

STUDI KELAYAKAN BUSBAR GARDU TRAFO TIANG 20 Kv (Baru) PADA JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FT UM

Yuni Rahmawati

Abstrak: Adanya beban puncak secara tidak menentu yang berasal dari gedung-gedung kuliah khususnya di Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, akan menimbulkan pengaruh dari kinerja busbar yang ada dalam Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB) TR gardu trafo tiang 20 kV dengan daya 100 kVA di Jurusan Teknik Elektro. Oleh karena itu, diperlukan adanya penghitungan dan analisis terhadap beban dari gedung-gedung yang akan dialiri arus dan daya dari sebuah gardu trafo tiang, khususnya yang ada di Jurusan Teknik Elektro agar kinerja dari gardu trafo tiang khususnya pada busbar dapat bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu sebagai pengumpulan arus dari sumber dan membagi-bagikannya ke beban. Metode yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah (1) pengambilan data lapangan; (2) pengolahan data; (3) analisis data dan melakukan penghitungan untuk menentukan ukuran busbar; (4) melakukan simulasi dengan software *Edsa Technical 2005*; dan (5) menganalisis data hasil simulasi. Data lapangan diperoleh dengan pendataan arus pada setiap gedung. Kesimpulan hasil analisis, busbar yang berukuran 40mm x 5mm maupun busbar yang berukuran 12mm x 5mm mampu memikul gaya tekanan (*stressing*) akibat dari arus beban penuh, arus beban 50%, arus hubung singkat maksimum, dan arus hubung singkat minimum karena gaya tekan yang muncul lebih kecil atau sama dengan kekuatan mulur busbar (*yield strenght*) ≤ 12000 N/cm².

Kata-kata Kunci: busbar, arus, EDSA 2005.

Gardu Trafo Tiang (GTT) atau yang biasa disebut Gardu Distribusi akan meningkatkan pelayanan energi listrik dalam rangka meningkatkan penyuplaian energi listrik di Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. Ruang lingkup analisis pelayanan listrik pada proyek GTT ini secara khusus meliputi gedung G2 sampai dengan gedung G6. Dalam hal ini dilakukan analisis dan perhitungan kembali terkait pembagian arus dan daya oleh gardu trafo tiang yang baru di beli Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang terhadap gedung kuliah dari G2 sampai G6. Hal ini dilakukan karena kapasitas daya yang dimiliki Trafo hanya 100 kVA, yang tidak mampu mensuplai kebutuhan listrik dari gedung G2-G6. Melalui PHB TR *manuver-manuver* beban dapat dilakukan dengan serangkaian alat pemutus dan penghubung yang ada pada kotak panel. Karena busbar merupakan unsur yang penting pada sistem distribusi

sebagai pengumpulan arus dan mengalirkan energi listrik ke beban, jadi kemampuan daya hantar busbar harus benar-benar memenuhi syarat. Memenuhi syarat dalam hal ini berarti kemampuan daya hantarnya pada saat beban puncak, maupun dalam keadaan arus lebih akibat gangguan, dan dalam waktu penuh 24 jam selama trafo tersebut beroperasi.

Mengingat pentingnya peran busbar dalam pembagian beban pada gardu distribusi, maka diperlukan suatu pendataan beban di seluruh gedung pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. Dengan adanya data beban diharapkan penyuplaian energi listrik dari Gardu Trafo Tiang yang baru dibeli oleh Jurusan Teknik Elektro bisa lebih optimal dan sesuai dengan SPLN, selain itu kemampuan hantar busbar dapat berfungsi secara optimal. Pada saat ini tepatnya Semester Genap Tahun Ajaran 2008/2009, selain membeli sebuah Trafo, tiang, dan

Perangkat sebuah Gardu Distribusi, Jurusan Teknik Elektro juga membeli Perangkat Hubung Bagi (PHB) TR. Karena baru dibeli, sebelum dilakukan pemasangan maka perlu diadakan studi kelayakan pada trafo dan PHB TR tersebut agar pada saat pengoperasian tidak terjadi gangguan. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan studi kelayakan pada PHB TR tersebut, khususnya pada busbar.

Busbar

Busbar adalah suatu batang konduktor dengan impedansi rendah yang terbuat dari tembaga dengan bentuk persegi panjang, dimana beberapa sirkit dapat dihubungkan secara terpisah. Fungsi busbar secara mekanis adalah untuk mempermudah *wiring* didalam panel dengan mengelompokkan masing-masing fasa ke dalam batangan busbar. Sedangkan, fungsi sebenarnya adalah sebagai tempat pengumpulan/berkumpulnya Arus dari sumber listrik yang kemudian di bagi-bagikan pada beban. Untuk mengambil daya listrik dari busbar, biasanya kabel dipasang *Cable Secun* (sepatu kabel) untuk dipasangkan pada bagian busbar yang sudah diplong (dilubangi). Untuk mencegah korosi, busbar di-Vekrum dengan warna yang berbeda-beda. Menurut standar PUIL 2000 untuk pengelompokan warna adalah sebagai berikut:

1. Warna merah untuk fasa R
2. Warna biru untuk fasa S
3. Warna hitam untuk fasa T
4. Warna kuning untuk netral N

Ukuran konduktor dipilih sedemikian rupa, sehingga mampu memikul arus yang akan disalurkan. Pada keadaan yang biasa, bentuk penghantar lempengan atau batangan persegi empat. Adapun keuntungan dari batang persegi empat ini adalah sebagai berikut:

1. mempunyai daerah permukaan yang relatif besar sehingga mempunyai

fasilitas pelepasan panas bentuk batangan yang diizinkan untuk dikerjakan, disimpan, handel ditegakkan lebih mudah daripada bentuk yang lebih lengkap,

2. sambungan akan lebih mudah dibuat dengan batang *overlapping* atau bertumpang tindih,
3. kapasitas arus dapat meningkat dengan menggunakan suatu jumlah batang yang dihubungkan secara paralel pada masing-masing "batang laminated".

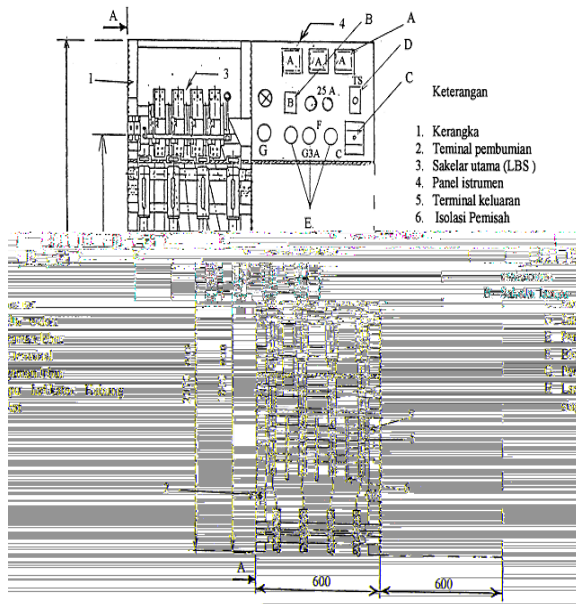
Sistem Busbar

Sistem busbar terbuat dari tembaga. Pemasangan dan penyambungan hanya dapat dilakukan dengan mur-baut. Pemboran lubang berulir pada tembaga tidak dianjurkan.

Kerangka harus disesuaikan untuk pemasangan Busbar sebagai berikut:

- a) Empat Busbar kolektor (Netral ditempatkan paling bawah atau paling kiri), khusus untuk PHB pasangan dalam setiap ujung Busbar disebelah kanan dibor dengan empat buah lubang untuk kemungkinan perluasan dengan empat keluaran PHB tambahan. Penyambungan dua PHB tersebut dapat dilakukan sebagai berikut: (1) menggunakan batang tembaga ukuran yang sama dengan Busbar kolektor, (2) menggunakan pelat/pita tembaga anyaman dengan ukuran yang sama dengan Busbar kolektor, atau (3) menggunakan kabel dengan konektor Untuk mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh sentuhan dengan busbar kolektor, pada ujung akhir busbar kolektor harus diisolasi sepanjang 50 mm.
- b) Tiga Busbar penghubung untuk menghubungkan busbar kolektor ke saklar pemutus beban busbar netral ditempatkan paling kiri jika dilihat dari depan PHB TR.
- c) Setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka dengan tiga busbar fasa verti-

kal. Dalam hal ini konduktor netral tersambung pada bagian bawah penjepit pemisah netral keluaran



Gambar 1. Tata Letak Komponen dalam Kotak PHB TR
(Sumber : SPLN, 1996:118-3)

Prosedur Pemilihan Bahan Busbar

Busbar adalah suatu penghantar dengan impedansi rendah, dimana beberapa sirkit listrik dapat dihubungkan secara terpisah. Dalam pemilihan peralatan yang akan digunakan dalam suatu sistem tertentu, selalu diusahakan agar alat tersebut dapat bekerja dengan baik dalam keadaan normal maupun keadaan gangguan, di samping juga harus memenuhi persyaratan keandalan, mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan, murah dan memenuhi aspek-aspek standar. Maka dari itu ada faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan busbar, yaitu:

1. Mampu mengalirkan arus normal untuk waktu yang lama dan arus hubung singkat
2. Mampu menahan gaya-gaya yang disebabkan berat sendiri, dan alat-alat yang tersambung padanya, gaya akibat hubung singkat.
3. Jumlah isolator
4. Murah

Karakteristik Konduktor Busbar

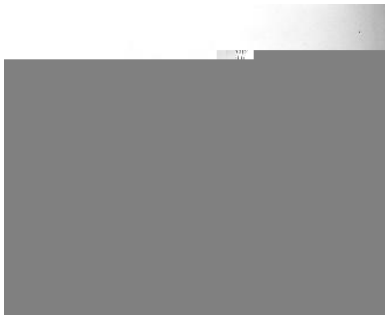
Pada saat ini material atau bahan konduktor busbar menggunakan Cu atau Al. Masing material pembuat busbar ini mempunyai karakteristik yang berbeda beda. Untuk resistivitasnya Cu sebesar 0.017241 ohm.mm²/m sedangkan Al sebesar 0,02828 ohm.mm²/m. Temperatur material mulai melunak untuk Cu 200 derajat celcius, sedangkan aluminium 180 derajat celcius. Kebanyakan untuk busbar yang panjang sering menggunakan Al, karena aluminium ringan. Sedangkan untuk rel busbar dalam kotak LV Panel pada umumnya menggunakan jenis bahan tembaga, sedangkan untuk pemilihan besaran rel berdasarkan:

1. Tegangan
Rel harus dapat menahan tegangan maksimum secara terus menerus. Tegangan maksimum adalah 105-110 % tegangan nominal. Tegangan nominal adalah tegangan yang membedakan sistem.
2. Arus Normal
Arus normal adalah arus yang secara terus menerus mengalir tanpa menyebabkan kenaikan temperatur (< 75% C)
3. Arus hubung Singkat
Konduktor dan penumpunya (isolator pendukung atau isolator rantai) harus tahan terhadap akibat akibat yang ditimbulkan oleh arus hubung singkat ini, baik termis maupun mekanis.
4. Kekuatan mekanis

Bentuk Busbar

Bentuk Batang Bulat

Beberapa instalasi khusus terutama yang bertegangan tinggi memerlukan busbar konduktor bentuk batang bulat, walaupun dengan arus AC yang besar, arus cenderung mengelompokkan dekat batang jika tidak dimanfaatkan untuk membawa arus, ini membuat bentuk yang tidak ekonomis pada lazimnya (Daryanto, 2000: 117).

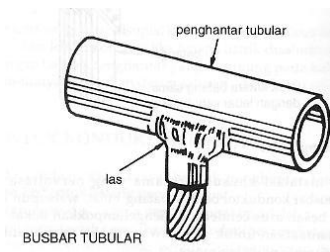


Gambar 2. Busbar Batang Bulat
(Sumber: Daryanto, 2000:117)

Bentuk Tubular

Konduktor bentuk tubular (tabung) telah digunakan dalam beberapa kondisi seperti tambahan pintu luar atau sakelar pekarangan/halaman. Beberapa keuntungan jenis ini adalah (1) kekakuan sama dalam semua arah, (2) mudah dibentuk/dibengkokkan, dan (3) permukaan dialiri arus untuk mencegah/menghentikan tegangan tinggi.

Penghantar tubular/tabung persegi empat sering digunakan sebagai hubungan/sambungan baut dan mudah dibuat jika permukaan rata.

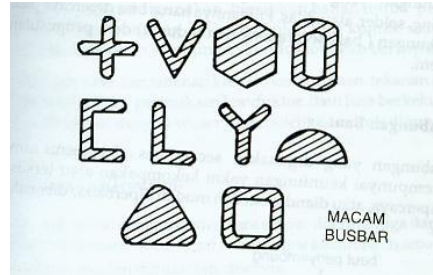


Gambar 3. Busbar Tubula
(Sumber : Daryanto, 2000:118)

Bentuk Khusus

Busbar bisa juga dibuat bersudut, berbentuk alur, berbentuk kanal, atau dalam berbagai bentuk variasi yang lain. Dalam beberapa kasus bentuk khusus ini digunakan dalam penambahan luas permukaan atau perbandingan luas penampang ke perbandingan pertambahan pemborosan/menghilangnya panas dan untuk mere-

duksi berat perunit panjang yang diperlukan untuk memberiklan arus. Sebagai contoh, untuk suatu perencanaan khusus bisa diizinkan sebab kekurangan jumlah pekerjaan dari *burtway* atau situai fisik dimana *busbar* ditempatkan.

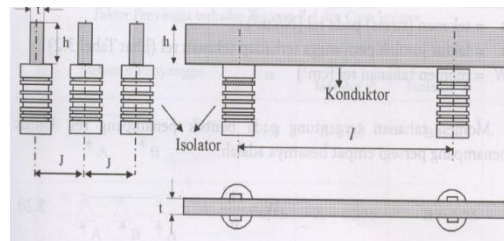


Gambar 4. Bentuk-bentuk Khusus Busbar
(Sumber : Daryanto, 2000:120)

Gaya Tekan pada Busbar Tunggal

Jika pada busbar mengalir arus hubung singkat, maka busbar akan mengalami gaya elektormagnetik yang besarnya tergantung pada besarnya arus hubung singkat dan jarak antar busbar. Oleh karena itu, jarak antar busbar harus dirancang sedemikian rupa sehingga gaya yang diakibatkan arus hubung singkat tidak sampai merusak busbar dan isolator penyangganya. Berikut ini akan diuraikan perihal gaya dan tekanan yang terjadi pada konduktor dan isolator penyangga suatu busbar akibat hubung singkat. (Bonggas, 2003:54)

Pada Gambar 5 ditunjukkan susunan busbar suatu panel 3 fasa ac, dimana suatu busbar terdiri atas satu batang konduktor busbar.



Gambar 5. Susunan Busbar Daya Konduktor Tunggal
(Sumber: Bonggas, 2003:54)

Jika arus simetri mengalir pada busbar suatu panel distribusi, maka tiap Busbar akan mengalami gaya. Gaya ini merupakan hasil interaksi arus pada suatu fasa dengan arus pada fasa yang lain. Karena arus fasa berbeda fasa 120 derajat listrik satu dengan yang lain dan jarak antar fasa tidak sama, maka gaya pada setiap busbar tidaklah sama. Gaya yang paling besar terjadi pada busbar yang berbeda di tengah (fasa S) karena Busbar ini mengalami gaya dari kedua busbar disebelahnya. Resultan gaya yang dialami oleh busbar tengah adalah:

$$F = \frac{\mu_0 0,86I^2l}{8\pi J} = \frac{1,72I^2l}{J} \quad (1)$$

dimana :

- F = gaya pada Busbar tengah (Newton)
- μ_0 = permeabilitas media pengantara Busbar
= $4 \pi 10^{-9}$ H/cm untuk udara
- I = arus simetri yang mengalir pada Busbar (KA)
- L = panjang Busbar (cm)
- J = jarak Busbar (cm).
- (Bonggas, 2003:54)

Tekanan Busbar dan Gaya Isolator

Tekanan yang ditimbulkan gaya tersebut pada rel adalah :

$$\sigma = \frac{\alpha Fl}{8W} \quad (2)$$

dimana :

- σ = tekanan (stress) pada Busbar (N/cm²)
- α = faktor jumlah penyangga terhadap tekanan Busbar
- W = momen tahanan Busbar (cm³)

busbar dinyatakan dapat memikul arus huung singkat tersebut menimbulkan tekanan pada satu batang konduktor lebih

kecil atau sama dengan kekuatan mulur (yield strenght) busbar.

$$\sigma \leq \sigma_m \quad (3)$$

Dimana σ_m adalah kekuatan mulur busbar.

Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (4)$$

dimana :

- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sisi primer transformator (kV)
- I : arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (5)$$

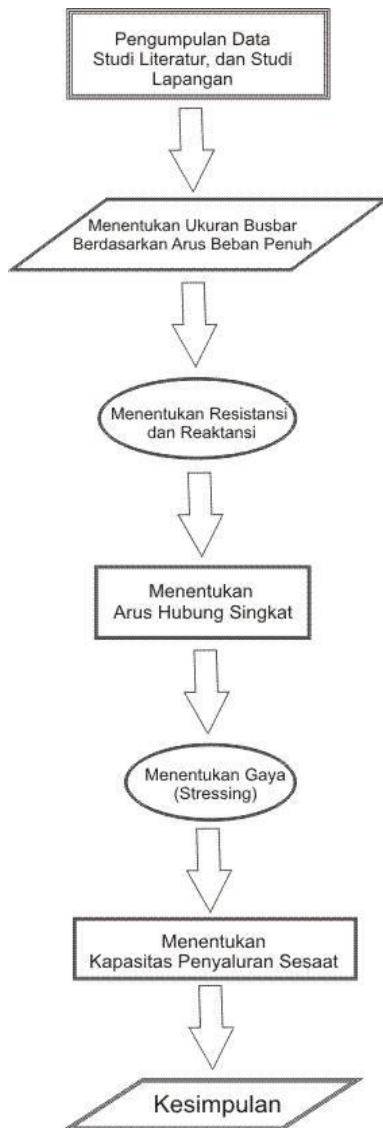
dimana :

- I_{FL} : arus beban penuh (A)
- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangansisi sekunder transformator (kV)

(Sumber : Pusdiklat, 2006)

METODE

Gambar 6 berikut ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 6. Diagram Penyelesaian

HASIL

Hasil perhitungan arus saluran pada tiap-tiap gedung di Fakultas Teknik dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini:

1. Gedung G2

$$I = \frac{S}{V\sqrt{3}} = \frac{39491}{380\sqrt{3}} = 60,00 \text{ A}$$

2. Gedung G3

$$I = \frac{S}{V\sqrt{3}} = \frac{36200}{380\sqrt{3}} = 55 \text{ Ampere}$$

Total arus yang digunakan pada gedung G2-G3 sebesar 115 A.

3. Gedung G4

$$I = \frac{S}{V\sqrt{3}} = \frac{52655}{380\sqrt{3}} = 80,00 \text{ A}$$

4. Gedung G5

$$I = \frac{S}{V\sqrt{3}} = \frac{26451}{380\sqrt{3}} = 40 \text{ Ampere}$$

5. Gedung G6

$$I = \frac{S}{V\sqrt{3}} = \frac{19745}{380\sqrt{3}} = 29,99 \text{ A menjadi } 30 \text{ A}$$

Total arus yang digunakan pada gedung G4-G6 sebesar 150 A.

Perhitungan Luas Penampang Busbar

Proyek akhir Gardu Trafo Tiang ini akan di optimalkan untuk menyuplai beban pada gedung kuliah di Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang dengan daya trafo 100 kVA. Jadi untuk menentukan arus beban penuh adalah sebagai berikut :

$$V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

$$I_{\text{Nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 400} = 144,33 \text{ A (Arus Beban Penuh)}$$

Berdasarkan arus beban penuh yang akan disalurkan yaitu 144,33 A maka dipilihlah konduktor persegi empat yang memiliki

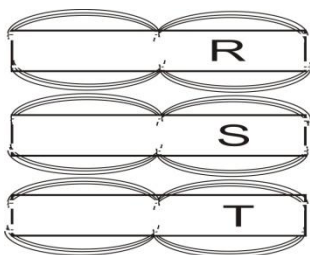
daya hantar arus 177 A yang memberikan data-data sebagai berikut :

- ukuran lebar x tebal = 12mm x 5mm (t = 1,2cm dan h = 0,5cm)
- Jenis tembaga
- Daya hantar arus = 177 A

Gaya Tekan Busbar Akibat Arus Beban Penuh

Dalam kotak PHB TR terdapat 3 batang busbar sebagai fasa R, S, dan T. Pada masing-masing fasa pasti akan menghasilkan gaya tolak-menolak antar fasa, dimana Fasa R menolak fasa S begitu juga dengan fasa S, yang menghasilkan gaya tolak-menolak terhadap fasa T. Kemungkinan terbesar terjadi *trouble* dialami oleh batang busbar fasa S karena terletak dipertengahan, dimana fasa S mengalami gaya tolak dari fasa R dan juga gaya tolak dari fasa T. Sehingga dalam analisis perhitungan untuk menentukan kelayakan busbar, yang perlu diperhatikan adalah dalam menentukan gaya Resultan fasa sama dengan 0 (nol). Pada persamaan 1 telah diketahui besar dari arus beban penuh trafo, sehingga untuk menentukan gaya pada busbar tengah adalah sebagai berikut :

$$\sum F_{R,S,T} = 0 \tag{8}$$



Gambar 7. Pengaruh Gaya masing-masing Fasa

Diketahui:

- $I_{busbar} = 216.5 \text{ Ampere} = 0.216 \text{ kA}$
- $l = 20 \text{ cm}$
- $J = 27 \text{ cm}$
- $\mu_0 = \text{permeabilitas media pengantara busbar}$

$$= 4 \pi 10^{-9} \text{ H/cm untuk udara}$$

$$F = \frac{\mu_0 0,86 I^2 l}{8 \pi J} = \frac{1,72 \times 0,216^2 \times 20}{27} = 0,06 \text{ N}$$

Pada perhitungan di atas, dihasilkan nilai gaya yang dihasilkan pada masing-masing batang busbar (Fasa R, S, dan T). Untuk menentukan hasil perhitungan Resultan gaya pada masing-masing batang busbar dijumlahkan sesuai dengan arah gaya batang busbar.

$$\sum F_{R,S,T} = 0$$

$$F_R + (- F_S) + (- F_S) + F_T = 0$$

$$0.06 + (-0.06) + (- 0.06) + 0.06 = 0$$

Dari penjumlahan Resultan gaya yang terjadi pada masing-masing busbar dalam kotak PHB TR dihasilkan bahwa busbar yang berada di tengah (Fasa S) tidak mengalami gaya.

PEMBAHASAN

Ukuran Busbar Berdasarkan Arus Beban Penuh

Berdasarkan perhitungan arus beban penuh transformator, maka ukuran busbar yang sesuai dengan arus yang akan disalurkan yaitu 144,33 A dan luas penampang sebesar 59,5 mm². Maka dipilihlah konduktor persegi empat yang memiliki daya hantar arus 177 A yang memberikan data-data sebagai berikut:

- ukuran lebar x tebal = 12 mm x 5mm (l = 1.2cm dan h = 0,5cm)
- Jenis tembaga
- Daya hantar arus = 177 A

Ukuran busbar yang tersebut diatas berbeda dengan ukuran busbar yang akan digunakan pada proyek gardu trafo tiang ini yaitu 40mm x 5mm. Hal ini dikarenakan hanya busbar yang berukuran 40mm

- III. Cetakan IV. 1984. Jakarta: PT PERTJA.
- Asy'ari, Hasyim dan Jatmiko. 2008. *saluran udara tegangan menengah (sutm) dan gardu distribusi*. (online). URL:<http://www.staff.ummsurakarta.com>, diakses tanggal 22 Desember 2008.
- Andi.2008 *Sistem Perlindungan Petir*. (online).URL:<http://www.google.co.id/search?hl=id&q=pemilihan+groundwire&btnG=Telusuri+dengan+Google&meta=&aq=f&oq=>.2009, diakses tanggal 22 Pebruari 2009.
- Hutauruk T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Erlangga.
- L. Tobing, Bonggas. *Peralatan Tegangan Tinggi* .(online).URL: <http://www.pdfactory.com/>.2008, diakses tanggal 08 Agustus 2009.
- SPLN :118_1_3 : 1996. .(online).URL: <http://www.google.com/SPLN>, diakses tanggal 08 Agustus 2009.