
Peralatan Inovasi Live-Line Maintenance : Temporary Cross Arm Support Insulator

Heru Priyatno^{1*}

PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pendidikan dan Pelatihan (UPDL) Semarang¹

*heru.priyatno@pln.co.id

ABSTRACT

Live Line Maintenance (PDKB) Medium Voltage requires the right method to complete each type of live line maintenance working, as is the case for maintenance/replacement of support insulators and cross arms for double circuit construction on the top side. Temporary Cross Arm Support Insulator construction is intended to avoid blackouts to customers when maintenance work is carried out on Double Circuit construction. There is no method that can be used, maintenance or replacement of the Double Circuit Insulator construction still has to turn off the power grid. To overcome this problem, it is necessary to construct temporary equipment that is able to provide a solution by making a temporary Cross Arm Support Insulator. The construction design of this equipment can be used for replacement/maintenance of Double Circuit Supported Insulator construction. This equipment will be very helpful in carrying out network maintenance work and can be implemented in PLN's operational units, so that the implementation of work becomes safer, faster, more efficient and can avoid blackouts due to such maintenance. By not turning off the power grid, electrical energy can still be distributed.

Keywords : Live Line Maintenance, 20 kV, Double Circuit 20 kV, distribution

INTISARI

Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) Tegangan Menengah memerlukan metode yang tepat untuk menyelesaikan setiap jenis pekerjaan, seperti halnya pada pekerjaan pemeliharaan/penggantian isolator tumpu dan cross arm untuk konstruksi Double Circuit sisi atas. Penggunaan konstruksi Cross Arm Support Insulator sementara dimaksudkan untuk menghindari adanya pemadaman aliran listrik ke pelanggan saat dilakukan pekerjaan pemeliharaan konstruksi Double Circuit. Mengingat belum adanya metode yang bisa dipergunakan, maka untuk pemeliharaan atau penggantian konstruksi Isolator Tumpu Double Circuit masih harus dengan memadamkan jaringan tenaga listrik. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan konstruksi peralatan sementara yang mampu memberikan solusi dengan cara membuat Cross Arm Support Insulator yang sifatnya sementara. Desain konstruksi peralatan ini dapat digunakan untuk penggantian/pemeliharaan konstruksi Isolator Tumpu Double Circuit. Dengan adanya peralatan tersebut, maka akan sangat membantu dalam melaksanakan pekerjaan pemeliharaan jaringan dan dapat diimplementasikan di unit-unit operasional PLN, sehingga pelaksanaan pekerjaan menjadi lebih aman, cepat, efisien dan dapat dihindarkan pemadaman akibat pemeliharaan tersebut. Dengan tidak memadamkan jaringan tenaga listrik, maka energi listrik dapat tetap disalurkan.

Kata kunci: JTM 20 kV, PDKB, Pemeliharaan JTM, Konstruksi Isolator Tumpu Sirkuit Ganda, Distribusi

I. PENDAHULUAN

Pemadaman jaringan listrik bagi pelanggan PT PLN (Persero) menjadi isu utama dalam pelayanan penyediaan ketenagalistrikan di Indonesia. Mengingat energi listrik merupakan salah satu kebutuhan penting bagi masyarakat Indonesia.

Pemadaman jaringan listrik terhadap konsumen PT PLN (Persero) disebabkan oleh beberapa faktor. Terdapat 2 faktor utama penyebab pemadaman, yaitu pemadaman akibat gangguan jaringan listrik dan

pemadaman akibat adanya pemeliharaan peralatan tenaga listrik. Dari penyebab pemadaman tersebut dalam dipahami bahwa pemadaman yang disebabkan oleh gangguan jaringan listrik merupakan jenis pemadaman yang tidak terencana dan waktunya tidak dapat diprediksi, sedangkan pemadaman yang disebabkan oleh pemeliharaan peralatan tenaga listrik merupakan jenis pemadaman yang terencana. Melalui pemeliharaan rutin dan tepat maka gangguan pada jaringan listrik dapat diminimalisir.

PT. PLN (Persero) selaku penyedia tenaga listrik memiliki SDM serta aset peralatan untuk menunjang pemeliharaan peralatan tenaga listrik. Dari sisi SDM PT PLN (Persero) memiliki tim khusus untuk menunjang pelaksanaan pemeliharaan tanpa memerlukan pemadaman jaringan listrik. Tim yang dimaksud adalah tim Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan atau disingkat PDKB. Teknik PDKB pada saluran udara adalah metode perawatan yang sangat modern dan efisien [1]. Saat ini PT PLN (Persero) memiliki beberapa tim PDKB dari berbagai level tegangan, yaitu PDKB TM (Tegangan Menengah) untuk level tegangan 20 kV, Tim PDKB TT/TET (Tegangan Tinggi/ Tegangan Ekstra Tinggi) untuk level tegangan 150 kV, 275 kV, dan 500 kV. Tim PDKB mampu mengerjakan pemeliharaan jaringan listrik tanpa dilakukannya pemadaman tenaga listrik. Penyelamatan pelanggan dari gangguan kelistrikan dengan memberikan penghematan biaya secara nyata pada kondisi keamanan system yang cepat diwujudkan [2]. Berdasarkan cara bekerjanya, PDKB dapat 3 kategori : metode berjarak (personel bekerja dengan memanfaatkan peralatan berisolasi) , metode sentuh langsung (personel dengan instalasi bertegangan dipisahkan dengan isolasi), dan metode *barehand* [3]. Pada level tegangan tinggi metode *barehand* adalah bekerja dengan pakaian konduktif khusus yang berfungsi sebagai sangkar Faraday untuk melindungi ekstra medan listrik dan frekuensi rendah di sekitar pekerjaan [4]. Dari berbagai metode PDKB yang diterapkan, terdapat beberapa jenis pekerjaan pemeliharaan yang belum mampu dilakukan oleh tim PDKB. Hal tersebut disebabkan karena belum tersedianya konstruksi peralatan khusus untuk menunjang pelaksanaan pekerjaan PDKB. Salah satu pekerjaan pada PDKB TM. yang belum mampu dilaksanakan adalah pekerjaan pemeliharaan pada konstruksi *Double Circuit 20 KV*. Pelaksanaan pemeliharaan jaringan masih harus dengan memadamkan aliran tenaga listrik dikarenakan belum terdapat konstruksi peralatan khusus PDKB yang digunakan pada pekerjaan pemeliharaan secara PDKB TM baik dengan metode sentuh langsung maupun metode berjarak.

Belum tersedianya konstruksi peralatan khusus PDKB yang digunakan pada pekerjaan pemeliharaan secara PDKB TM baik dengan metode sentuh langsung maupun metode berjarak mendasari penelitian ini untuk mencari solusi pembuatan desain konstruksi peralatan yang paling sesuai dan tepat guna untuk

diterapkan pada pekerjaan pemeliharaan konstruksi *Double Circuit* jaringan JTM 20 kV. Desain konstruksi peralatan yang dimaksud harus dapat digunakan pada pekerjaan PDKB baik dengan metode sentuh langsung maupun metode berjarak. Desain konstruksi peralatan memerlukan detail spesifikasi yang wajib dipenuhi berkaitan dengan metode pekerjaan PDKB TM. Detail spesifikasi yang wajib dimiliki konstruksi peralatan tersebut meliputi ketahanan mekanik dan elektrik. Untuk memastikan keandalan desain baru, verifikasi bahan dilakukan secara hati-hati, isolator dan *cross arm* lengkap juga dilakukan [5].

Sangat perlu dilakukan pengujian sebelum diimplementasikan pada jaringan JTM 20 kV. Desain konstruksi peralatan *Temporary Cross Arm Support Insulator* diharapkan mampu menjawab permasalahan pelaksanaan pekerjaan PDKB TM pada jaringan *Double Circuit 20 kV* yang belum ditemukan.

Desain konstruksi peralatan *Temporary Cross Arm Support Insulator* merupakan peralatan inovasi yang diharapkan mampu menjawab permasalahan pelaksanaan pekerjaan PDKB TM pada jaringan *Double Circuit 20 kV* yang belum ditemukan. Peralatan inovasi ini termasuk dalam peralatan kerja PDKB, dimana sesuai SPLN peralatan inovasi didefinisikan sebagai peralatan kerja hasil rekayasa teknis (modifikasi atau peralatan metode baru) untuk memperbaiki proses pekerjaan PDKB (mempercepat, mempermudah, dan lebih aman) [6].

II. LANDASAN TEORI → [TNR, 11 pt, Center]

A. Gaya Mekanikal dan Elektrikal pada Jaringan TM 20 kV

Tiang yang digunakan untuk SUTM berupa besi atau tiang beton dan harus mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi [7]. Perhitungan berat dan gaya yang terjadi ketika pelaksanaan pekerjaan dalam keadaan bertegangan menjadi sangat penting. Peralatan dalam keadaan bertegangan didesain sedemikian rupa sehingga SWL (Safety Working Load) nya terpenuhi (tidak terlampaui). Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV pada jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai tumpuan penghantar, menerima gaya-gaya mekanis akibat dari berat penghantar dan peralatan, gaya tarik dari penghantar (tensile strength), tiupan angin dan akibat penghantar lain. Besarnya gaya-gaya tersebut berbeda sesuai dengan fungsi tiang (tiang awal/ujung, tiang tengah, tiang sudut) dan luas penghantar. Tiang harus memenuhi persyaratan uji

lentur (tidak retak pada pembebanan 100% beban kerja) dan uji defleksi permanen (maksimum 0,2% dari Panjang tiang setelah pembebanan 150% beban kerja selama 2 menit) [8].

B. Gaya Mekanis pada Temporary Cross Arm

Temporary Cross Arm adalah tempat dudukan Conductor Support Pole. Beban mekanis pada Temporary Cross Arm arah horizontal akibat dari gaya regangan penghantar dan beban vertikal akibat berat Conductor Support Pole dan berat konduktor. Sedangkan bahan Cross Arm eksisting sesuai standar adalah baja (ST.38) dengan profil UNP [9].

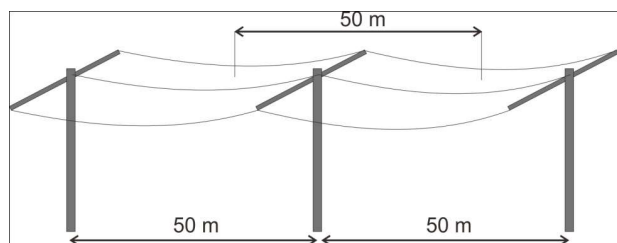
C. Beban mekanis Pin Isolator pada Temporary Cross Arm

Secara teori, berat fisik yang ditopang isolator adalah : Berat konduktor, Beban angin yang terjadi pada konduktor, Efek sudut yang dihasilkan dari perubahan arah kawat. Perhitungan berat konduktor dapat digunakan dengan rumus :

$$F = L_1 + L_2 \times W \times g$$

Dimana :

- F : Total gaya vertikal kebawah (Newton)
- $L_1 + L_2$: Panjang horisontal dari span yang berdampingan (meter)
- W : Massa per meter konduktor
- g : Gravitasi



Gambar 1. Jarak Antar Tiang Jaringan Tegangan Menengah

Jarak pendirian antar tiang maksimal 50 meter menyesuaikan dengan maksimum sagging/andongan (1,5% terhadap jarak antar tiang) serta mempertimbangkan ukuran tiang yang digunakan [7]. Pada pemasangan Temporary Cross Arm Support Insulator, beban mekanis bertumpu pada titik-titik Pin Isolator baik pada Conductor Support Pole, Pole Type Saddle dan Temporary Cross Arm. Beban mekanis yang diterima oleh Pin Isolator berasal dari beban gaya gravitasi dari tumpuan berat separuh konduktor kedua

sisi gawang dan beban dari Conductor Support Pole. Dengan menggunakan rumusan di atas, maka gaya yang ditumpu oleh Temporary Cross Arm Support Insulator dapat dihitung, dengan asumsi bahwa :

$$L_1 + L_2 = 50 \text{ meter (sesuai standar konstruksi JTM untuk PLN)}$$

$$W = 0,955 \text{ kg (approx cable weight, diameter 240 untuk type AAAC-S sesuai spesifikasi SPLN 41-10:1991). Menggunakan tipe kabel AAAC-S dikarenakan tipe tersebut merupakan kabel konduktor yang memiliki massa paling tinggi yang dipasang di PLN}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

maka, gaya maksimum yang ditumpu oleh Pin Isolator pada Temporary Cross Arm Support Insulator adalah sebagai berikut :

$$F = L_1 + L_2 \times W \times g$$

$$F = (50 \times 0,955) \times 9,8 = 467,9N$$

Nilai diatas adalah gaya maksimum perfasa, sehingga untuk ketiga fasanya adalah

$$F_{Total} = \text{Gaya Konduktor}$$

$$+ \text{Gaya Conductor Support Pole}$$

$$F_{Total} = (3 \times 467,95) + (3 \times 3,8) = 1403,85 N$$

Nilai tersebut menunjukkan masih aman karena dibawah nilai minimum. Setiap isolator Pin harus mempunyai standar beban gagal tekuk minimum sebesar 12,3 kN [9].

D. Gaya Mekanis Pada Cross Arm

Cross Arm adalah tempat dudukan isolator. Beban mekanis pada Cross Arm arah horizontal akibat dari gaya regangan penghantar dan beban vertikal akibat berat penghantar. Umumnya beban vertikal diabaikan. Bahan Cross Arm adalah besi (ST.38) profil UNP ketebalan minimal 5 mm dan dilapisi galvanis dengan ketebalan minimal 70 μm [10].

E. Beban Mekanis Isolator

Terdapat dua jenis isolator yang dipakai sesuai dengan fungsinya yaitu Isolator Tumpu/Pin (Suspension Insulator) dan Isolator Penegang (Tension Insulator). Isolator tumpu/pin digunakan untuk tumpuan penghantar gaya mekanis pada isolator ini adalah gaya akibat berat beban penghantar pada tiang tumpu atau pada tiang sudut. Setiap isolator pin dicirikan oleh bebng agal tekuk minimum tertentu.

Beban gagal tekuk minimum adalah 12,5 kN [11]. Sedangkan Isolator Penegang dipakai pada konstruksi tiang awal/tiang sudut apabila sudut elevasi lebih besar dari 30°. Terdapat 2 jenis isolator yang dipakai, yaitu isolator payung dan *long rod* dan untuk tiap 1 set isolator jenis suspension terdiri atas 2 buah sedangkan jenis *long rod* 1 buah. Beban mekanis isolator ini adalah beban mekanis sebagaimana pada isolator tiang ujung/awal (dikutip dari KepDir PLN No.475.K/DIR/2010 tanggal 11 Agustus 2010 tentang Kriteria Disain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik).

F. Jarak Aman Minimum

Jarak aman minimum adalah daerah dimana pelaksana dapat bekerja dan peralatan dapat digunakan dengan aman pada daerah bertegangan. Pelaksana PDKB harus tetap menjaga dirinya dan peralatan yang dibawanya tidak melanggar jarak aman minimum dan jarak minimum peralatan seperti ditetapkan pada tabel berikut dari bagian yang bertegangan.

Tabel 1. Jarak Aman Minimum dan Jarak Peralatan Berisolasi

No.	Tegangan	Fasa ke Bumi	Fasa ke Fasa
1.	500 kV	3400 mm	5500 mm
2.	150 kV	1200 mm	1500 mm
3.	70 kV	900 mm	1200 mm
4.	20 kV	560 mm	600 mm

III. METODE PENELITIAN

Desain peralatan *Temporary Cross Arm Support Insulator* ini diaplikasikan pekerjaan pada pemeliharaan konstruksi *Double Circuit* 20 kV dengan PDKB TM Metoda Berjarak maupun Metode Sentuh Langsung.

Membuat desain peralatan kerja PDKB TM untuk pekerjaan pemeliharaan konstruksi *Double Circuit* 20 kV dengan tujuan menghindari pemadaman listrik yang disebabkan oleh pelaksanaan pemeliharaan pada jaringan tersebut.

A. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaaitu :

- Pengamatan langsung pemeliharaan konstruksi *Double Circuit* pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan mengambil data variabel jenis konstruksi JTM di beberapa wilayah kerja PT PLN (Persero)
- Wawancara terhadap personel PDKB TM di Unit-unit Operasional PT. PLN (Persero), tentang jenis konstruksi yang belum bisa dilaksanakan dengan PDKB).

B. Diskusi Pemecahan Masalah

Diskusi, Studi Literatur, Tanya jawab, *Knowledge Sharing*, *Benchmark* dengan sesama Instruktur PDKB dan tim PDKB TM unit operasional tentang cara pemecahan masalah-masalah pemeliharaan Konstruksi *Double Circuit*.

C. Pembuatan Peralatan.

Pembuatan peralatan dilakukan melalui tiga tahapan yaitu:

- Desain peralatan melalui sketsa konstruksi 2D lengkap dengan spesifikasi dimensinya.
- Proses Pembuatan peralatan berdasarkan desain 2D
- Pengujian peralatan di Laboratorium uji UPDL Semarang, meliputi pengujian tegangan tembus.

D. Uji Coba dan Implementasi

Uji coba dan implementasi dilakukan dengan tiga tahap yaitu :

- Pemasangan Peralatan pada jaringan SUTM 20 kV di lingkungan PLN UPDL Semarang
- Pemasangan Peralatan di PLN Unit Operasional
- Pengamatan dan penyempurnaan.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Desain Konstruksi *Temporary Cross Arm Support Insulator*

Konstruksi *Temporary Cross Arm Support Insulator* digunakan untuk pekerjaan penggantian / pemeliharaan isolator tumpu dan *Cross Arm*. Desain konstruksi sementara ini menjadi pengangkat konduktor yang bersifat sementara, sebab dalam proses penggantian isolator tumpu dan *Cross Arm* konduktor tetap berada pada konstruksi tersebut sampai Isolator Tumpu dan *Cross Arm* pengganti terpasang. Desain konstruksi sementara ini merupakan suatu konstruksi

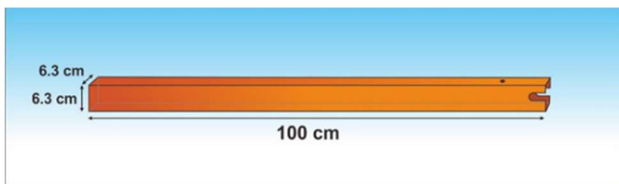
yang dirancang untuk menunjang dan mempermudah proses pelaksanaan pekerjaan PDKB – TM (20 kV) dengan metoda Sentuh Langsung (*Contact Methode*) maupun metoda Berjarak (*Distance Methode*). Sebelumnya pekerjaan tersebut belum bisa dilaksanakan karena sampai saat ini pekerjaan PDKB-TM untuk penggantian/pemeliharaan Isolator Tumpu dan *Cross Arm* untuk JTM 20 kV *Double Circuit* masih dilakukan pada sisi bawah saja.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dibuatlah rancang bangun konstruksi sementara *Temporary Cross Arm Support Insulator*. Dengan keberadaan alat ini sangat membantu PDKB – TM Metoda Sentuh Langsung maupun Metoda Berjarak dalam proses pelaksanaan pekerjaan penggantian/pemeliharaan Isolator Tumpu dan *Cross Arm* untuk *Double Circuit* baik sisi bawah maupun sisi atas. Sehingga pekerjaan yang sebelumnya hanya bisa dilakukan dengan pemadaman aliran listrik dapat dihindarkan dan oleh sebab itu distribusi energi listrik ke pelanggan secara kontinyu dapat tetap terlayani.

B. Komponen Konstruksi Temporary Cross Arm Support Insulator

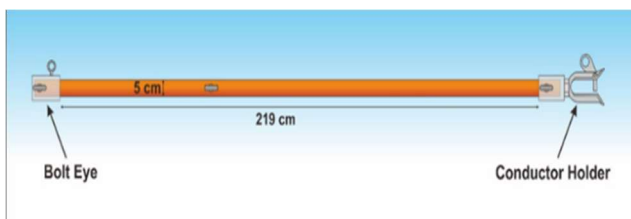
- *Temporary Cross Arm*

Berfungsi sebagai *cross arm* sementara menggantikan *cross arm* yang akan diganti. Ukuran dimensinya 100 x 6,3 x 6,3 cm, dengan bahan besi kotak, berat 6,1 N.



Gambar 2. Temporary Cross Arm

- *Conductor Support Pole*

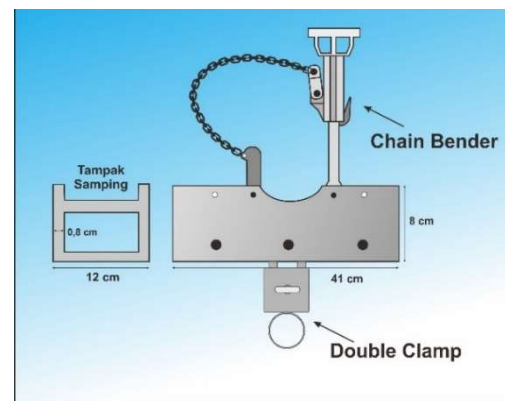


Gambar 3. Conductor Support Pole

Berfungsi sebagai penopang konduktor pada saat *cross arm* sementara terpasang. Bahan dari *fiber glass* sama seperti bahan yang digunakan pada peralatan stick PDKB PLN. Penggunaan *crossarm fiberglass* berlaku juga di industri utilitas [10]. Bahan bersifat isolasi dan sudah dilakukan pengujian tegangan tembus 100 kV selama 1 menit dengan hasil uji tidak terjadi lompatan *arcing*. Dimensi Panjang 219 cm dengan diameter 5 cm, berat 3,8 N

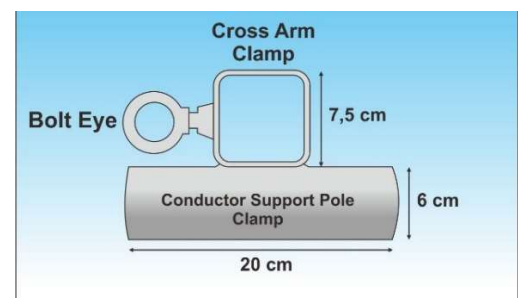
- *Pole Type Saddle*

Berfungsi sebagai penyangga *cross arm* sementara. Ukuran dimensinya 41x8x12 cm dengan bahan dari besi UNP, berat 11,2 N.



Gambar 4. Pole Type Saddle

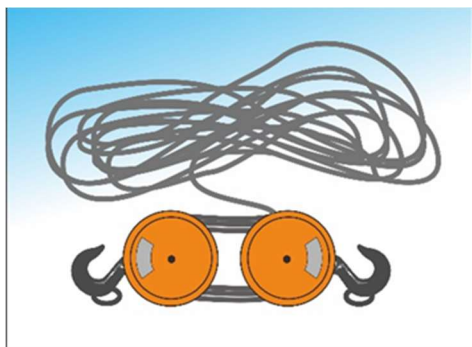
- *Double Clamp*



Gambar 5. Double Clamp

Berfungsi sebagai pijakan *Conductor Support Pole* Ketika terpasang pada *cross arm* sementara. Dimensi ukuran 6x7,5x7,5 cm, bahan dari besi diameter 6 cm, berbentuk kotak dan silinder.

• *Rope Block*



Gambar 6. *Rope Block*

Berfungsi untuk menarik *conductor support pole* pada saat proses konduktor dipisahkan dari isolator. Panjang 20 meter dengan besar SWL 1300 daN dan berat 5 N. Bahan dari fiber dan sintesis *rope*.

Hasil pengujian tegangan tembus pada isolasi peralatan *Temporary Cross Arm Conductor Support Insulator* dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Tegangan Tembus

No.	Nama peralatan	Jml	Buatan	Pelaksanaan Tes		
				Kv	t (Menit)	Hasil
1.	TeCoASI	1	Inovasi	100	1	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak terjadi lompatan api • Tidak terdapat luka bakar • Tidak panas yang bisa dirasakan dengan tangan

C. *Pemasangan Peralatan Inovasi secara PDKB*

Berikut ini merupakan gambar dari pemasangan *Temporary Cross Arm Support Insulator* pada jaringan SUTM 20 kV untuk konstruksi *double circuit*. Gambar pemasangan dibawah ini menunjukkan bahwa *cross arm* dan isolator tumpu sisi atas dapat dilaksanakan pekerjaan pemeliharaan maupun penggantian tanpa

padam (dilaksanakan secara PDKB TM baik metoda berjarak maupun sentuh langsung).



Gambar 7. Tahap-tahap pemasangan *Temporary Cross Arm Support Insulator* dengan metode Sentuh Langsung

D. *Analisa Finansial & Risiko*

Untuk manfaat finansial dapat diketahui dengan menghitung biaya produksi dan biaya *O&M* dari rancang bangun peralatan ini dan memperkirakan *life time*-nya dengan asumsi membandingkan dengan produk impor (*Dual Auxillary Arm with types Applications Lifting Arm/Three Phase Boom*), namun untuk produk tersebut hanya untuk pekerjaan Penggantian Isolator pada *Single Cross Arm*, tidak identik sama fungsinya.

Berikut adalah rincian biaya pembuatan alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini :

Tabel 3. Rincian Biaya Pembuatan *Temporary Cross Arm*

No	Nama Barang	Jumlah (bh)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Cross Arm	2	150.000,00	300.000,00
2	Biaya pembuatan	1	100.000,00	100.000,00
Biaya Pembuatan				400.000,00

Tabel 4. Rincian Biaya Pembuatan *Pole Type Saddle*

No	Nama Barang	Jumlah (bh)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Besi UNP 3x6x400mm	1	250.000,00	250.000,00
2	Bolt Ø 5/8 "	2	50.000,00	100.000,00
3	Chain Bander	1	750.000,00	750.000,00
Biaya Pembuatan				1.100.000,00

Tabel 5. Rincian Biaya Pembuatan *Conductor*

Support Pole

No	Nama Barang	Jumlah (bh)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Galah Isolasi	3	4.000.000,00	12.000.000,00
2	Conductor Clamp	6	250.000,00	1.500.000,00
Biaya Pembuatan				13.500.000,00

Tabel 6. Rincian Biaya Pembuatan *Double Clamp &*

Rope Block

No	Nama Barang	Jumlah (bh)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Clamp	3	300.000,00	900.000,00
2	Rope Block	1	1.000.000,00	1.000.000,00
Biaya Pembuatan				1.900.000,00

Kemudian dilakukan analisa ekonomi untuk perhitungan NPV (*Nett Present Value*) dengan asumsi dari life time peralatan. Peralatan impor yang kita asumsikan adalah satu set *Dual Auxilliary Arm with types Applications Lifting Arm* namun peralatan tersebut hanya digunakan untuk pemeliharaan isolator tumpu dan *cross arm* untuk konstruksi single circuit. Untuk perhitungannya jika kita asumsikan bahwa :

Biaya investasi *Temporary Cross Arm Support*

$$\begin{aligned} \text{Insulator} &= \text{Rp}13.500.000 + \\ &\text{Rp}1.100.000 + \\ &\text{Rp}400.000 + \\ &\text{Rp}1.900.000 \end{aligned}$$

$$\text{Biaya O\&M /6 bulan} = \text{Rp } 500.000,-$$

$$\text{Life Time} = 5 \text{ tahun}$$

$$\text{Peralatan Impor} = 1 \text{ set}$$

$$\text{Biaya Peralatan Impor} = \text{Rp } 63.000.000$$

$$\text{Biaya O\&M Peralatan Impor/6 bulan} = \text{Rp } 1.300.000$$

$$\text{Life Time} = 5 \text{ tahun}$$

$$\text{Suku Bunga} = 10 \%$$

Maka dapat diperoleh nilai NPV (Net Present Value) sebagai berikut :

$$\text{NPV Karya Inovasi} = \text{Rp } 31.047.812,89$$

$$\text{NPV Peralatan Impor} = \text{Rp } 107.537.732,07$$

$$\text{Selisih NPV} = \text{Rp } 76.489.919,18$$

Selisih NPV ini membuktikan tingkat efektifitas biaya investasi peralatan inovasi dibandingkan dengan peralatan impor dengan bahan yang sama, walaupun perbandingan tersebut tidak dapat dibandingkan langsung mengingat fungsi peralatan impor tersebut berbeda.

Analisa risiko pada peralatan *Temporary Cross Arm Support Insulator* dilakukan dengan mitigasi risiko dan pemetaan tingkat kemungkinan maupun dampak risiko. Dari beberapa kemungkinan risiko, dirumuskan sebagai berikut:

- Pemasangan yang tidak sempurna sehingga menyebabkan konduktor kendur.
- Petugas memasang pin pada *Conductor Support Pole* yang tidak sesuai pada posisinya diakibatkan petugas tidak menerapkan SOP dengan benar yang akan menyebabkan posisi *Conductor Support Pole* bergeser turun sehingga akan menyentuh *cross arm* yang dipelihara sehingga akan timbul *short circuit*.

E. Implementasi Inovasi

Peralatan inovasi *Temporary Cross Arm Support Insulator* telah dilakukan implementasi pada jaringan tegangan menengah 20 kV di 2 lokasi berbeda. Yang pertama pada jaringan SUTM 20 kV PLN UPDL Semarang dan di jaringan SUTM 20 kV PLN Area Surabaya Selatan.

Pada implementasi tersebut dilakukan pekerjaan penggantian isolator tumpu menggunakan peralatan inovasi *Temporary Cross Arm Support Insulator*. Hasil pekerjaan menunjukkan fungsi peralatan inovasi dapat digunakan sesuai fungsinya. Berikut ini adalah implementasi peralatan inovasi secara PDKB :



Gambar 8. Pemasangan Peralatan Inovasi pada Jaringan SUTM 20 kV PLN UPDL Semarang dengan Metode Sentuh Langsung.



Gambar 9. Pemasangan Peralatan Inovasi pada Jaringan SUTM 20 kV PLN Area Surabaya Selatan dengan Metode Sentuh Langsung



Gambar 10. Pemasangan Peralatan Inovasi pada Jaringan SUTM 20 kV PLN Area Surabaya Selatan dengan Metode Berjarak

F. Diskusi & Evaluasi

Berdasarkan hasil uji dan implementasi peralatan inovasi *Temporary Cross Arm Support Insulator*, terdapat beberapa evaluasi yang perlu menjadi catatan. Meskipun sudah dilakukan pengujian elektrik tegangan tembus dan hasilnya sesuai dengan standar, namun belum dilakukannya pengujian mekanik terhadap peralatan inovasi menjadi evaluasi paling penting meskipun secara identik bahan yang digunakan sama persis dengan bahan yang digunakan pada peralatan impor PDKB. Peralatan inovasi *Temporary Cross Arm Support Insulator* yang perlu dilakukan pengujian mekanik adalah pada komponen *Pole Type Saddle* dan *Double Clamp*.

V. KESIMPULAN

- *Temporary Cross Arm Support Insulator for Double Circuit* merupakan satu-satunya solusi terbaik yang digunakan untuk pekerjaan penggantian/pemeliharaan konstruksi *Double Circuit* pada SUTM 20 kV yang terbukti simpel, aman, handal dan efisien (harga dan waktu).
- Dengan menggunakan peralatan ini, kontinuitas supply tenaga listrik dan pelayanan kepada pelanggan menjadi lebih baik.
- Peralatan ini dapat diproduksi secara massal.

REFERENSI

- [1] M. N. Oltean, T. Fagarasan, and D. L. Brabete, "Complete solutions for LW maintenance of high voltage OHL," *ICOLIM 2014 - 11th Int. Conf. Live Maint.*, no. May, pp. 1–6, 2014, doi: 10.1109/ICOLIM.2014.6934333.
- [2] R. Glove and H. Work, "Live Working Method Comparisons," pp. 1–6, 2017.
- [3] I. Towers and O. F. T. H. E. Ieee, "Live-line maintenance methods," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-92, no. 5, pp. 1642–1648, 1973, doi: 10.1109/TPAS.1973.293712.
- [4] G. Gocsei and B. Nemeth, "New challenges in live-line maintenance," *33rd Electr. Insul. Conf. EIC 2015*, no. June, pp. 185–188, 2014, doi: 10.1109/ICACACT.2014.7223498.
- [5] J. F. Goffinet, I. Gutman, and P. Sidenvall, "Innovative insulated cross-Arm: Requirements, testing and construction," 2017

12th Int. Conf. Live Maintenance, ICOLIM 2017, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1109/ICOLIM.2017.7964158.

- [6] KOMISI PDKB PLN, *Prosedur Pelaksanaan Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan Tegangan Tinggi Dan Tegangan Ekstra Tinggi Nomor : 7.001/PROS/TRS.00.003/KOMISI-PDKB PUSAT/2018*. Jakarta: PT PLN (PERSERO) KANTOR PUSAT, 2018.
- [7] SPLN, *Konstruksi Distribusi, Bagian 1: Jaringan Tegangan Menengah*, 0007 ed. Jakarta: PT PLN (PERSERO), 2020.
- [8] SPLN, *Spesifikasi Tiang Listrik dan Lengkapannya (Bagian 1: Tiang Beton Pratekan)*, 0077 ed. Jakarta: PT PLN (PERSERO), 2021.
- [9] SPLN, *Isolator Pin untuk Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV*. Jakarta: PT PLN (PERSERO), 1997.
- [10] S. Grzybowski and T. Disyadej, “Electrical performance of fiberglass crossarm in distribution and transmission lines,” *Transm. Distrib. Expo. Conf. 2008 IEEE PES Powering Towar. Futur. PIMS 2008*, pp. 1–5, 2008, doi: 10.1109/TDC.2008.4517257.