

ANALISIS PENGGUNAAN LOGAM PENGHANTAR UNTUK MINIMALISASI DAMPAK NEGATIF SUTET

Roniyus MS

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
Jl. S. Brodjonegoro No.1 Bandar Lampung 35145
Email: roniyus@unila.ac.id

Diterima 11 Januari 2006, perbaikan 15 Maret 2006, disetujui untuk diterbitkan 6 April 2006

ABSTRACT

As we know that negative effect of SUTET (High Voltage Network) has been a pro-contra in this country since several years ago. Dealing with the issue, the research is trying to find the alternative solution in minimizing the negative effect of SUTET. Reducing of SUTET's electromagnetic wave intensity can be performed by wrapping up SUTET with the conductor metal. The results showed that silver was the best conductor metal as SUTET's blanket to reduce the electromagnetic wave intensity effect. Based on simulation/theory, the silver thickness as thick as 2.5 cm reduced the SUTET's electromagnetic wave intensity up to 0%. Cuprum, a cheaper metal can also be used to reduce electromagnetic wave intensity effect. Based on simulation/theory, to reduce electromagnetic wave intensity up to 0%, the cuprum thickness that need to be used as blanket was 2.5 cm, however experimentally it was 6 cm. This optimum thickness can be made smaller if the cuprum blanket is covered over the SUTET wire.

Keywords: SUTET (high voltage network), conductor metal

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2003 lalu, hampir semua media cetak dan elektronik yang ada di negeri ini memberitakan tentang adanya demonstrasi yang dilakukan oleh warga masyarakat yang berada di sekitar SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi)^{1, 2, 3}. Para demonstran mengeluhkan beberapa hal yang dialaminya seperti ISPA (Infeksi Saluran Pernapasan Akut), kanker, kerusakan barang-barang elektronik dan gangguan psikologis lainnya. Di lain pihak, PT. PLN telah menyatakan bahwa SUTET tidak berbahaya karena kuat medan listrik yang dihasilkan SUTET adalah 0,25 kV/m, artinya masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan WHO yaitu 10 kV/m⁴.

Sementara itu beberapa penelitian yang terkait dengan pengaruh medan listrik dan medan magnet statis maupun dinamis telah banyak dilakukan sebelumnya⁵⁻¹³. Penelitian terkini yang dilakukan oleh Camus dkk dari Fakultas Kedokteran Pitie-Salpetriere Paris dan Jacques Lambrozo dari Institute Electricite Gaz de France Paris menyimpulkan bahwa paparan spektrum elektromagnetik (yang dihasilkan oleh jaringan listrik di institusi perusahaan listrik di Paris) yang berjalan terus menerus dan kumulatif tidak akan menimbulkan efek yang mengganggu fungsi

pembentukan *melatonin* yaitu hormon pada manusia yang berkorelasi langsung dengan kesehatan manusia¹⁴. Intensitas gelombang elektromagnetik yang digunakan dalam penelitian tersebut belum tentu sama dengan intensitas gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh SUTET di Indonesia. Pada sisi yang lain, pembangunan SUTET tidak bisa dihindarkan karena merupakan sarana yang diperlukan untuk menghubungkan tenaga listrik dari gardu-gardu induk tegangan ekstra tinggi ke gardu menengah, gardu tegangan rendah dan konsumen¹⁵.

Mengingat pro-kontra dampak negatif SUTET bagi manusia tersebut, peneliti bermaksud turut memberikan alternatif penyelesaian untuk permasalahan ini dalam bentuk meminimalkan intensitas gelombang elektromagnet yang dipancarkan oleh SUTET. Gelombang elektromagnet dapat dikurangi intensitasnya secara signifikan apabila gelombang elektromagnet tersebut dilewatkan dalam sebuah logam penghantar¹⁶. Untuk itu diperlukan beberapa analisa yang mendalam seperti analisa mengenai jenis logam penghantar yang paling baik untuk mengurangi intensitas gelombang elektromagnet tersebut dan analisa ketebalan logam penghantar yang akan digunakan.

1.1. Pelemahan Amplitudo Gelombang Elektromagnet Di Dalam Logam Penghantar

Analisis perambatan gelombang elektromagnet di dalam logam penghantar didasarkan pada persamaan-persamaan Maxwell dalam satuan SI untuk penghantar, sebagaimana diberikan oleh Pers.(1) dan Pers.(2) berikut ini¹⁷:

$$\begin{aligned}
 (a) \quad \nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) &= \rho_f ; \\
 (b) \quad \nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) &= -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t} ; \\
 (c) \quad \nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) &= 0 ; \\
 (d) \quad \nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) &= \vec{J}_f(\vec{r}, t) + \frac{\partial \vec{D}(\vec{r}, t)}{\partial t}, \quad (1) \\
 (a) \quad \vec{D}(\vec{r}, t) &= \epsilon \vec{E}(\vec{r}, t) ; \\
 (b) \quad \vec{B}(\vec{r}, t) &= \mu \vec{H}(\vec{r}, t) ; \\
 (c) \quad \vec{J}_f(\vec{r}, t) &= \sigma \vec{E}(\vec{r}, t), \quad (2)
 \end{aligned}$$

dengan $\vec{D}(\vec{r}, t)$ adalah kuat medan pergeseran listrik, $\vec{B}(\vec{r}, t)$ adalah kuat medan magnet induksi, $\vec{E}(\vec{r}, t)$ adalah kuat medan listrik, $\vec{H}(\vec{r}, t)$ adalah kuat medan magnet, dan $\vec{J}_f(\vec{r}, t)$ adalah rapat arus bebas di dalam logam penghantar.

Jika Pers.(1.b) dirotasikan sekali lagi maka didapatkan Pers. (3):

$$\nabla(\nabla \cdot \vec{E}(\vec{r}, t)) - \nabla^2 \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \nabla \times \vec{B}(\vec{r}, t), \quad (3)$$

substitusi Pers.(2), (1.a) dan (1.d) ke Pers.(3), serta dengan mengingat ρ_f adalah konstanta rapat muatan bebas per satuan volume di dalam logam penghantar, ϵ adalah permetivitas logam penghantar, μ adalah permeabilitas logam penghantar dan σ adalah konstanta konduktivitas logam penghantar, maka dihasilkan persamaan diferensial gelombang elektromagnet yang diwakili oleh gelombang listriknnya di dalam logam penghantar, sebagai berikut

$$\nabla^2 \vec{E}(\vec{r}, t) - \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = 0. \quad (4)$$

Jika diasumsikan gelombang listrik di dalam logam penghantar merambat di sepanjang sumbu z dengan amplitudonya berada pada sumbu x , maka persamaan simpangan gelombang listriknnya adalah

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \exp[i(\omega t - kz)] \hat{x}, \quad (5)$$

$$\vec{H}(z, t) = \left(\frac{(\sigma k_I + \epsilon \omega k_R) + i(\epsilon \omega k_I - \sigma k_R)}{k_R^2 + k_I^2} \right) E_0 \exp[-k_I z] \exp[i(\omega t - k_R z)] \hat{y}. \quad (11)$$

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E}(\vec{r}, t) \times \vec{H}^*(\vec{r}, t)), \quad (12)$$

dengan E_0 = amplitudo gelombang, ω = frekuensi sudut gelombang dan k = vektor gelombang.

Selanjutnya Pers.(5) ini disubstitusikan ke Pers.(4) sehingga didapatkan

$$k^2 = \omega^2 \mu \left(\epsilon - i \frac{\sigma}{\omega} \right), \quad (6)$$

dari Pers.(6) ini tampak bahwa vektor gelombang (k) berbentuk bilangan kompleks yang dapat dituliskan dalam bentuk

$$k = k_R - ik_I, \quad (7)$$

kemudian pers.(7) ini disubstitusikan ke Pers.(6) sehingga diperoleh

$$k_R = \omega \left(\frac{1}{2} \left(\left(\epsilon^2 \mu^2 + \left(\frac{\mu \sigma}{\omega} \right)^2 \right)^{1/2} + \mu \epsilon \right) \right)^{1/2}; \quad (8)$$

$$k_I = \omega \left(\frac{1}{2} \left(\left(\epsilon^2 \mu^2 + \left(\frac{\mu \sigma}{\omega} \right)^2 \right)^{1/2} - \mu \epsilon \right) \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Lalu Pers.(7) disubstitusikan kembali ke Pers.(5) sehingga didapatkan bentuk

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \exp[-k_I z] \exp[i(\omega t - k_R z)] \hat{x}, \quad (10)$$

dari Pers.(10) ini tampak bahwa gelombang listrik/elektromagnetik yang merambat di dalam logam penghantar yang memiliki daya hantar (σ), permetivitas (ϵ) dan permeabilitas (μ) akan mengalami pelemahan amplitudo seiring dengan semakin dalamnya gelombang tersebut masuk ke dalam logam penghantar. Pelemahan amplitudo tersebut berbanding langsung dengan pelemahan intensitas gelombang tersebut.

1.2. Pelemahan Intensitas Gelombang Elektromagnet Di Dalam Logam Penghantar

Untuk mencari pelemahan intensitas gelombang elektromagnet, terlebih dahulu dicari persamaan simpangan gelombang magnetnya. Dari Pers.(10), (1.d) dan (2), didapatkan persamaan simpangan gelombang magnetnya seperti terdapat dalam Pers. (11). Intensitas gelombang elektromagnetiknya didefinisikan sebagai Vektor Poynting rata-rata gelombang tersebut seperti terdapat pada Pers. (12)¹⁷:

Jika Pers.(10) dan (11) disubstitusikan ke Pers.(12) maka diperoleh intensitas gelombang elektromagnet selama merambat di dalam logam penghantar pada arah z yaitu

$$\langle S_z \rangle = \frac{\sigma k_I + \epsilon \omega k_R}{2(k_R^2 + k_I^2)} E_0^2 \exp[-2k_I z]. \quad (13)$$

Dari Pers.(13) tersebut juga dapat diperoleh intensitas gelombang elektromagnet sebelum memasuki logam penghantar (ketika $z = 0$), yaitu

$$\langle S_0 \rangle = \frac{\sigma k_I + \epsilon \omega k_R}{2(k_R^2 + k_I^2)} E_0^2. \quad (14)$$

Dari Pers.(14), Pers.(13) dapat diubah bentuknya menjadi

$$\langle S_z \rangle = \langle S_0 \rangle \exp[-2k_I z]. \quad (15)$$

Pers.(15) ini merupakan persamaan intensitas gelombang elektromagnetik selama di dalam logam penghantar sebagai fungsi dari intensitas gelombang sebelum masuk ke dalam logam penghantar. Dari Pers.(15) ini tampak bahwa intensitas gelombang elektromagnetik yang merambat di dalam penghantar mengalami pelemahan dari intensitas mula-mula.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Inti Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung selama 8 (delapan) bulan.

2.2. Bahan

Kabel listrik tunggal terbuat dari tembaga, steker, bola lampu, beberapa jenis logam penghantar listrik berbentuk lembaran, seperti tembaga, aluminium dan seng. Isolasi listrik.

2.3. Alat

Gunting seng, gunting, mistar, multimeter, obeng, palu, statif (penyangga kabel), sumber tegangan 220 V, tang pemutus, teslameter, test-pen.

2.4. Rancangan Penelitian dan Pengambilan Data

2.4.1. Menentukan Logam Penghantar Pilihan

Untuk mendapatkan logam penghantar pilihan (logam penghantar yang paling baik menyaring intensitas gelombang elektromagnet), diperlukan data-data mengenai daya hantar listrik (σ), permitivitas (ϵ) dan permeabilitas (μ) untuk masing-masing logam penghantar. Mengingat intensitas gelombang elektromagnet setelah keluar dari selimut penghantar diharapkan jauh lebih kecil daripada intensitas mula-mula ($\langle S \rangle \ll \langle S_0 \rangle$) maka

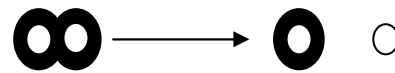
dapat dirumuskan faktor pengurangan intensitas (R) sebagai berikut

$$R = \frac{\langle S \rangle}{\langle S_0 \rangle} = \exp[-2k_I d], \quad (16)$$

dengan R harus memenuhi syarat $R \ll 1$. Kemudian data-data σ , ϵ dan μ pada setiap logam penghantar disubstitusikan ke Pers.(16) ini sehingga didapatkan R untuk setiap logam penghantar, lalu dibuat grafik R sebagai fungsi dari d untuk setiap jenis logam penghantar.

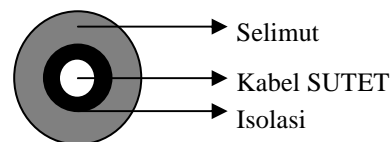
2.4.2. Menentukan Ketebalan Optimum Logam Penghantar Pilihan

1. Dua untai kabel listrik yang biasanya tergabung dalam satu kesatuan kabel dipisahkan menjadi dua bagian, kulit yang membungkus salah satu kabel dikupas (Gambar 1).



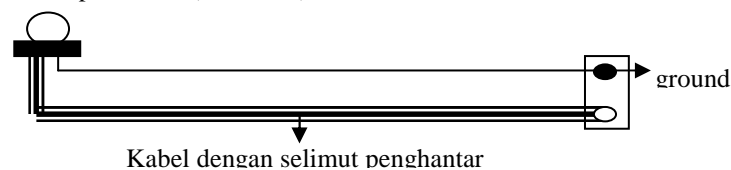
Gambar 1. Pemisahan kabel listrik menjadi dua bagian

2. Kabel yang telah dikupas lalu diselimuti dengan isolasi, isolasi ini bertujuan agar tidak terjadi kontak langsung antara kabel dengan selimut penghantar, karena jika terjadi kontak langsung maka selimut penghantar tidak ada perannya sama sekali (selimut berperan menjadi penghantar juga). Kemudian kabel yang telah diisolasi tadi diselimuti lagi dengan logam penghantar pilihan (Gambar 2).



Gambar 2. Penampang kabel listrik yang diselimuti oleh penghantar

3. Kabel yang telah diselimuti lalu dihubungkan dengan terminal aktif pada stop kontak, sedangkan kabel yang biasa dihubungkan dengan ground pada stop kontak. Pada ujung yang lain dihubungkan dengan sebuah bola lampu. Kemudian diukur kuat medan magnet induksi (B) yang dihasilkan oleh kabel berselimut penghantar menggunakan Teslameter. Pengukuran dilakukan berulang-ulang untuk setiap variasi d (Gambar 3).



Gambar 3. Skema rangkaian

Nilai-nilai B yang diperoleh digunakan untuk menghitung intensitas yang keluar $\langle S \rangle$ dari selimut dengan cara sebagai berikut¹⁷:

$$\langle S \rangle = \frac{c}{2\mu_0} B^2. \tag{17}$$

Selanjutnya dibuat grafik $\langle S \rangle$ sebagai fungsi dari d .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Menentukan Logam Penghantar Pilihan

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari literatur yang ada^{18 - 21}, didapatkan data-data permitivitas relatif (ϵ), permeabilitas relatif (μ) dan konduktivitas listrik (σ), untuk beberapa buah logam penghantar seperti perak, tembaga, emas, aluminium dan seng seperti terdapat pada Tabel 1.

Data-data permitivitas dan permeabilitas relatif yang bernilai 1 merupakan nilai-nilai pendekatan dengan medium vakum, pendekatan ini dilakukan karena data-data permitivitas dan permeabilitas relatif untuk logam terkait tidak ditemukan di literatur-literatur yang ada. Dari data-data pada Tabel 1 tersebut dapat dibuat grafik faktor

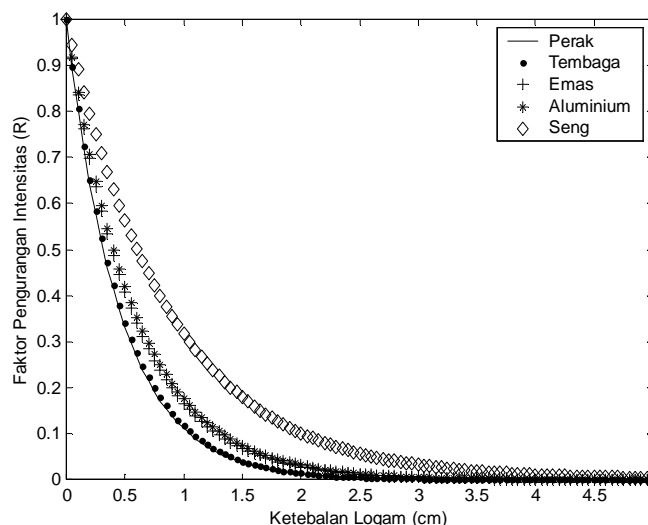
pengurangan intensitas (R) terhadap ketebalan logam (d) untuk setiap jenis logam penghantar menggunakan Pers.(16) dengan bantuan *software* MATLAB 6. Dari *listing program* yang telah dibuat, diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4.

Dari Gambar 4 tampak bahwa perak merupakan logam penghantar yang paling baik untuk mengurangi intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sebuah penghantar yang dilalui oleh listrik bolak-balik (AC) seperti SUTET, karena perak memiliki R yang lebih rendah jika dibandingkan dengan logam-logam lainnya (perak memiliki nilai konduktivitas listrik yang paling tinggi). R untuk perak akan bernilai atau mendekati 0 pada ketebalan ± 2.5 cm.

Walaupun perak merupakan penghantar yang paling baik sebagai filter (pentapis) gelombang elektromagnetik, tetapi jika ditinjau dari segi ekonomisnya perak merupakan logam yang cukup tinggi harganya jika dibandingkan dengan tembaga, sehingga untuk keperluan komersial dapat direkomendasikan penggunaan tembaga sebagai pentapis (filter) gelombang

Tabel 1. Data permitivitas relatif, permeabilitas relatif dan konduktivitas listrik beberapa logam penghantar

Logam	ϵ_r	μ_r	σ (mho.m ⁻¹)
Perak	1	0.99999981	6.17×10^7
Tembaga	1	1.0000006	5.87×10^7
Emas	1	0.999964	4.10×10^7
Aluminium	8.8	1.000023	3.82×10^7
Seng	1	1	1.67×10^7



Gambar 4. R versus d untuk perak, tembaga, emas, aluminium dan seng

elektromagnetik pada SUTET. Tembaga dapat digunakan sebagai pentapis karena nilai R untuk setiap variasi nilai d pada tembaga hampir menyamai perak, nilai R tembaga juga hampir mendekati nol pada ketebalan yang hampir sama dengan perak yaitu pada ketebalan ± 2.5 cm untuk kuat arus berapa pun. Dari program tersebut juga diperoleh nilai-nilai bilangan gelombang imajiner (k_i) untuk setiap logam, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

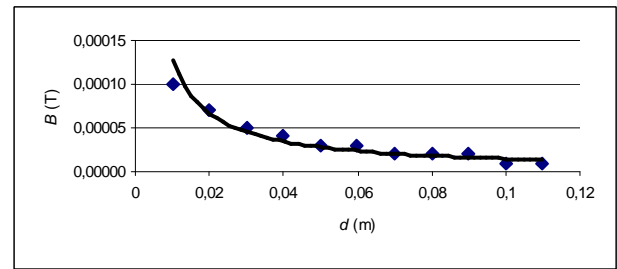
Tabel 2. Nilai-nilai bilangan gelombang imajiner (k_i) untuk setiap logam

Logam	k_i (cm^{-1})
Perak	1.1036
Tembaga	1.0764
Emas	0.8996
Aluminium	0.8684
Seng	0.5741

Dari Tabel 2 tampak bahwa semakin besar nilai k_i berarti semakin cepat pula selimut logam penghantar tersebut mengurangi intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh kabel listrik.

3.2. Menentukan Ketebalan Optimum Logam Penghantar Pilihan

Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan uji keakuratan teslameter yang digunakan dalam penelitian ini, sehingga diperoleh grafik pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Grafik B versus d pada kabel tanpa selimut logam, dengan $B = 2E-06d^{0.9443}$ dan $FK^2 = 0.9186$.

Dari Gambar 5 tampak bahwa medan magnet (B) memiliki ketergantungan dengan jarak pengukuran (d) dalam bentuk

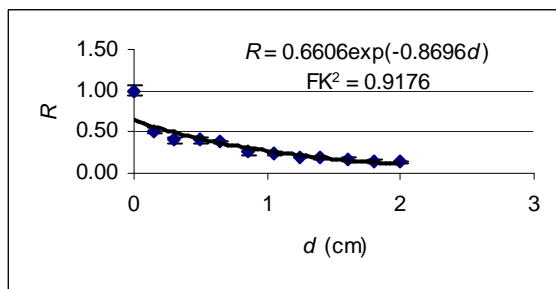
$$B \propto \frac{1}{d^{0.9443}} \quad (18)$$

Bentuk ini cukup mendekati formulasi teoritis untuk medan magnet yang dipancarkan oleh sebuah kawat lurus berarus listrik, yaitu [17]

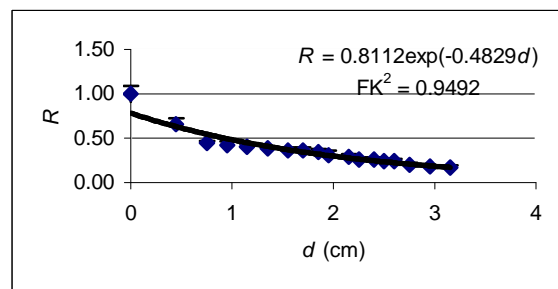
$$B \propto \frac{1}{d} \quad (19)$$

Hal ini berarti teslameter yang digunakan cukup akurat dan terkalibrasi dengan cukup baik. Kemudian, grafik R versus d untuk setiap logam pada penelitian ini diberikan pada Gambar 6–9.

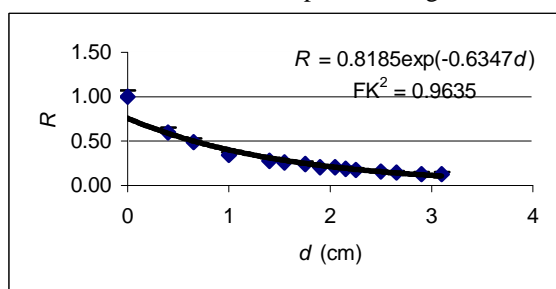
Dari Gambar 6 – 9 didapatkan koefisien d untuk masing-masing logam penghantar. Dari koefisien-koefisien d tersebut dapat diperoleh nilai-nilai k_i untuk setiap logam.



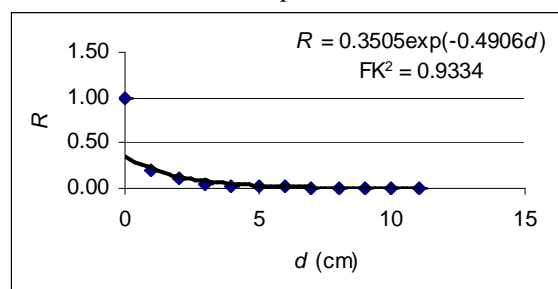
Gambar 6. Grafik R vs d pada tembaga



Gambar 7. Grafik R vs d pada aluminium



Gambar 8. Grafik R vs d pada seng



Gambar 9. Grafik R vs d tanpa logam

Tabel 3. Koefisien d dan nilai-nilai k_i

Logam	Koefisien d (cm ⁻¹)	k_i (cm ⁻¹)
Tembaga	0.87±0.08	0.43±0.04
Aluminium	0.48±0.03	0.24±0.02
Seng	0.63±0.04	0.32±0.02
Tanpa logam	0.49±0.04	0.24±0.02

Nilai-nilai k_i ini diperoleh dengan membandingkan Pers.(16) dengan persamaan-persamaan grafik yang ada pada Gambar 6 – 9, sehingga didapatkan

$$k_i = \frac{\text{Koefisien } d}{2} \quad (20)$$

Dari Pers.(20) inilah dapat diperoleh nilai-nilai k_i yang dihasilkan penelitian ini, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 tampak bahwa nilai-nilai k_i yang diperoleh dari penelitian ini sudah cukup baik karena kecilnya ralat dari setiap k_i . Dari Tabel 3 juga tampak bahwa tembaga merupakan logam terbaik (selain perak) yang dapat digunakan sebagai pentapis gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh kabel listrik seperti SUTET, hal ini ditunjukkan oleh nilai k_i tembaga yang lebih tinggi dari logam-logam lain pada Tabel 3. Hal ini juga sesuai dengan perkiraan teoritis sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Selain itu, dari Tabel 3 juga tampak adanya kesamaan nilai k_i untuk kabel yang diselimuti aluminium dan untuk kabel yang tidak diselimuti logam penghantar (diselimuti udara). Seharusnya nilai k_i aluminium (sebagai logam penghantar) lebih besar daripada udara karena dihipotesiskan sebelumnya bahwa semua logam penghantar termasuk aluminium lebih efektif mentapis intensitas gelombang elektromagnetik SUTET daripada udara. Kesamaan ini cukup menimbulkan banyak tanda tanya, karena eksperimen ini telah dilakukan dengan sebaik-baiknya dan setelah diteliti mungkin (dibuktikan dengan kecilnya ralat-ralat hasil yang diperoleh dari penelitian ini). Adanya kesamaan ini menimbulkan dua interpretasi, pertama kesamaan ini mungkin saja merupakan anomali bagi aluminium dan tidak terjadi pada logam penghantar lain selain aluminium. Kedua, kesamaan tersebut dapat disebabkan oleh tidak murninya aluminium yang digunakan dalam penelitian ini, karena aluminium murni yang digunakan pada Tabel 1 (teori) sangatlah sukar diperoleh di pasaran. Selanjutnya, dari Tabel 3 juga tampak bahwa nilai k_i pada seng sudah sesuai dengan prediksi teoritis (Tabel 2) yaitu lebih kecil daripada tembaga dan lebih besar daripada udara.

Kemudian, jika nilai-nilai k_i yang diperoleh dari simulasi (Tabel 2) dibandingkan dengan nilai-nilai k_i yang diperoleh dari eksperimen (Tabel 3) tampak adanya perbedaan. Perbedaan ini sangatlah wajar mengingat beberapa hal seperti adanya pendekatan nilai-nilai permetivitas dan permeabilitas relatif pada simulasi untuk beberapa logam; adanya perbedaan ketergantungan medan magnet (B) terhadap jarak pengukuran (d) secara teoritis dan secara eksperimen sebagaimana disajikan oleh Pers.(18) dan Pers.(19); dan dapat juga disebabkan oleh ketidakmurnian logam yang digunakan dalam penelitian ini karena logam murni sangat sukar ditemukan di pasaran. Selain itu, khusus untuk tembaga, mengingat tidak adanya lembaran tembaga yang dijual di pasaran sehingga mengharuskan peneliti menggunakan kabel tembaga tanpa kulit sebagai penggantinya, kabel tembaga tanpa kulit tersebut digulung menyelimuti kabel listrik (SUTET).

Akhirnya sesuai dengan tujuan penelitian ini dapat direkomendasikan bahwa untuk mengurangi intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh kabel listrik (SUTET) dapat digunakan perak sebagai selimut untuk kabel listrik tersebut mengingat perak dapat mengurangi intensitas hingga mendekati 0% pada ketebalan sekitar 2.5 cm (menurut simulasi/teori). Mengingat harga perak yang cukup tinggi di pasaran maka direkomendasikan pula penggunaan tembaga sebagai pengganti perak karena tembaga juga dapat mengurangi intensitas hingga mendekati 0% pada ketebalan sekitar 2.5 cm (secara teori). Adapun ketebalan optimum tembaga secara eksperimen dapat diperoleh dari ekstrapolasi Gambar 6 yaitu sekitar 6 cm. Ketebalan optimum ini dapat lebih diperkecil lagi apabila selimut tembaga tersebut dibuat dengan cara dicor/dicetak menyelimuti kabel SUTET, hal ini diperlukan untuk menghilangkan ruang-ruang kosong yang terdapat di dalam selimut tembaga ketika selimutnya terbuat dari lembaran tembaga atau gulungan kabel tembaga tanpa kulit. Keberadaan ruang-ruang kosong di dalam selimut tembaga tersebut tentunya mempengaruhi kemampuan selimut tembaga mengurangi intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh kabel listrik SUTET.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut

1. Perak merupakan logam terbaik yang dapat digunakan sebagai selimut terhadap kabel SUTET untuk mengurangi intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkannya. Berdasarkan simulasi/teori, perak dapat mengurangi intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh SUTET hingga mendekati 0% pada ketebalan sekitar 2.5 cm dengan kuat arus berapa pun.
2. Mengingat harga perak yang cukup tinggi maka tembaga juga dapat digunakan sebagai pentapis gelombang elektromagnetik yang dipancarkan SUTET. Untuk mengurangi intensitas hingga 0% diperlukan selimut tembaga dengan ketebalan sekitar 2.5 cm menurut simulasi/teori atau sekitar 6 cm menurut eksperimen. Ketebalan optimum ini dapat lebih diperkecil lagi apabila selimut tembaga tersebut dibuat dengan cara dicor/dicetak menyelimuti kabel SUTET.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah agar penelitian ini dapat langsung diaplikasikan secara tepat maka diperlukan penelitian tentang pembuatan perak atau tembaga yang bersifat lentur/tidak kaku tetapi tetap memiliki kemampuan tapis yang tinggi terhadap intensitas gelombang elektromagnetik yang dipancarkan SUTET.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dana dari Penelitian Dosen Muda, Proyek Pengkajian Dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan, Direktorat Pembinaan Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian yang bernomor kontrak: 023/SPPP/PT/DP3M/IV/2005. Untuk itu, melalui tulisan ini, peneliti bermaksud mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Proyek atas segala bantuan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pikiran Rakyat, 2003, Warga Korban SUTET Datangi DPRD, 26 Agustus 2003.
2. Kompas Cyber Media, 2003, Anak-anak SD Protes Dampak SUTET, 9 Juni 2003.
3. Kompas Cyber Media, 2003, Korban SUTET Mendatangi Departemen ESDM, 9 Oktober 2003.

4. Pikiran Rakyat, 2003, SUTET Tak Berdampak Terhadap Kesehatan, 27 Oktober 2003.
5. Selmaoui, B., and Touitou, Y., 1995, Sinusoidal 50 Hz Magnetic Fields Depress Rat Pineal NAT Activity and Serum Melatonin. Role of Duration and Intensity of Exposure, *Life Science*, **57** (14): 1351 – 1358.
6. Selmaoui, B., Lambrozo, J., and Touitou, Y., 1996, Magnetic Fields and Pineal Function in Humans : Evaluation of Nocturnal Acute Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Fields on Serum Melatonin and Urinary 6-Sulfatoxymelatonin, *Life Sciences*, **58** (18): 1539 – 1549.
7. Graham, C., Cook, M. R., Riffle, D. W., Gerkovich, M. M., and Cohen, H. D., 1996, Nocturnal Melatonin Levels in Human Volunteers Exposed To Intermittent 60 Hz Magnetic Fields, *Bioelectromagnetics*, **17** (4): 263 – 273.
8. Pfluger, D. H., and Minder, C. E., 1996, Effects of Exposure to 16.7 Hz Magnetic Fields on Urinary 6-Hydroxymelatonin Sulfate Excretion of Swiss Railway Workers, *J. Pineal Res.*, **21** (2): 91 – 100.
9. Reiter, R. J., Anderson, L. E., Buschom, R. L., and Wilson, B. W., 1988, Reduction of The Nocturnal Rise in Pineal Melatonin Levels in Rats Exposed to 60 Hz Electric Fields in Utero and For 23 Days After Birth, *Life Sciences*, **42** (22): 2203 – 2206.
10. Selmaoui, B., Lambrozo, J., and Touitou, Y., 1999, Assessment of The Effects of Nocturnal Exposure to 50 Hz Magnetic Fields on The Human Circadian System. A Comprehensive Study of Biochemical Variables, *Chronobiology International*, **16** (6): 789 – 810.
11. Graham, C., Cook, M. R., Sastre, A., Riffle, D. W., and Gerkovich, M. M., 2000, Multi-night Exposure to 60 Hz Magnetic Field : Effects on Melatonin and Its Enzymatic Metabolite, *J. Pineal Res.*, **28**: 1 – 8.
12. Levallois, P., Dumont, M., Touitou, Gingras, S., Masse, B., Gauvin, D., Kroger., Bourdages, M., and Douville, P., 2001, Effects of Electric and Magnetic Fields from High-power Lines on Female Urinary Excretion of 6-Sulfatoxymelatonin, *Am. J. Epidemiol.*, **154** (7): 601 – 609.

13. Crasson, M., Beckers, V., Pequeux, Ch., Claustrat, B., and Legros, J. J., 2001, Daytime 50 Hz Magnetic Field Exposure and Plasma Melatonin and Urinary 6-Sulfatoxymelatonin Concentration Profiles in Humans, *J. Pineal Res.*, **31**: 234 – 241.
14. Touitou, Y., Lambrozo, J., Camus, F. and Charbury, H., 2003, Magnetic Fields And The Melatonin Hypothesis : A Study Of Workers Chronically Exposed To 50 Hz Magnetic Fields, *Am. J. Phys, Reg., Integ. Compar. Phys.*, **284** (6): 1529 – 1535.
15. Pikiran Rakyat, 2003, Pembangunan SUTET Tak Bisa Dihindarkan, 24 Oktober 2003.
16. Guenther, R. D., 1990, *Modern Optics*, John Wiley and Sons, New York, USA.
17. Wangsness, R. K., 1979, *Electromagnetic Fields*, John Wiley and Sons, New York, USA.
18. Hayt, W. H. dan Buck, J. A., 2001, *Engineering Electromagnetics Sixth Edition*, Mc Graw-Hill International Editions.
19. Kraus, J. D. dan Fleisch, D. A., 1999, *Electromagnetic With Applications Fifth Edition*, Mc Graw-Hill International Editions.
20. _____, 1992, *Encyclopedia of Science and Technology 7th Edition*, Mc Graw-Hill International Editions.
21. _____, 1993, *ASM Metal Reference Book Third Edition*, ASM International.