

# STUDI KARAKTERISASI PEMBUATAN OPTICAL PHASA CONDUCTOR PADA KONDISI IKLIM TROPIS INDONESIA

Samsudi Raharjo<sup>1</sup>

## Abstrak

Sejalan perkembangan akan *urgent demands* (tuntutan mendesak) kebutuhan tenaga listrik dan informasi komunikasi khususnya jaringan internet data, sekarang dikembangkan konduktor terintergritas yang dinamakan OPPC (*optical phasa conductor*). Penelitian ini sebagai dasar pembuatan kabel OPPC yang digunakan untuk penghantar listrik tegangan ekstra tinggi dan jaringan internet data sekaligus dengan performa handal dan tahan lama. Tujuan penelitian studi karakteristik dan mekanik dari masing-masing material pembentuk konduktor OPPC. Kegiatan percobaan dari variasi material Aluminium dan kabel optik desain konduktor OPPC dengan menganalisa kekuatan mekanik dan karakteristik. Metodologi penelitian menganalisa karakteristik dan sifat mekanik dari material Aluminium dan serat optik sebagai variabel bebas, sedangkan untuk pengujian terdiri dari komposisi kimia, strukturmikro, kekerasan, tarik dan puntir berpengaruh terhadap pengaruh daya hantar kabel, kekuatan menahan beban dan pengaruh interfensi pada peningkatan *ampacity* pada kabel. Hasil pengujian material kabel OPPC untuk material Aluminium memiliki komposisi kimia 98.99 % wt, ini termasuk jenis Aluminium murni yang ditunjang pengujian metalurgrafi untuk strukturmikro hampir semuanya unsur Al sedangkan kekerasannya 18 BHN. Kekuatan tarik 22 kg/mm<sup>2</sup> dan kawat optik 4,5 kg/mm<sup>2</sup>. Dari hasil uji puntir material Al sebesar 18,8 kg/mm<sup>2</sup> pada kawat serat optik 3,8 kg/mm<sup>2</sup>, dan tidak terjadi induksi tegangan listrik pada kabel optik, sehingga interferensi bersifat membangun terjadi penjumlahan superposisi dua gelombang.

Kata Kunci: Tegangan Tinggi, Kawat Baja, Aluminium, Optik, Konduktor.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat akan listrik tidak sebanding dengan pelayanan yang diberikan pemerintah, khususnya masyarakat didaerah marginal. Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah menargetkan *electrical capacity* secara nasional 57 ribu Megawatt pada tahun 2016 dengan menunjuk PT Perusahaan Listrik Negara (**Tempo, 2009**).

Tercapainya target listrik nasional tidak lepas dari pendistribuan jaringan distribusi Jawa-Bali sepanjang 27.779 km (**Koran Jakarta, 2009**). Ini menunjang tuntutan kebutuhan mendesak akan tenaga listrik, disamping itu kebutuhan komunikasi khususnya jaringan internet data semakin pesat maka sekarang dikembangkan konduktor yang terintergritas

---

<sup>1</sup> Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Muhammadiyah Semarang

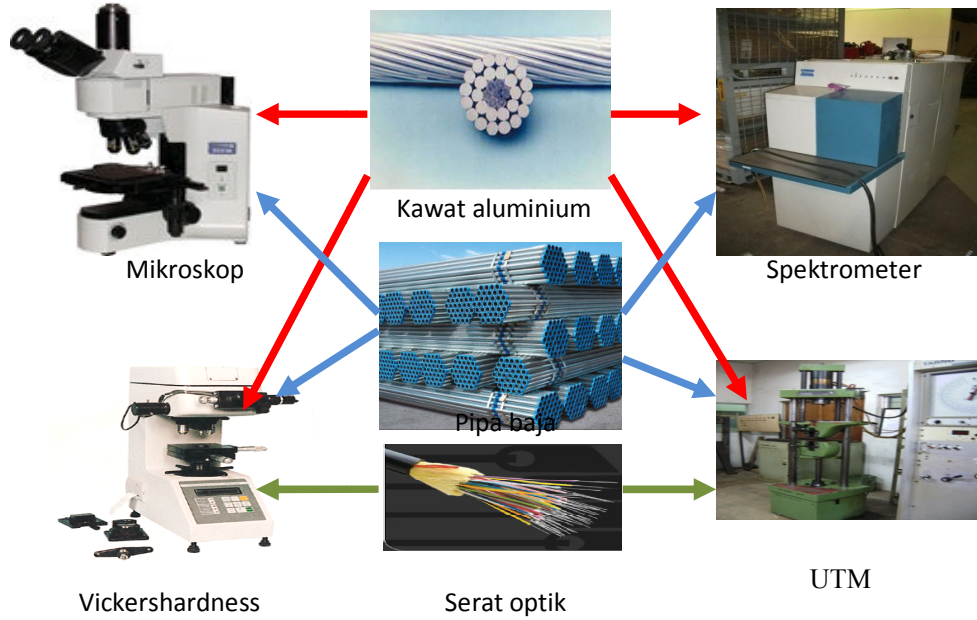
disebut dengan kabel OPPC (*optikal phasa conductor*) digunakan untuk transmisi tenaga listrik dan kabel data komunikasi.

Konduktor OPPC dipasang pada transmisi saluran udara dituntut mempunyai sifat mampu menghantarkan listrik dan performa kerja yang baik terhadap kekuatan mekanis maupun elektris. Kriteria unjuk kerja mekanis penghantar adalah harus tahan terhadap perubahan temperatur akibat arus yang dilewatkan, tahan terhadap segala gaya tekanan maupun tarikan dari hujan dan angin.

Mengetahui karakteristik mekanik dan elektrik dari masing-masing kabel, baik kabel listrik PLN maupun kabel optik Telkom yang dipakai di Indonesia. Ini dipengaruhi iklim, topografi wilayah terhadap kinerja dan tidak kalah pentingnya pembebanan arus saluran terhadap unjuk kerja mekanis konduktor OPPC yang meliputi tegangan tarik konduktor, andongan, tegangan puntir dan panjang pemuluran konduktor. Diharapkan data pengujian mekanik dan karakterisasi yang diperoleh menjadi input dalam perencanaan dan pembangunan struktur konstruksi saluran transmisi udara yang sesuai dengan sifat kabel OPPC. Pada penelitian ini, mempelajari karakteristik dan sifat-sifat mekanik masing-masing material untuk mendapatkan material konduktor OPPC yang optimal dan performa yang tinggi.

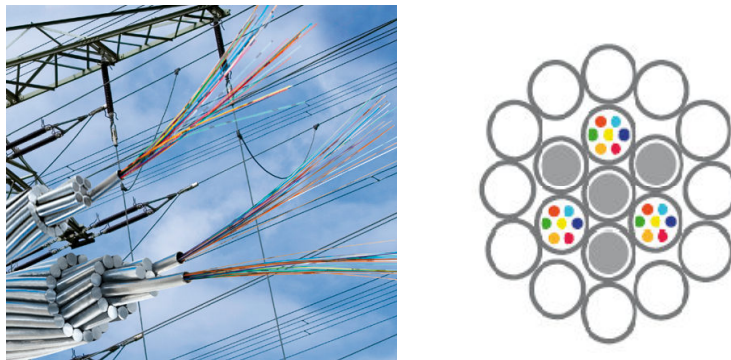
Kawat aluminium yang dipakai pada penelitian ini menggunakan AAC 50/3 yaitu luas penampang maksimal  $50 \text{ mm}^2$  yang masing-masing kawat berdiameter 3 mm sedangkan serat optik menggunakan serat mode tunggal jenis ITU-T G.652 dengan pelindung luar kabel terbuat dari karet yang berfungsi melindungi fiber optik dari induksi magnetik maupun gangguan luar lainnya. Untuk pembungkus kabel optik dan penguat kabel OPPC menggunakan galvanized steel ST6C berbentuk pejal dan berlubang dengan diameter 2.75 mm.

Tahapan pengujian yang pertama yaitu pengujian komposisi kimia dan metalografi untuk mengetahui karakterisasi material pada kawat Aluminium dan pipa baja sedangkan pada kabel optik tidak lakukan karena sudah diketahui komposisi kimia yaitu  $\text{SiO}_2$ . Pengujian kedua yaitu pengujian kekerasan, tarik dan puntir dilakukan pada semua material untuk mengetahui sifat mekanik material dengan tahapan pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Pengujian Material

Kabel OPPC dalam penelitian termasuk jenis komposit dengan susunan material ditunjukkan pada **Gambar 2**, dimana terdapat dua susunan pembentukanya yaitu fiber optik terpusat (*central tube*) pada pipa baja tahan karat yang posisinya di inti (*core*) sedangkan kawat Aluminium dipermukaan penghantar OPPC.



Gambar 2. Susunan Kabel OPPC

#### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini adalah studi karakteristik dan sifat mekanik material konduktor OPPC untuk mendapatkan sifat material yang optimal dan performa yang tinggi untuk diaplikasikan pada iklim tropis Indonesia. Penelitian ini akan menganalisa karakteristik dan sifat mekanik

dari material Aluminium dan serat optik sebagai variabel bebas, sedangkan untuk pengujian terdiri dari komposisi kimia, strukturmikro, kekerasan, kekuatan tarik dan puntir berpengaruh terhadap pengaruh daya hantar kabel, kekuatan menahan beban dan pengaruh interfensi pada peningkatan *ampacity* pada kabel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi kimia

Hasil pengujian komposisi kimia kawat Aluminium untuk kabel OPPC didominasi oleh unsur Al sebesar 99,10 wt %, unsur Fe 0,31 wt %, dan unsur Si 0,33 wt % yang ditunjukkan pada **Tabel 1**. Material ini termasuk Aluminium murni (*pure Aluminium*), masuk Aluminium seri 1010 sesuai dengan ASM vol 2 tahun 2002 dan memiliki struktur logam FCC (*Face Centered Cubic*). Aluminium murni memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm<sup>3</sup>, densitas 2,685 kg/m<sup>3</sup>, dan titik leburnya pada temperatur 660°C sedangkan memiliki sifat ringan, tahan korosi, hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan (AA, 1999).

Tabel 1. Komposisi Kimia Kawat Aluminium Untuk Kabel OPPC

| Unsur Paduan      | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Zn   | Ti   | Unsur lain | Al    |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|
| Berat unsur (wt%) | 0,33 | 0,31 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,03       | 99,10 |

Pipa baja Galvanis setelah diuji kimia menunjukkan hasil yang ditunjukkan Tabel 2. Untuk unsur kimia tertinggi dimiliki oleh unsur Fe 99,35 wt % dan unsur C 0,084 wt % sedangkan untuk permukaan lapisan pipa baja Galvanis memiliki unsur Zn 99,021 wt %. Menurut klasifikasi baja karbon, kadar karbon 0,08% - 0,12% adalah termasuk baja karbon rendah yang bersifat sangat lunak (Wirjosumarto, 2000). Data hasil uji komposisi memiliki karbon (C) 0,084 wt %, sehingga pipa baja Galvanis termasuk dalam kategori baja karbon rendah yang bersifat sangat lunak.

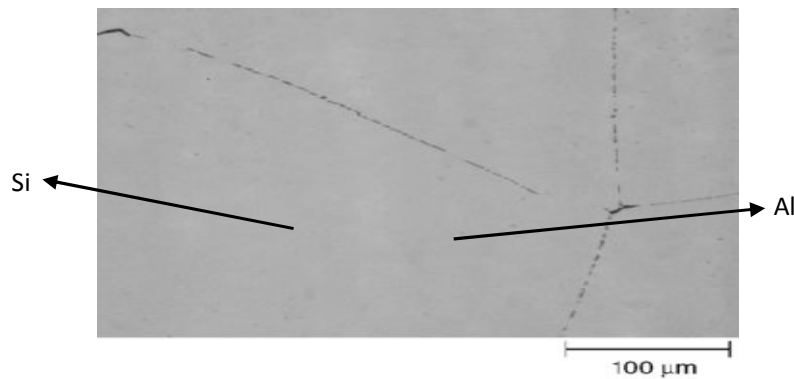
Baja Galvanis adalah baja lapis seng yang mengandung unsur Zn sebesar 99,7% (ASM vol 1, 2002). Jika dikomparasi dengan hasil uji komposisi kimia lapisan Galvanis tersebut, maka masuk dalam standarisasi Galvanis dengan persentase seng (Zn) 99,021 wt %.

Tabel 2. Komposisi Kimia Pipa Baja Galvanis Untuk Kabel OPPC

| Unsur Paduan      | Fe    | S     | C     | Ni    | Si    | Cr    | Mn    | Mo    | P     | Cu    | Al    |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Berat unsur (wt%) | 99,35 | 0,008 | 0,084 | 0,033 | 0,009 | 0,030 | 0,245 | 0,010 | 0,027 | 99,10 | 0,033 |

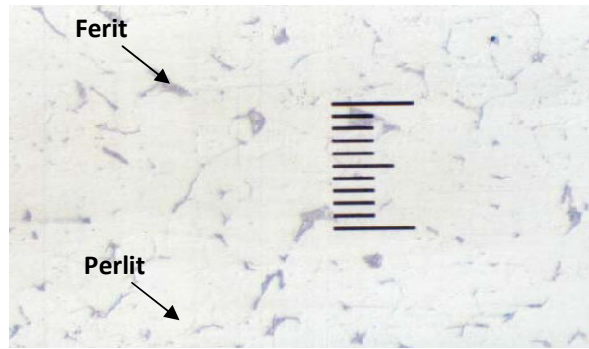
### Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk melihat morfologi dan karakteristik dari material kawat Aluminium dan pipa baja Galvanis. Dari hasil foto struktur mikro kawat Aluminium menunjukkan unsur Al yang berwarna putih mendominasi dan menyebar pada seluruh permukaan material sedangkan garis yang berwarna hitam merupakan unsur silikon (Si) yang diperlihatkan pada **Gambar 3**. Ini menguatkan dari hasil uji komposisi kimia dimana unsur Si sebesar 0,33 wt % sesuai dengan hasil foto struktur mikro. Unsur Si pada material kawat Aluminium disebut juga dengan pengotor karena mengganggu kemurnian dari material Aluminium untuk kabel OPPC.



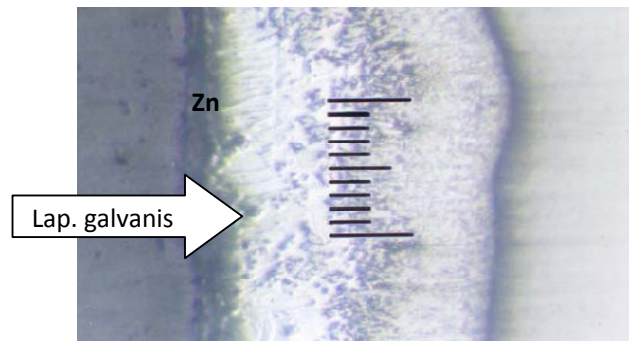
Gambar 3. Struktur Mikro Kawat Aluminium

Pengujian metalografi untuk mengamati struktur mikro pipa baja Galvanis dilakukan pada daerah sisi permukaan dan sisi lapisan dalam pipa baja Galvanis dengan perbesaran 200x yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Hasil dari pengujian foto struktur mikro struktur yang terlihat adalah ferit dan perlit, struktur yang terlihat mendominasi adalah ferit yang menyebabkan pipa baja Galvanis bersifat lunak sehingga tergolong dalam kategori baja karbon rendah dengan kadar karbon (C) 0,084 wt %.



Gambar 4. Struktur Mikro Permukaan Pipa Baja Galvanis

Hasil dari pengujian foto struktur mikro lapisan Galvanis dapat dilihat pada **Gambar 5**, menunjukkan bahwa lapisan Galvanis dengan unsur utamanya adalah seng (Zn) dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu sebesar 99,021%. Lapisan Galvanis tersebut mampu memperlambat laju korosi karena seng memiliki sifat yang dapat menutup goresan, sehingga udara lembab tidak dapat masuk ke dalam pipa (**Beumer, 1978**).



Gambar 5. Struktur Mikro Lapisan Galvanis Bagian Dalam Pipa

### **Kekerasan**

Pengujian kekerasan mikro ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan material kawat Aluminium dan pipa baja Galvanis dengan spesimen kecil. Alat yang digunakan untuk menguji kekerasan menggunakan *vickers hardness* dengan beban 200 gram selama 10 detik. Hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada **Tabel 3**.

Kawat Aluminium memiliki kekerasan yang rendah yaitu sebesar 43,66 HVN dikarenakan Aluminium memiliki densitas, berat jenis dan titik lebur yang rendah (**Anonim, 2009**), sedangkan hasil pengujian kekerasan pada pipa baja sebesar 134,66 HVN ditunjang dari struktur kristal di dalam pipa baja Galvanis terdistribusi tegangan merata ke semua

ikatan struktur kristal hanya sebagian ikatan struktur kristal akan mengalami tekanan lebih besar dibanding ikatan struktur kristal yang lain (Trethewey, 1991). Kekerasan dari material diatas baik kawat Aluminium maupun pipa baja sesuai standart penggunaan kabel saluran udara tegangan tinggi (SUTET) dimana kawat Aluminium memiliki kekerasan antara 40-75 HVN (PLN, 1981).

**Tabel 3.** Kekerasan Masing-Masing Material Kabel OPPC

| Material        | Kekerasan (HVN) |     |     |           |
|-----------------|-----------------|-----|-----|-----------|
|                 | I               | II  | III | Rata-rata |
| Kawat Aluminium | 45              | 42  | 44  | 43,66     |
| Pipa baja       | 136             | 133 | 135 | 134,66    |

### Uji tarik

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui berapa kekuatan tarik dari masing-masing material kebel OPPC. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM) yang beban tarik sudah ditentukan menurut ASTM B-230. Tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tarik nominal kawat pada keadaan temperatur lingkungan dengan posisi vertikal dan horisontal. Pada pengujian tarik didapatkan besarnya tegangan maksimum dan regangan Adapun hasil perhitungan uji tarik masing-masing material kabel OPPC ditunjukkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Kekuatan Tarik Masing-Masing Material Kabel OPPC

| Material        | Pengujian Tarik (MPa) |       |       |           |
|-----------------|-----------------------|-------|-------|-----------|
|                 | I                     | II    | III   | Rata-Rata |
| Kawat Aluminium | 93                    | 90    | 89    | 90,66     |
| Pipa Baja       | 348,1                 | 354,5 | 342,7 | 348,43    |
| Kabel Optik     | 42                    | 39    | 38    | 39,66     |

Kekuatan tarik kawat Aluminium tidak begitu tinggi. Namun, dengan adanya pemaduan pipa baja dan kabel optik dapat meningkatkan kekuatan tariknya. Pipa baja akan berperan penting dalam kabel OPPC, selain sebagai pelindung kabel optik juga sebagai penguat karena pipa baja mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dibanding material lainnya. Dengan penggabungan dari beberapa material kabel OPPC, untuk kekuatan tariknya bisa

mencapai 478,75 MPa dan masuk standar kabel PLN untuk kabel SUTET dimana kekuatan tarik kabel SUTET PLN antara 400-800 MPa (PLN, 1981).

### Uji Puntir

Pengujian puntir menggunakan alat uji torsi yaitu alat yang dirancang untuk mengukur seberapa besar gaya puntir sampai spesimen patah. Caranya adalah dengan memuntir batang uji terus-menerus sampai batang uji itu putus atau mencapai jumlah puntiran yang ditentukan dan putarannya harus searah. Untuk hasil uji puntir dari masing-masing material kabel OPPC ditunjukkan pada **Tabel 5** berikut ini.

Tabel 5. Kekuatan Puntir Masing-Masing Material Kabel OPPC

| Material        | Pengujian Puntir (MPa) |       |       |           |
|-----------------|------------------------|-------|-------|-----------|
|                 | I                      | II    | III   | Rata-Rata |
| Kawat Aluminium | 120,2                  | 117,4 | 115,3 | 117,63    |
| Pipa Baja       | 398,2                  | 401,3 | 400,7 | 400,06    |
| Kabel Optik     | 55                     | 53    | 60    | 56        |

Hasil pengujian puntir dipengaruhi oleh momen inersia massa pada luas permukaan setiap material kabel OPPC. Untuk pipa baja Galvanis memiliki kekuatan puntir yang tinggi karena berbentuk pipa dan kekerasan tinggi bila digabungkan dengan material lainnya kan semakin tinggi kekuatan puntirnya, sehingga cocok sebagai penguat dalam kabel OPPC yang membuckup kawat aluminium dan kabel optik. Untuk kekuatan puntir kabel SUTET yang digunakan pada PLN antara 360-860 MPa sehingga hasil pengujian puntir diatas masuk dalam standart kawat SUTET PLN.

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian komposisi kimia untuk material kawat Aluminium termasuk jenis Aluminium murni tipe 1010 dan pipa baja Galvanis tergolong baja karbon rendah dan memiliki sifat tahan karat karena dilapisi Galvanis.
2. Struktur mikro kawat Aluminium murni didominasi oleh unsur Al dan sedikit unsur Si dan Fe dan pipa baja Galvanis terdiri dari perlit dan ferit untuk bagian dalam sedangkan bagian permukaan hampir seluruhnya unsur seng (Zn).



3. Hasil kekerasan dan uji tarik selaras, dimana kekerasan semakin tinggi maka uji tarik semakin besar. Untuk kekerasan tertinggi pada pipa baja Galvanis dalam kabel OPPC digunakan sebagai penguat.
4. Hasil data uji puntir dari penggabungan beberapa material masuk dalam standar kabel SUTET PLN.

## DAFTAR PUSTAKA

ASTM E4

ASTM B-230

ASTM B-231

ASTM E18

DIN-48201

ANSI C119.4, (Connector testing)

Aluminum Association Guide for Stress-Strain Testing, 1999

A. S. Pabla.,1994, “ Sistem Distribusi Daya Listrik”, Erlangga, Jakarta, 1994, p.181.

[Anonim]. Classification Aluminum. 2009. [www.aluminum-matter.co.uk](http://www.aluminum-matter.co.uk) (10 November 2009)

3M corporation.,2003,” *Conductor and Accessory Testing*. Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR)” Technical Notebook, 2003

Beumer, BJM.,1978, Ilmu Bahan Logam , jilid I, PT. Bharatara Karya Aksara, Jakarta.

Hermawan.,2005.”Pemasangan kabel fiber optik pada tiang SUTT atau SUTET 70 kV-50 kV di PT. Icon +”

Harsono Wiryosumarto, 2000, *Teknik Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Joseph.,2009.”Pengenalan Sistem Komunikasi Serat Optik” Buku DIKTAT.

Jakubiak,E.A., dan Matusz,J.S.1989, “High Temperature Tests of ACSR conductor Hardware”, IEEE Transactions on Power Delivery. Vol.4. No.1, 1989

Kompas., 2009, “PLN Bidik Target Listrik 57 Ribu Megawatt pada 2016” Kamis, 22 Oktober 2009

Koran Jakarta.,2009, “Persoalan Listrik yang Tak Kunjung Padam”

Migiantoro, H.Bb.,2002.”Kajian Kinerja Mekanis Konduktor ACSR dan TACSR terhadap Perubahan Arus Saluran”. Tesis. Program Studi Teknik Elektro, Pasca Sarjana, UGM Yogyakarta,2002.

- NEETRAC Project.,2006.”1033 ACCR Conductor Stress Strain Test and Fittings Tensile Test”
- PLN.,1981, “Hantaran Aluminium berpenguat baja (ACSR)” SPLN 41-7:1981
- Prairie Business Magazine.,2005 “Composite Conductor Planned for Minnesota”. Staff Report.2005.
- Reinhard Girbig, 2005., “Advanced OPPCAccessories for the Use on Power Lines up to 36 kV”
- Reinhard Girbig and Philippe Bernon.,2005,” OPPC Solutions for 63 kV, 90 kV and 225 kV Power Lines.
- St.Paul.,2003,”Aluminum Conductor Composite Reinforced Technical Notebook” (477 kcmil family)
- Supriyadi.,2007,” Analisis Unjuk Kerja Mekanis Konduktor ACCR Akibat Perubahan Arus Saluran”.
- Seppa, T.O.,1995, “Accurate Ampacity Determination; Temperature-Sag Model for Operational Real-Time Rating”. IEEE. Transaction on Power Delivery, V.10 No.3,1995, pp 1460-1470.
- Trethewey, K.R. terj. Widharto, 1991, Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- William D. Stevenson Jr., 1990, “Analisis Sistem Tenaga Listrik”, Erlangga, Jakarta, V.10 No.6,1990.

---

PENULIS:

Drs. H. Samsudi raharjo, ST, MT, MM  
Program Studi S1 Teknik Mesin UNIMUS  
e-mail : samraharjo2@gmail.com