A. dari pemeliharaan yang dilakukan tercatat lama pengerjaan selama 2 jam. Maka, dengan menggunakan rumus (2.1) diperoleh perhitungan besar KWh yang dapat terselamatkan dengan sistem HLM sebesar.

$$\begin{aligned}
 E_{safe} &= \frac{\sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi \cdot t}{1000} \\
 &= \frac{\sqrt{3} \cdot (20000) \cdot (142) \cdot (0,85) \cdot 2}{1000} \\
 &= 8.362,096 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Dari perolehan KWh yang diselamatkan diatas maka dapat dicari berapa rupiah yang didapat selama pekerjaan. Menurut TUL III-09 harga jual rupiah/kwh satu bulan berjalan sekarang yaitu januari 2020, adalah Rp. 1.254/KWh. Dengan mengalikan

besar energi (kwh) terselamatkan terhadap harga jual listrik PT.PLN (persero) UP3

Medan bulan januari 2020 diperoleh perkiraan rupiah terselamatkan :

$$\begin{aligned}
 Rp_{safe} &= E_{safe} \times (\text{Rp/KWh}) \\
 &= E_{safe} \times 1.254 \\
 &= 4.181,048 \times 1.254 \\
 &= \text{Rp } 10.486.068,4
 \end{aligned}$$

Jadi dengan pekerjaan pengantian jumper dan penyambungan baru tumpu lurus yang dilakukan dengan sistem HLM diperoleh nilai KWh terselamatkan sebesar 8.362,096 kWh dan dengan nilai rupiah sebesar Rp 10.486.068,4 Seperti perhitungan diatas pekerjaan perbaikan dan pemeliharaan yang dilakukan oleh HLM UP3 medan pada penyulang lain dibulan januari yang berjumlah 59 gangguan pemeliharaan dan perbaikan jaringan dengan 14 jenis pekerjaan HLM dengan hasil yang berbeda-beda. Dan perhitungan diatas merupakan salah satu contoh dari sekian banyak pekerjaan dibulan januari 2020 sampai februari 2020.

Maka dengan perhitungan yang sama didapat perolehan hasil keseluruhan besar nilai kwh yang diselamatkan dan perkiraan rupiah terselamatkan dari keseluruhan pemeliharaan, perbaikan dan perluasan jaringan pada bulan januari 2020 sampai juni 2020.

Tabel 4.4: Hasil Perhitungan Kwh Terselamatkan Dan Rupiah Diselamatkan.

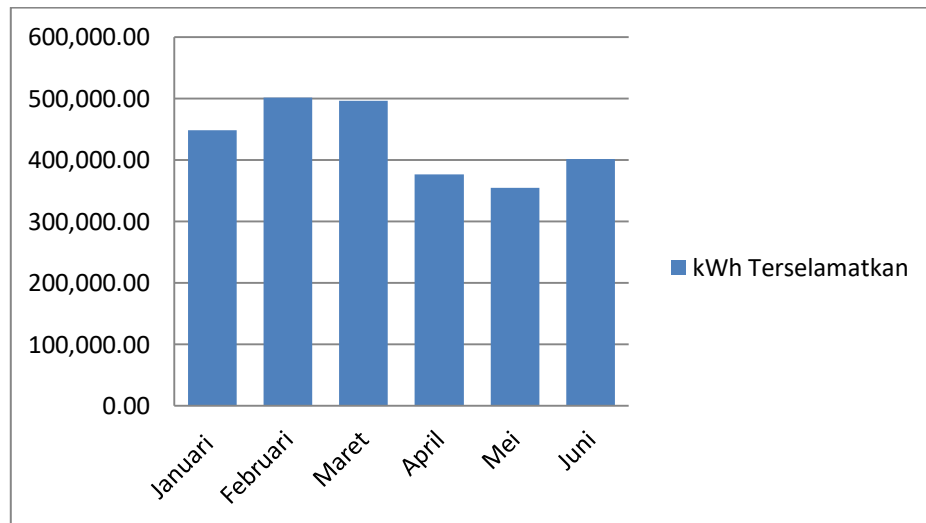
No	Bulan	Jlh Titik Pekerjaan	Durasi	Data Target kWh PLN	KWh Terselamatkan	Perkiraan Rp Diselamatkan
1	Januari	59	110	437.980	448.249,08	562.104.341,89
2	Februari	59	113	415.897	501.667,36	629.090.872,87
3	Maret	67	126	437.980	495.852,66	621.799.239,99
4	April	43	81	327.565	376.794,87	472.500.764,47

5	Mei	38	65	327.565	354.864,40	444.999.450,15
6	Juni	59	76	371.731	401.472,38	503.446.358,42
Jumlah		325	571	2.318.718	2578.900,75	3.233.941.027,79

Sumber: Data Laporan Pekerjaan HLM-TM PT.PLN (Persero) UP3 Medan

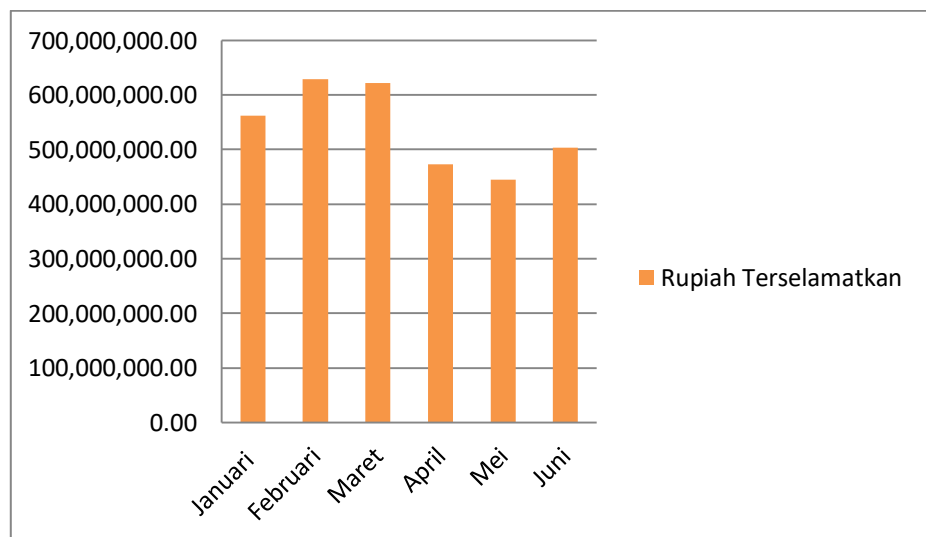
Dari tabel 4.4 diatas diketahui total KWh dan Rp terselamatkan dalam 6 bulan pekerjaan HLM yang dilakukan. Dengan jumlah titik pekerjaan secara keseluruhan sebanyak 325 pekerjaan dengan durasi lama pengerjaan yang tercatat sebanyak 571 jam. Jumlah keseluruhan kwh yang terselamatkan dalam enam bulan pekerjaan diatas sebesar 2.578.900,75 kWh dengan rincian terbesar terdapat pada bulan february sebesar 501.667,36 kWh dari 59 titik pekerjaan. Dan nilai kwh terkecil yang terselamatkan terjadi pada bulan mei yaitu sebesar 354.864,40 kWh serta jumlah keseluruhan perkiraan rupiah yang terselamatkan dari 6 (enam) bulan pekerjaan yaitu sebesar Rp 3.233.941.027,79. Dimana rincian terbesar yang diperoleh terdapat pada bulan february sebesar Rp. 629.090.872,87 dan pendapatan terkecil pada bulan mei sebesar Rp. 444.999.450,15 .Dari perolehan nilai yang didapat bahwa jika pekerjaan pemeliharaan jaringan tidak dilakukan dengan HLM sehingga memerlukan pemadaman untuk tiap titik pekerjaan. Maka energi listrik yang tidak tersalurkan akan berubah menjadi rugi-rugi berupa terbuangnya penjualan KWH dan kenaikan frekuensi sistem. Hal ini akan sangat merugikan perusahaan listrik Negara (PLN) karena tidak dapat menjual listrik yang sudah dibangkitkan karena terbuang menjadi rugi- rugi kenaikan frekuensi sistem akibat pemutusan aliran listrik ketika proses pemeliharaan dan perbaikan jaringan sistem.

Dari hasil perhitungan tabel (4.4) dari bulan Januari 2020 sampai Juni 2020 dapat dibuat grafik perbandingan antara besar kecilnya kWh yang terselamatkan dan rupiah terselamatkan, grafik tersebut dapat dilihat pada grafik 1 dan 2.



Gambar 4.1: Grafik kWh terselamatkan

Sumber: Penulis,2020



Gambar 4.2: Grafik rupiah terselamatkan

Sumber: Penulis,2020

Dari grafik diatas bisa dilihat besar kWh terselamatkan dan rupiah terselamatkan mengalami naik turun setiap bulannya. Dari grafik tersebut diketahui puncak tertinggi kWh dan rupiah terselamatkan terdapat pada bulan february sebesar 501.667,36 kWh jika dirupiahkan sebesar Rp 629.090.872,87. Pada bulan maret kWh terselamatkan sebesar 495.852,66 dan rupiah terselamatkan RP 621.799.239,99 mengalami penurunan, disusul kembali pada bulan april yang mengalami penurunan sebesar 376.794,87 kWh dengan perkiraan rupiah terselamatkan Rp. 472.500.764,47 juga pada bulan mei yang mengalami penurunan pesat terbesar dengan angka kWh terselamatkan 354.864,40 bila dirupiahkan Rp 444.999.450,15 dan bulan juni mengalami kenaikan sebesar 401.472,38 kWh bila di rupiahkan Rp 401.472,38. Jumlah keseluruhan dari enam bulan perhitungan tersebut sebesar 2.578.900,75 kWh dan jumlah rupiah yang terselamatkan dalam 6 bulan tersebut sebesar Rp 3.233.941.027,79.

4.3.2 Analisa Perhitungan Rasio Saidi Dan Saifi

Adapun data-data yang dibutuhkan untuk proses analisa perhitungan indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik, yang merupakan data pelanggan dan hasil monitoring gangguan yang terjadi pada PT.PLN (Persero) Area Medan. Data ini akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui lama dan jumlah pemadaman yang terjadi selama 6 (enam) bulan 2020. Menurut jenis gangguan jumlah dan lama pemadaman yang tercatat serta jumlah total pelanggan yang dilayani selam 6 bulan dalam perhitungan keandalan. Adapun data laporan gangguan yang terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 4.5: Data Jumlah Gangguan Pelanggan Padam PT.PLN (Persero) Area Medan Dalam 6 Bulan 2020.

No	Bulan	Jlh Ggn	Durasi Pengerjaan	Arus Beban (A)	jlh plgn Unit	jlh plgn padam	Jlh Plgn Padam x Lama Pada
1	januari	59	110	8.175	37.252	170.630	316.426.533.333
2	februari	59	113	8.777	379.029	186.234	358.234.866.667
3	maret	67	126	8.915	379.029	177.118	334.654.566.667
4	april	43	81	7.040	379.029	178.641	340.140.266.667
5	mei	38	65	6.874	379.029	118.697	211.741.616.667
6	juni	59	76	10.756	383.893	219.629	308,203,433,333
Jumlah		325	571	50.537	2.272.261	1.050.949	1.869.401.283.334

Sumber: Data Laporan Pekerjaan HLM-TM PT.PLN (Persero) UP3 Medan

A. Perhitungan SAIDI

Dari data analisa diatas dapat diketahui perhitungan Saidi yang dialami pelanggan jika pekerjaan tersebut tidak dilaksanakan dengan teknik HLM dan pekerjaan dengan teknik HLM. Diketahui dalam suatu perkerjaan gangguan yang terjadi dalam bulan januari terdapat 59 gangguan, dengan jumlah pelanggan yang mengalami padam sebanyak 170.630 dengan total pelanggan unit 372.630. Dimana lama pengerjan gangguan total 110 menit/pelanggan. Dengan menggunakan rumus (2.2) dapat dicari nilai saidi adalah sebagai berikut :

Dengan teknik HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saidi} &= \sum \frac{ki \ ti}{N} \\
 &= \frac{110 \times 170.630}{372.252} \\
 &= 50,4209 \text{ menit/pelanggan/bulan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned} \text{Saidi} &= \sum \frac{ki \ ti}{N} \\ &= \frac{110 \times 372.252}{372252} \end{aligned}$$

$$= 110 \text{ menit/pelanggan/bulan}$$

Dari hasil perhitungan nilai saidi dengan menggunakan teknik HLM maka diperoleh nilai saidi sebesar 50,4209 menit/pelanggan/bulan, data yang diperoleh dari PLN nilai saidi yang didapat sebesar 51,002 menit/pelanggan/bulan. Sedangkan dengan perhitungan saidi tanpa HLM sebesar 110 menit/pelanggan/bulan. Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa dengan pemeliharaan jaringan distribusi tanpa memadamkan jaringan listrik dapat menjamin keberlangsungan energi jual. Maka dengan perhitungan yang sama diperoleh tabel nilai saidi dalam 6 (enam) bulan 2020 sebagai berikut :

Tabel 4.6: Perhitungan Saidi Dalam 6 Bulan

NO	Bulan	Jlh Plgn Unit	Jlh Plgn Padam	SAIDI		
				Data dari PLN	Hasil Perhitungan	
					Dengan HLM	Tanpa HLM
1	Januari	372.252	170.630	51,002	50,420	110
2	Februari	379.029	186.234	56,708	55,521	113
3	Maret	379.029	177.118	57,976	58,879	126
4	April	379.029	178.641	38,170	38,176	81
5	Mei	379.029	118.697	20,319	20,355	65
6	Juni	383.893	219.629	43,450	43,480	76

Sumber: Data Laporan Pekerjaan HLM-TM PT.PLN (Persero) UP3 Medan

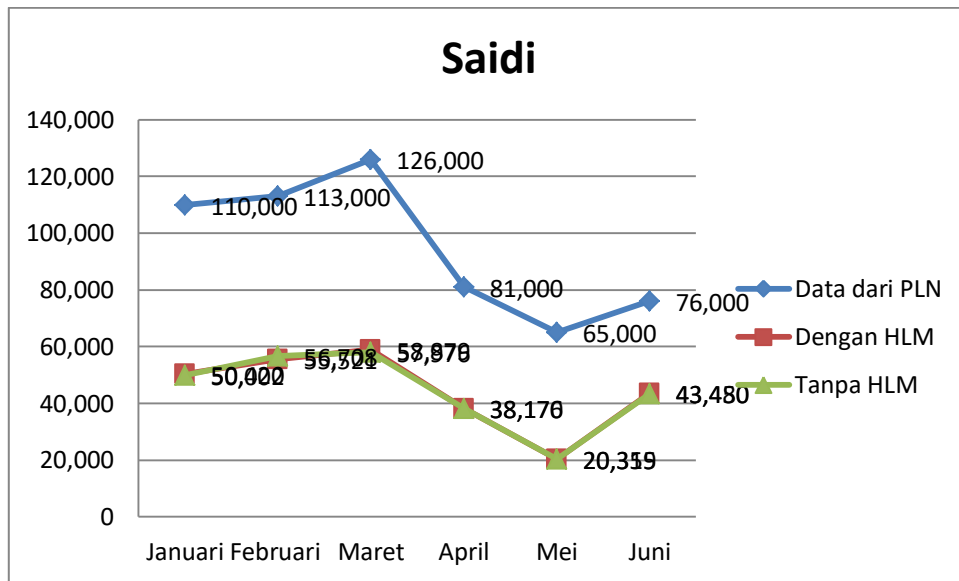
Dari tabel diatas dapat diketahui nilai saidi setiap bulan pada tahun 2020, dimana nilai saidi pemadaman yang ditargetkan oleh PLN Area Medan dibawah 3 jam/bulan, sedangkan dari perhitungan yang diperoleh dalam 6 bulan berjalan angka tersebut telah memenuhi standar. Angka durasi lama gangguan pemadaman paling lama yang dialami konsumen tercatat pada bulan maret yaitu sebesar 58,879 menit/pelanggan/bulan, data yang diperoleh dari PLN 57,976 menit/pelanggan, angka ini telah memenuhi standar PLN yang diharapkan. Lama padam yang kedua tercatat pada bulan february sebesar 55,521 menit/pelanggan/bulan, data dari PLN 56,708 menit/pelanggan dan angka lama padam terkecil terjadi pada bulan mei sebesar 20,355 menit/pelanggan data dari pln sebesar 20,319 menit/perpelanggan. Dari perolehan data selama 6 bulan dapat dicari penilaian untuk mendapatkan nilai rata-rata saidi dengan menggunakan rumus (2.3) sebagai berikut :

$$d_{\text{rata-rata}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_6}{6}$$

$$d_{\text{rata-rata}} = \frac{50,420 + 55,521 + 58,879 + 38,176 + 20,355 + 43,480}{6}$$

$$d_{\text{rata-rata}} = 44,471 \text{ menit/pelanggan/bulan}$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa besarnya nilai saidi rata-rata dalam bulan januari sampai juni 2020 sebesar 44,471 menit/pelanggan, telah memenuhi target yang diharapkan pln, dimana target saidi dari PLN dibawah 3 jam per bulan Secara lebih jelas untuk melihat perhitungan diatas dapat dilihat grafik perbandingan saidi berikut :



Gambar 4.3: Grafik Nilai Saidi Januari Sampai Juni 2020

Sumber: Penulis, 2020

B. Perhitungan SAIFI

Diketahui nilai $\sum kiti$ dalam suatu pekerjaan gangguan yang terjadi dalam bulan february terdapat 59 gangguan, dengan jumlah pelanggan yang mengalami padam sebanyak 170.630 dimana terdapat total pelanggan unit sebanyak 372.630. Kemudian dengan menggunakan rumus (2.3) dapat dicari nilai saifi adalah sebagai berikut :

Dengan HLM

$$SAIFI = \sum \frac{ki \lambda i}{N}$$

$$= \frac{186,234}{379,029}$$

$$= 0,491 \text{ kali/pelanggan/bulan}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned} \text{SAIFI} &= \sum \frac{ki + \lambda i}{N} \\ &= \frac{186,234 + 379,029}{379,029} \\ &= 1,491 \text{ kali/pelanggan/bulan} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai saifi dengan pekerjaan HLM sebesar 0,491 kali/pelanggan/bulan, sedangkan nilai saifi yang didapat tanpa teknik HLM sebesar 1,491 kali/pelanggan/bulan. Maka dengan perhitungan yang sama diperoleh nilai saifi selama 6 (enam) bulan 2020 seperti yang terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 4.7: Perhitungan Saifi Dalam 6 Bulan

NO	Bulan	Jlh Plgn Unit	Jlh Plgn Padam	SAIFI		
				Data dari PLN	Hasil Perhitungan	
					Dengan HLM	Tanpa HLM
1	Januari	372.252	170.630	0,458	0,458	1,458
2	Februari	379.029	186.234	0,491	0,491	1,491
3	Maret	379.029	177.118	0,467	0,467	1,467
4	April	379.029	178.641	0,471	0,471	1,471
5	Mei	379.029	118.697	0,313	0,313	1,313
6	Juni	383.893	219.629	0,575	0,572	1,572

Sumber: Data Laporan Pekerjaan HLM-TM PT.PLN (Persero) UP3 Medan

Dari hasil perhitungan yang diperoleh pada tabel diatas dapat lihat nilai saifi setiap 6 bulan berjalan 2020 dimana nilai saifi terbesar yang didapat yaitu pada bulan juni sebesar 0,572 kali/pelanggan/bulan sedangkan data yang didapat dari PLN sebesar 0,575 kali/pelanggan/bulan. Nilai saifi yang ditargetkan PLN perbulan

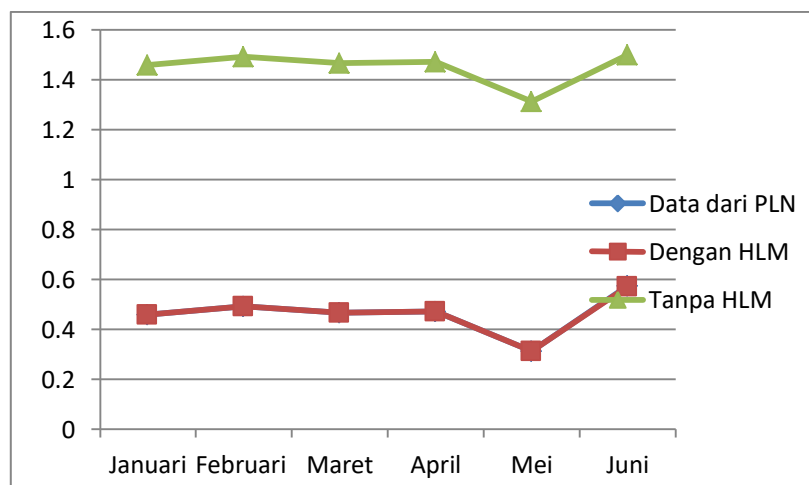
sebesar 1,0 kali/pelanggan/bulan, saifi nilai terkecil terdapat pada bulan mei sebesar 0,313 kali/pelanggan memiliki data sama dari data yang didapat dari PLN. Dari data selama 6 bulan dapat dicari nilai untuk mendapatkan nilai rata-rata saifi dengan menggunakan rumus (2.4) sebagai berikut :

$$f_{\text{rata-rata}} = \frac{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_6}{6}$$

$$f_{\text{rata-rata}} = \frac{0,458 + 0,491 + 0,467 + 0,471 + 0,313 + 0,572}{6}$$

$$f_{\text{rat-rata}} = 0,462 \text{ kali/pelanggan/bulan}$$

Maka dapat dilihat besar nilai rata-rata dari saifi dalam bulan januari sampai bulan juni 2020 sebesar 0,462 kali/pelanggan/bulan perolehan nilai yang didapat telah memenuhi target yang ingin dicapai PLN, dimana target saifi dari PLN sebesar 1,0 kali/pelanggan/bulan. Secara lebih jelas untuk melihat perhitungan diatas dapat dilihat grafik perbandingan saifi berikut :



Gambar 4.4: Grafik Nilai Saifi Bulan Januari Sampai Juni 2020
Sumber: Penuli,2020

Ini menandakan bahwa pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan jaringan distribusi tegangan menengah dengan teknik HLM (hot line maintenance) akan memperkecil atau meminimalisir pemadaman yang terjadi ke pelanggan. Setiap pelaksanaan pekerjaan HLM selesai, maka secara tidak langsung perusahaan akan mendapatkan KWh jual. Secara umum KWh jual yang diperoleh merupakan keuntungan yang diperoleh dari aktivitas pekerjaan HLM yang memberikan keuntungan berupa, penghematan biaya operasi (rupiah terselamatkan), meningkatkan kwh jual dan memaksimalkan tingkat ketersediaan kapasitas pelayanan kepada pelanggan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Dari uraian hasil analisis mengenai Analisis Minimalisasi Pemadaman Dengan Cara Sistem *Hot Line Maintenance* Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt Pln (Persero) Area Medan. Penggunaan teknik HLM dapat menyelamatkan KWh jual, mengurangi durasi dan frekuensi pemadaman serta meningkatkan citra pelayanan perusahaan PLN terhadap pelanggan.
- 2) Peningkatan energi/KWh salur yang terselamatkan dari bulan januari 2020 sampai juni 2020 mengalami naik turun, dimana angka terbesar kWh terselamatkan terdapat pada bulan Februari sebesar 501.667,36 dengan rupiah terselamatkan Rp 629.090.872,87. Dan pendapatan kWh terselamatkan terkecil terdapat pada bulan mei 354.864,40 dengan rupiah terselamatkan sebesar Rp 444.999.450,15. Maka total keseluruhan kWh terselamatkan dari bulan januari sampai juni 2020 sebesar 2.578.900,75 dengan perkiraan rupiah terselamatkan sebesar Rp 3.233.941.027,79. Dimana jumlah pekerjaan pemeliharaan dalam 6(enam) bulan sebanyak 325 pekerjaan dan total durasi pekerjaan 571 menit/pelanggan.
- 3) Berdasarkan analisis keandalan durasi/lama gangguan pemadaman (SAIDI) selama bulan januari sampai juni 2020, nilai saidi tertinggi terjadi bulan maret sebesar 58,879 menit/pelanggan/bulan, data yang diperoleh dari PLN 57,976 menit/pelanggan, tanpa HLM sebesar 126 menit/pelanggan.

Sedangkan perolehan saidi terkecil terdapat pada bulan mei dan april sebesar 20,355 menit/pelanggan, data dari PLN 20,319 menit/pelanggan, tanpa HLM 65 menit/pelanggan dan pada bulan april 38,176 menit/pelanggan, data dari PLN 38,170 menit/pelanggan tanpa HLM 81 menit/pelanggan/bulan. Perolehan saidi rata-rata selama 6 bulan sebesar 44,471 menit/pelanggan telah memenuhi target yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero) Area Medan dibawah 3 jam/bulan.

- 4) Dari hasil perhitungan saifi dari bulan januari sampai juni 2020 nilai saifi tertinggi bulan juni sebesar 0,572 kali/pelanggan/bulan data dari PLN 0,575 kali/perpelanggan, tanpa HLM 1,572 kali/pelanggan. Nilai terkecil pada bulan mei sebesar 0,313 kali/pelanggan, data dari PLN sama, tanpa HLM 1,313 kali/pelanggan. Nilai rata-rata dalam 6 bulan pengerjaan 0,462 kali/pelanggan, telah memenuhi nilai targer komulatif PT.PLN (Persero) Area Medan dibawah 1,0 kali/pelanggan.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian penulis menyarankan untuk pihak penyedia listrik khususnya di PT.PLN (Persero) Area Medan. Pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan jaringan listrik dengan sistem hot line maintenance (HLM) perlu adanya pengembangan sehingga dapat meningkatkan jumlah kwh yang terselamatkan dan menekan angka saidi,saifi sekecil mungkin. Maka keandalan sistem pada jaringan tegangan menengah tetap terjaga dan tidak dirugikan akibat pemadaman listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Daman suswanto, (2019). *“Sistem Distribusi Tenaga Listrik (Edisi Pertama) “*. Padang: Universitas Negeri Padang
- Faisal Amin Wise, (2012). *Konstruksi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta: KUPDF
- KEPDIR Nomor. 605 .K/DIR/2010, PT. PLN (Persero), (2010). *“Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik”* . Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Stevensor, William D, Jr.,(1994). *“Analisis Sistem Tenaga Listrik”*, Jakarta : Erlangga
- DR. A. Munandar, DR. S Kuwahara, (2004). *“Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik jilidIII”*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- SPLN 82-3. 1991. *Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan Bagian 3 Lembar Teknik Perkakas dan Lembar teknik-Metode operasi*. PT.PLN (Persero).
- SPLN 59, 1985, *Keandalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*. Jakarta: PT. PLN (Persero)
- Surya Nur Hidayat, Karnoto. (2018). *analisis perbandingan nilai saidi dan saifi pln. apj purwokerto tahun 2014, 2015 dan 2016 dengan standar spln 1985*
- Dian Eka Putra,(2016). *Analisa Kontribusi Peran Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Terhadap Peningkatan KWH Jual Pada Penyulang Virgo Di PT.PLN (Persero) WS2JB Area Lahat*. jurnal,AMPER (hal. 1-5).Palembang: Fakultas Teknik Universitas Palembang.
- Aggie Brenda Vernandez, (2013). *Makalah Seminar Kerja Praktek*. E-journal SPEKTRUM (hal. 1-7). Semarang: Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Putra, Dorry Aznur. 2014. *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Berdasarkan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN Ranting Balai Salasa*. Tugas Akhir. Teknik Elektro Institut Teknologi Padang. Padang.
- Catur Bayu Setiawan, & Tri Rijanto. (2017) *Analisis kWh Terselamatkan Pada Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan*. Jurnal teknik elektro (hal. 83-85) Surabaya: Fakultas Teknik. Universitas Negeri Surabaya
- Badawi, A. (2018). *Evaluasi Pengaruh Modifikasi Three Pass Protocol Terhadap Transmisi Kunci Enkripsi*.
- Batubara, Supina. "Analisis perbandingan metode fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno untuk penentuan kualitas cor beton instan." *IT Journal Research and Development* 2.1 (2017): 1-11.

- Bahri, S. (2018). *Metodologi Penelitian Bisnis Lengkap Dengan Teknik Pengolahan Data SPSS*. Penerbit Andi (Anggota Ikapi). Percetakan Andi Offset. Yogyakarta.
- Erika, Winda, Heni Rachmawati, and Ibnu Surya. "Enkripsi Teks Surat Elektronik (E-Mail) Berbasis Algoritma Rivest Shamir Adleman (RSA)." *Jurnal Aksara Komputer Terapan* 1.2 (2012).
- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res*, 3(7), 214-219.
- Hardinata, R. S. (2019). Audit Tata Kelola Teknologi Informasi menggunakan Cobit 5 (Studi Kasus: Universitas Pembangunan Panca Budi Medan). *Jurnal Teknik dan Informatika*, 6(1), 42-45.
- Hariyanto, E., Lubis, S. A., & Sitorus, Z. (2017). Perancangan prototipe helm pengukur kualitas udara. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 1(1).
- Hariyanto, E., & Rahim, R. (2016). Arnold's cat map algorithm in digital image encryption. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(10), 1363-1365.
- Harumy, T. H. F., & Sulistianingsih, I. (2016). Sistem penunjang keputusan penentuan jabatan manager menggunakan metode mfep pada cv. Sapo durin. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia* (pp. 6-7).
- Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Purba, N. E., & Purwanto, D. (2017). Prim's Algorithm for Optimizing Fiber Optic Trajectory Planning. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 3(6), 504-509.
- Marlina, L., Muslim, M., Siahaan, A. U., & Utama, P. (2016). Data Mining Classification Comparison (Naïve Bayes and C4. 5 Algorithms). *Int. J. Eng. Trends Technol*, 38(7), 380-383.
- Muttaqin, Muhammad. "ANALISA PEMANFAATAN SISTEM INFORMASI E-OFFICE PADA UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI MEDAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE UTAUT." *Jurnal Teknik dan Informatika* 5.1 (2018): 40-43.
- Ramadhan, Z., Zarlis, M., Efendi, S., & Siahaan, A. P. U. (2018). Perbandingan Algoritma Prim dengan Algoritma Floyd-Warshall dalam Menentukan Rute Terpendek (Shortest Path Problem). *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 5(2), 135-139.
- Rahim, R., Aryza, S., Wibowo, P., Harahap, A. K. Z., Suleman, A. R., Sihombing, E. E., ... & Agustina, I. (2018). Prototype file transfer protocol application for LAN and Wi-Fi communication. *Int. J. Eng. Technol.*, 7(2.13), 345-347.
- Wahyuni, Sri. "Implementasi Rapidminer Dalam Menganalisa Data Mahasiswa Drop Out." *Jurnal Abdi Ilmu* 10.2 (2018): 1899-1902.

Lampiran

Perhitungan Saidi Dan Saifi

Saidi teknik HLM

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Saidi} &= \sum \frac{ki \ ti}{N} \\
 &= \frac{113 \times 186.234}{379.029} \\
 &= 55,521 \text{ menit/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saidi} &= \sum \frac{ki \ ti}{N} \\
 &= \frac{113 \times 379.029}{379.029} \\
 &= 113 \text{ menit/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Dengan teknik HLM

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Saidi} &= \sum \frac{ki \ ti}{N} \\
 &= \frac{126 \times 177.118}{379.029} \\
 &= 58,879 \text{ menit/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saidi} &= \sum \frac{ki \ ti}{N} \\
 &= \frac{126 \times 379.029}{379.029} \\
 &= 126 \text{ menit/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Saifi teknik HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saifi} &= \sum \frac{ki \ \lambda i}{N} \\
 &= \frac{186.234}{379.029} \\
 &= 0,491 \text{ kali/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saifi} &= \sum \frac{ki + \lambda i}{N} \\
 &= \frac{186.234 + 379.029}{379.029} \\
 &= 1,491 \text{ kali/pelan}
 \end{aligned}$$

Dengan teknik HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saifi} &= \sum \frac{ki \ \lambda i}{N} \\
 &= \frac{177.118}{379.029} \\
 &= 0,467 \text{ kali/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saifi} &= \sum \frac{ki + \lambda i}{N} \\
 &= \frac{177.118 + 379.029}{379.029} \\
 &= 1,467 \text{ kali/pelan}
 \end{aligned}$$

Saidi teknik HLM

$$3. \text{ Saidi} = \sum \frac{ki \, ti}{N}$$

$$= \frac{81 \times 178.641}{379.029}$$

$$= 38,176 \text{ menit/pelanggan}$$

Tanpa HLM

$$\text{Saidi} = \sum \frac{ki \, ti}{N}$$

$$= \frac{113 \times 379.029}{379.029}$$

$$= 81 \text{ menit/pelanggan}$$

Dengan teknik HLM

$$4. \text{ Saidi} = \sum \frac{ki \, ti}{N}$$

$$= \frac{65 \times 118.697}{379.029}$$

$$= 20,355 \text{ menit/pelanggan}$$

Tanpa HLM

$$\text{Saidi} = \sum \frac{ki \, ti}{N}$$

$$= \frac{65 \times 379.029}{379.029}$$

$$= 65 \text{ menit/pelanggan}$$

Saifi teknik HLM

$$\text{Saifi} = \sum \frac{ki \, \lambda i}{N}$$

$$= \frac{178.641}{379.029}$$

$$= 0,471 \text{ kali/pelanggan}$$

Tanpa HLM

$$\text{Saifi} = \sum \frac{ki + \lambda i}{N}$$

$$= \frac{178.641 + 379.029}{379.029}$$

$$= 1,471 \text{ kali/pelanggan}$$

Dengan teknik HLM

$$\text{Saifi} = \sum \frac{ki \, \lambda i}{N}$$

$$= \frac{118.697}{379.029}$$

$$= 0,313 \text{ kali/pelanggan}$$

Tanpa HLM

$$\text{Saifi} = \sum \frac{ki + \lambda i}{N}$$

$$= \frac{118.697 + 379.029}{379.029}$$

$$= 1,313 \text{ kali/pelanggan}$$

$$\begin{aligned}
 5. \text{ Saidi} &= \sum \frac{ki \, ti}{N} \\
 &= \frac{76 \times 219.629}{383.893} \\
 &= 43,480 \text{ menit/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saidi} &= \sum \frac{ki \, ti}{N} \\
 &= \frac{65 \times 219.629}{383.893} \\
 &= 76 \text{ menit/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Dengan teknik HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saifi} &= \sum \frac{ki \, \lambda i}{N} \\
 &= \frac{219.629}{383.893} \\
 &= 0,572 \text{ kali/pelanggan}
 \end{aligned}$$

Tanpa HLM

$$\begin{aligned}
 \text{Saifi} &= \sum \frac{ki + \lambda i}{N} \\
 &= \frac{219.629 + 383.893}{383.893} \\
 &= 1,572 \text{ kali/pelan}
 \end{aligned}$$