

Pemodelan Busur Api Listrik Tegangan Rendah Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan

Nugroho Wisnu Ari Sanjaya¹, Dian Retno Sawitri¹, Dimas Anton Asfani²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang.

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

E-Mail: wisnu.basio11@gmail.com, dian@dosen.dinus.ac.id, anton@ee.its.ac.id

Abstrak – Penelitian tentang busur api listrik tegangan rendah yang dilakukan dengan cara mengobservasi kejadian hubung singkat buatan yang berakibat busur api listrik secara langsung memiliki banyak sekali resiko untuk peneliti di antaranya *electric shock, arc flash burn, arc flash blast, intense light, sound wave, projectiles*. Pada penelitian ini, dikembangkan sebuah model simulasi menggunakan Simulink MATLAB berbasis jaringan syaraf tiruan yang bertujuan untuk dapat menirukan kejadian busur api listrik buatan. Metode penelitian dilakukan mulai dari perancangan & pembuatan *hardware*, akuisisi data & penentuan pola pelatihan, pembuatan model & pelatihan JST, dan pengujian & validasi model. Pada model ini, busur api listrik direpresentasikan dengan resistansi hubung singkat yang diparalelkan dengan sumber tegangan dan beban. Nilai resistansi ini berkisar antara 0,2 Ω hingga 50 Ω . Nilai resistansi tersebut diajarkan ke dalam sistem JST yang terhubung dengan komponen *switch* dan *variable resistor* yang merepresentasikan kontak hubung singkat. Algoritma JST yang digunakan adalah *feed-forward backprop* dengan konfigurasi 2 *node input*, 3 lapis tersembunyi masing-masing 30 neuron, dan 1 *node output*. Tingkat akurasi model terhadap target yang diajarkan mencapai 96,7%. Dari hasil simulasi model diketahui jika impedansi kabel yang digunakan semakin kecil dan beban yang digunakan semakin besar maka arus puncaknya semakin besar dan durasi busur api relatif lebih singkat.

Kata Kunci: Pemodelan, Busur api listrik, Simulink, MATLAB, Jaringan Syaraf Tiruan

I.1. Pendahuluan

Pengguna energi listrik di Indonesia meningkat tiap tahunnya. Data statistik PLN 2011 menunjukkan rasio elektrifikasi dengan pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga dari 39.324.520 pelanggan pada akhir tahun 2010 menjadi 45.829.980 pelanggan pada akhir tahun 2011, maka rasio elektrifikasi menjadi sebesar 72,9%[1]. Dengan jumlah pelanggan rumah tangga yang begitu banyaknya, instalasi tegangan rendah di sisi pelanggan sangat penting untuk diwaspadai sebagai antisipasi bahaya bencana kebakaran karena hubung singkat listrik. Berbagai upaya telah dilakukan oleh PLN melalui standarisasi instalasi listrik, namun masih sering ditemui kejadian kebakaran akibat hubung singkat. Data dari Dinas Kebakaran Kota Semarang pada rentang tahun 2009 – 2013 menunjukkan 292 dari 982 kasus kebakaran di Kota Semarang diakibatkan hubung singkat arus listrik[2].

Arc flash merupakan salah satu penyebab kebakaran yang sering terjadi di pemukiman padat penduduk, area pertokoan maupun pasar. *Arc flash* terjadi disebabkan korsleting listrik atau hubung singkat (*short circuit*) yang selanjutnya menimbulkan *arc flash* sebagai titik awal timbulnya kebakaran.

Busur api listrik yang terjadi pada tegangan rendah merupakan fenomena yang umumnya diawali dengan peristiwa dua konduktor yang saling bersentuhan (fase dengan fase / fase dengan *ground*) sehingga

menimbulkan loncatan busur api. Peristiwa busur api ini memiliki arus gangguan yang cukup tinggi dibandingkan dengan arus normal sistem dan terjadi dengan durasi yang sangat singkat sehingga tidak dapat dideteksi oleh perangkat pengaman pada sistem distribusi yang biasanya hanya menggunakan MCB (*Mechanical Circuit Breaker*) dan sekering / *fuse*[3–7].

Fenomena *arc flash* ini sangat perlu untuk dibuat sebuah modelnya baik secara matematis maupun simulasi komputer dikarenakan faktor keamanan dan keselamatan peneliti untuk kepentingan pengambilan data dari variabel tertentu saat melakukan percobaan / simulasi *arc flash* buatan untuk digunakan sebagai standar dari pembuatan alat peringatan dini kebakaran akibat *arc flash*. Adapun beberapa bahaya yang ditimbulkan saat terjadinya *arc flash* jika disimulasikan secara nyata yaitu *electric shock, arc flash burn, arc flash blast, intense light, sound wave, projectiles*[8].

Pada 1993, Jhon Matthew mengembangkan model umum dari *arc flash* sesaat untuk sistem resistif - induktif, berdasarkan metode untuk menentukan sudut koneksi pada listrik tenaga[5], Kemudian pada 1999 Tammy Lea Gammon mengembangkan model *arc flash* berdasarkan arus saat terjadi *arc flash*[9], model baru yang dikembangkan Gammon lebih baik dalam memprediksi arus puncak saat terjadi *arc flash*[10].

Sistem *Artificial Neural Network* (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan (JST) telah diterapkan di berbagai masalah

teknologi informasi, seperti lalu lintas, komunikasi dan rekayasa transportasi[11]. JST telah banyak diterapkan dalam analisis kebiasaan berkendara, dan manajemennya[12]. Dalam kasus kecelakaan lalu lintas Jaringan saraf tiruan dipergunakan untuk memodelkan hubungan antara tingkat keparahan luka yang diderita pengemudi dengan penyebab kecelakaan atau faktor perilaku pengemudi, kendaraan, jalanan, maupun keadaan lingkungan. Akan tetapi JST belum banyak diterapkan pada sistem proteksi jaringan distribusi maupun instalasi listrik salah satunya proteksi *arc flash* (busur / bunga api).

Keuntungan dari JST adalah pemrograman yang lebih konvensional tergantung pada kemampuannya untuk memecahkan masalah yang kompleks dan non-algoritmik. JST menggunakan pengalaman masa lalu untuk belajar bagaimana menghadapi situasi baru dan tak terduga. Distribusi statistik data tidak perlu diketahui ketika mengembangkan model JST. Tidak diperlukan pengetahuan sebelumnya tentang hubungan antara variabel yang dimodelkan. Oleh karena itu, JST memiliki kemampuan untuk model yang kompleks, hubungan nonlinier tanpa asumsi sebelumnya tentang sifat hubungan, seperti *black box*[13].

Oleh karena itu pada *paper* ini telah dibuat sebuah model simulasi busur api listrik tegangan rendah. Di mana pemodelan ini menitik beratkan pada hubungan antara variabel arus, tegangan, resistansi, daya, dan energi saat terjadi *arc flash* yang kemudian akan dibuat modelnya menggunakan aplikasi “Simulink” pada MATLAB menggunakan *Artificial Neural Network*.

I.2. Gangguan Kelistrikan dan Jaringan Syaraf Tiruan

III.1 Kabel Penghantar

Kabel listrik pada dasarnya terdiri dari konduktor beresistansi rendah untuk membawa arus kecuali dalam kasus-kasus khusus, seperti kabel pemanas, dan memiliki / dibungkus isolator untuk mengisolasi konduktor satu dengan yang lain atau melindungi dari lingkungan sekitar[14]. Kabel merupakan komponen paling umum dan paling sering dijumpai dalam sistem kelistrikan tegangan rendah sehingga memerlukan pemeliharaan dan penggantian apabila kabel tersebut mengalami kerusakan atau kondisinya sudah tidak memenuhi standar, salah satunya disebabkan karena kerusakan isolasi, salah satu penyebabnya adalah karena hewan seperti tikus, semut, rayap. Isolasi yang sudah tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya ini yang kemudian dapat mengalirkan arus dari konduktor menuju luar konduktor.

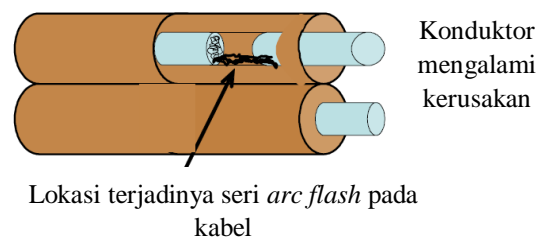
III.2 Electrical Fault

Electrical fault dapat didefinisikan sebagai peristiwa abnormal yang disebabkan oleh terkikisnya isolasi saat digunakan pada konduktor fase, atau di antara konduktor

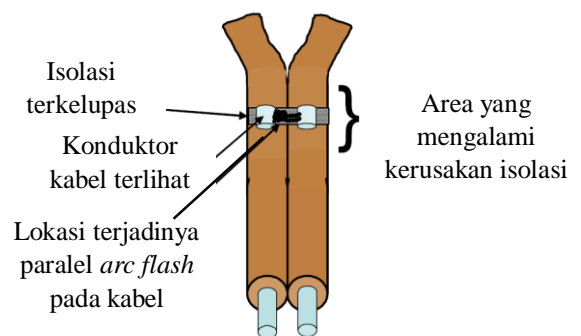
fase dan *ground* atau semua bagian yang ditanahkan dari sistem kelistrikan. Kegagalan dari isolasi padat dapat disebabkan karena adanya tekanan mekanik yang dikenakan pada isolasi, penuaan, dan juga karena fenomena korona[7]. Rusaknya isolasi yang melindungi bagian konduktor bertegangan dapat menyebabkan terjadinya *short circuit* antar inti kabel (antar fase maupun L & N) sehingga menyebabkan terjadinya *arc flash*[15].

III.3 Busur Api Listrik

Busur api (*arc flash*) listrik adalah peristiwa yang terjadi ketika dua permukaan konduktor yang saling berdekatan / bersentuhan dan terjadi loncatan arus antara kedua konduktor tersebut. Saat terjadi loncatan, udara di sekitarnya akan terionisasi yang menjadi bersifat konduktif, hal tersebut dapat memicu terjadinya *arc flash*[4]. Pada peristiwa kegagalan semacam ini, *magnitude* arusnya rendah karena dibatasi oleh nilai resistansi dan nilai impedansinya[10]. *Arc flash* dapat disebabkan oleh salah satu dari dua penyebab, seri *arc flash* atau paralel *arc flash*. Seri *arc flash* dapat terjadi ketika suatu konduktor yang dialiri arus yang terhubung seri dengan beban mengalami kerusakan, diilustrasikan pada Gambar 1. Sedangkan paralel *arc flash* terjadi ketika dua konduktor yang memiliki polaritas berbeda saling bersentuhan, seperti kabel fase dan kabel netral, diilustrasikan pada Gambar 2. Jika saat terjadi *arc flash* nilai impedansi salurannya cukup tinggi, maka arus gangguannya tidak memiliki nilai *magnitude* yang cukup atau tidak memiliki durasi yang cukup lama untuk membuat peralatan pengamanan bekerja[4].



Gambar 1. Ilustrasi *series arc flash*[16]



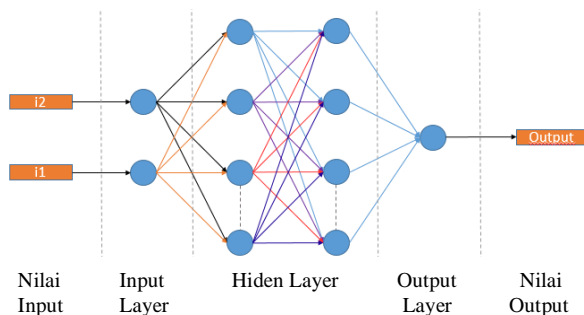
Gambar 2. Ilustrasi *paralel arc flash*[16]

III.4 Jaringan Syaraf Tiruan

Menurut Mauridhi dan J J Siang[17], [18]. Jaringan saraf tiruan merupakan unit pemroses yang terdiri dari beberapa masukan serta beberapa keluaran dengan arsitektur seperti Gambar 3. Arsitektur jaring saraf tiruan mengadaptasi struktur jaringan otak manusia. Jaringan saraf tiruan membandingkan nilai *threshold* dengan hasil perhitungan *input* yang dikalikan dengan penimbang dan dijumlahkan dengan biasnya. Bila keluaran lebih besar dari *threshold* maka keluaran bernilai 1, sebaliknya bernilai 0.

Salah satu metode JST adalah *backpropagation* yaitu algoritma pembelajaran untuk mengurangi nilai kesalahan / error dengan cara menyesuaikan penimbang dan bias berdasarkan perbandingan keluaran dan target yang diinginkan. *Backpropagation* termasuk dalam metode pelatihan terbimbing (*supervised*) yang didesain untuk operasi pada jaring saraf tiruan *feed forward* lapis jamak (*multi-layer*).

Backpropagation memiliki tiga lapis dalam proses pelatihnnya yaitu lapis masukan, lapis tersembunyi dan lapis keluaran. Lapis ini merupakan perkembangan dari jaring lapis tunggal yang memiliki dua lapis yaitu lapis masukan dan keluaran. Dengan adanya lapis tersembunyi maka nilai erornya lebih kecil dibandingkan nilai error pada jaring lapis tunggal karena lapis tersembunyinya berfungsi untuk memperbaiki penimbang.



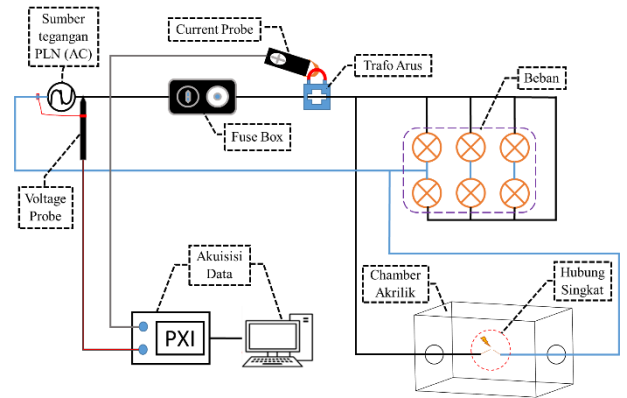
Gambar 3. Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

I.3. Percobaan dan Pemodelan Busur Api Listrik

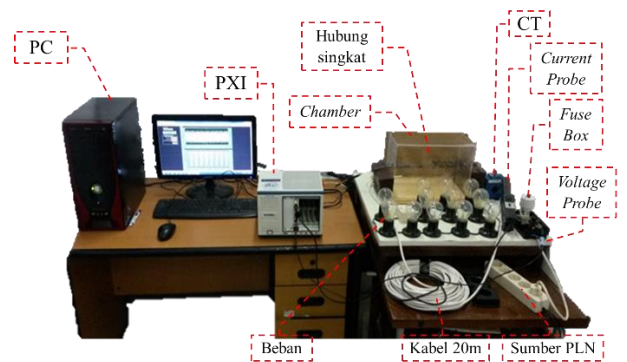
Percobaan dan pemodelan busur api listrik telah dilakukan dengan urutan langkah perancangan & pembuatan *hardware*, akuisisi data & penentuan pola pelatihan, pembuatan model & pelatihan JST, dan pengujian & validasi model.

III.1 Perancangan & Pembuatan Hardware

Skema perancangan *hardware* (alat uji busur api buatan) ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan alat uji yang telah dirangkai dan siap digunakan untuk pengambilan data busur api buatan.



Gambar 4. Skema rancangan hardware



Gambar 5. Alat uji busur api buatan & alat akuisisi data

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam perancangan & pembuatan *hardware* pada penelitian ini adalah sumber tegangan PLN 1 fase 220 V_{RMS} 50 Hz, beban resistif 6 buah lampu pijar masing-masing 100 Watt, sekering 6 Ampere, kabel hubung singkat NYMHY dengan diameter 0.75mm, 1.5mm, 2.5mm masing-masing sepanjang 20 m, *chamber* akrilik, PXI, PC, *probe* arus, trafo arus, *probe* tegangan, dan *software* akuisisi data NI-LabVIEW. Peralatan dan bahan tersebut kemudian dibuat modelnya dalam komponen elektronik pada Simulink MATLAB.

III.2 Akuisisi Data & Penentuan Pola Pelatihan

Langkah pengambilan data yang dilakukan setelah alat uji pada Gambar 5 selesai dibuat adalah: pada keadaan awal semua semua peralatan dalam keadaan mati / *switch off*, kemudian ujung kabel yang telah dikupas isolatornya disambungkan dengan kabel ekstensi sepanjang 10cm yang telah dikupas dan dipilin ujung serabutnya dengan variasi pilinan serabut 1, 3, 6, 12, 18, 24. Hal ini dimaksudkan agar panjang dari kabel utama yaitu 20m tidak berkurang akibat proses busur api. Setelah itu ikat kedua ujung dari kabel 20m tersebut pada kayu sebagai alat bantu untuk menggerakkan kabel, dan masukkan kabel yang telah terikat pada kayu tersebut ke dalam chamber. Ilustrasi dari kabel yang telah dipilin dapat dilihat pada Gambar 6.

Sekering di-ONkan sehingga bohlam berpijar, tombol start pada NI LabVIEW ditekan untuk memerintahkan PXI merekam tegangan dan arus pada alat uji tersebut dan ditampilkan secara visual pada komputer, kemudian gunakan kayu bantu pada *chamber* untuk menghubungkan singkatkan kedua ujung kabel tersebut sehingga terjadilah busur api listrik, Gambar 7 menunjukkan busur api listrik yang terjadi. Setelah muncul busur api listrik, tombol stop pada NI LabVIEW ditekan untuk memerintahkan PXI berhenti merekam data tegangan dan arus dari alat uji tersebut, dengan demikian data tegangan dan arus dari percobaan telah terekam dan disimpan ke dalam komputer dengan format *.tdms, proses tersebut diulang sampai dengan 30x untuk tiap variasi serabut sehingga telah dilakukan sebanyak 540x pengujian. Tabel 1 menunjukkan jenis variasi yang diujikan dan banyaknya pengujian. Data arus dan tegangan dari pengujian busur api buatan ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Setelah dilakukan akuisisi data, proses selanjutnya adalah pengolahan data agar bisa didapatkan ciri khusus untuk masing-masing variasi yang telah dilakukan. Data tegangan dan arus yang telah direkam kemudian digunakan untuk mencari variabel lain yang berpengaruh pada kejadian busur api listrik tersebut, di antaranya hambatan / resistansi, daya, dan energi. Formula untuk menghitung daya pada tegangan AC 1 fase yaitu:

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad (1)$$

Di mana P adalah daya, V adalah tegangan, I adalah arus, dan $\cos \theta$ adalah faktor daya. Dan telah disebutkan bahwa beban yang digunakan bersifat resistif sehingga faktor daya pada alat uji mendekati 1 ($\cos \theta \approx 1$), maka Persamaan 1 dapat diubah menjadi:

$$P = V \times I \quad (2)$$

Gambar 10 menunjukkan grafik perkalian antara arus pada Gambar 8 dan tegangan pada Gambar 9.

Energi (E) merupakan jumlah dari daya tiap satuan waktu yang dapat dinyatakan dengan formula:

$$E = \sum_0^n (P_0, P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (3)$$

Pada penelitian ini nilai energi digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model gangguan hubung singkat. Dalam menentukan kapan model harus terhubung singkat yaitu dengan melihat rentang waktu saat terjadi busur api listrik, kemudian nilai energi saat rentang waktu tersebut dijadikan masukan dari model gangguan hubung singkat (jaringan syaraf tiruan). Grafik energi hasil penjumlahan daya pada Gambar 10 ditunjukkan pada Gambar 11.

Nilai resistansi pada penelitian ini digunakan sebagai target pelatihan model gangguan hubung singkat yang dirancang, sehingga diharapkan keluaran dari model

tersebut dapat sesuai dengan target yang diajarkan. Nilai resistansi ini diperoleh menggunakan Hukum Ohm yaitu:

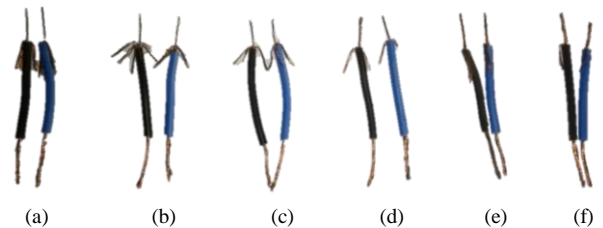
$$R_t = V/I \quad (4)$$

Nilai yang diperoleh dari Hukum Ohm tersebut adalah nilai resistansi total (R_t) pada alat uji tersebut, termasuk di dalamnya adalah beban lampu, dan nilai impedansi kabel. Sedangkan nilai resistansi yang akan diajarkan kepada jaringan syaraf tiruan adalah nilai resistansi yang hanya muncul pada saat kabel terhubung singkat yang selanjutnya akan disebut R_{arc} . Untuk mendapatkan nilai resistansi pada kontak hubung singkat digunakan formula:

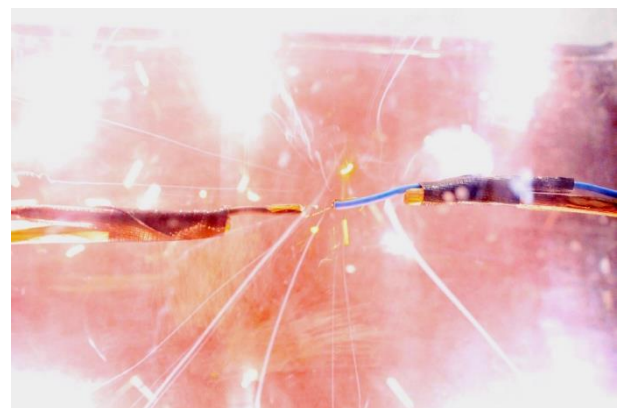
$$R_{seri} = \frac{R_{beban} \times R_t}{R_{beban} - R_t} \quad (5)$$

$$R_{arc} = R_{seri} - R_{kabel1} - R_{kabel2} \quad (6)$$

Formula 5 dan 6 digunakan karena R_{arc} terhubung seri dengan impedansi kabel, dan terparalel dengan beban seperti yang terlihat pada Gambar 13. Setelah didapatkan nilai R_{arc} , maka didapatkanlah ciri pola resistansi saat terjadi busur api yang dapat dilihat pada Gambar 12. Pola inilah yang kemudian dijadikan target pelatihan dari jaringan syaraf tiruan.



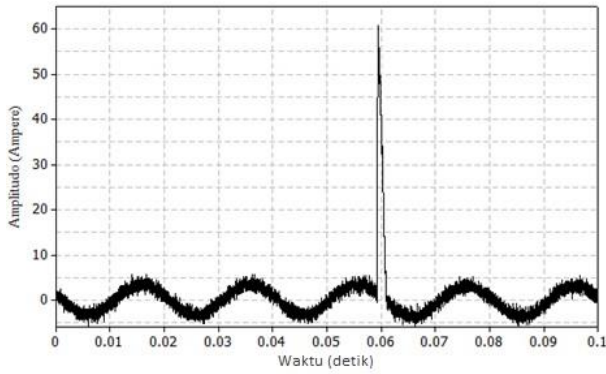
Gambar 6. Jumlah Serabut (a) 1, (b) 3, (c) 6, (d) 12, (e) 18, (f) 24



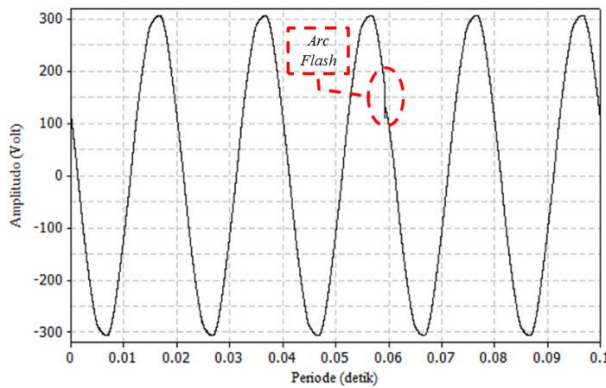
Gambar 7. Busur api listrik tegangan rendah

Tabel 1. Percobaan yang dilakukan untuk tiap variabel

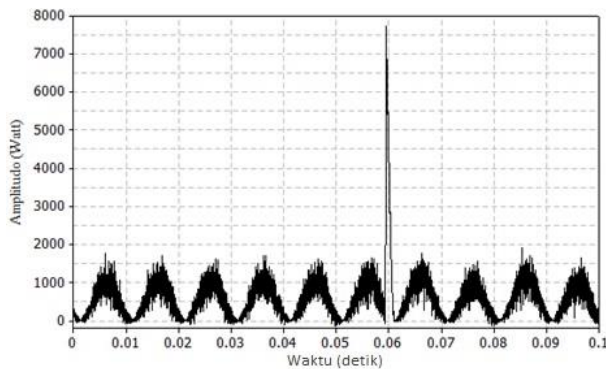
Ukuran Kabel	Jumlah Serabut Hubung Singkat	Jumlah Percobaan
0,75mm ²	1, 3, 6, 12, 18, 24	30
1,5mm ²	1, 3, 6, 12, 18, 24	30
2,5mm ²	1, 3, 6, 12, 18, 24	30



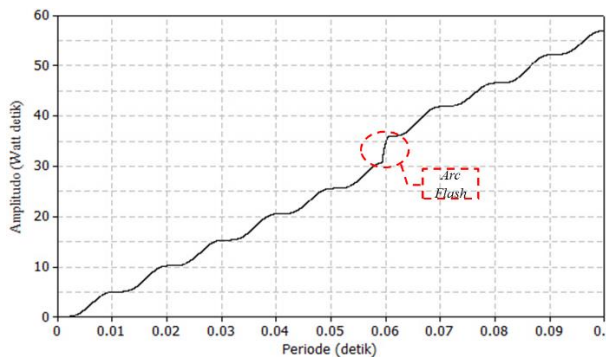
Gambar 8. Arus saat terjadi busur api listrik



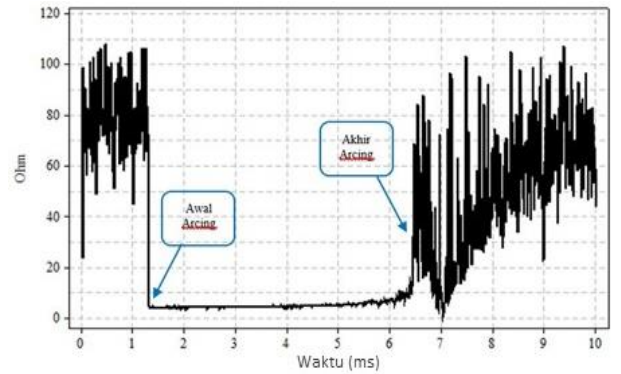
Gambar 9. Tegangan saat terjadi busur api listrik



Gambar 10. Daya saat terjadi busur api listrik



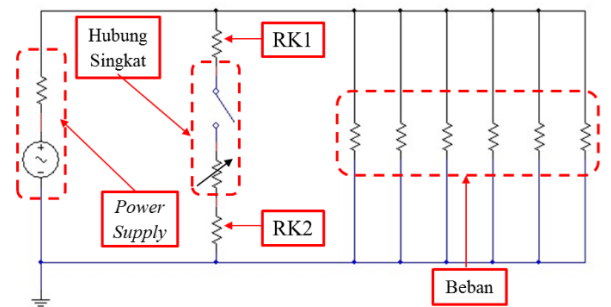
Gambar 11. Energi saat terjadi busur api listrik



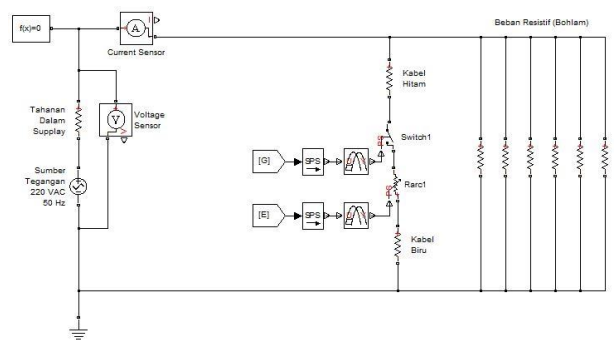
Gambar 12. Pola nilai resistansi saat terjadi busur api listrik

III.3 Pembuatan Model & Pelatihan JST

Skema rancangan hardware pada Gambar 4 dan Alat uji pada Gambar 5 ditransformasikan ke dalam bentuk rangkaian elektrik di mana impedansi beban dan kabel direpresentasikan dengan nilai resistansi (komponen resistor) yang ditunjukkan pada Gambar 13. Kemudian rangkaian elektrik Gambar 13 diimplementasikan ke dalam software Simulink MATLAB yang ditunjukkan pada Gambar 14. Nilai resistansi masing-masing komponen ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 13. Model rangkaian elektrik

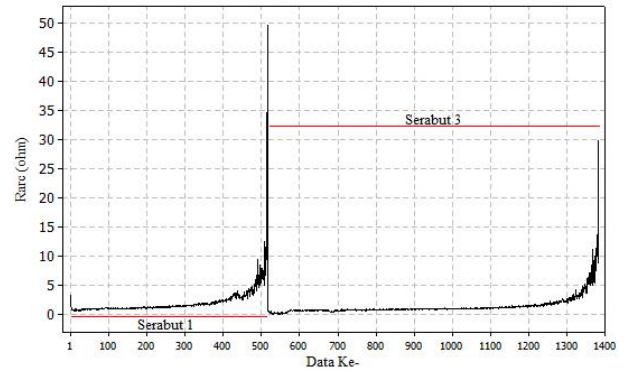


Gambar 14. Model rangkaian elektrik pada Simulink MATLAB

Tabel 2 Nilai resistansi model rangkaian elektrik

Tahanan Dalam	Impedansi Kabel						Beban 100 Watt	Rarc
	0.75mm		1.5mm		2.5mm			
	Hitam	Biru	Hitam	Biru	Hitam	Biru		
0,5 Ω	0,809 Ω	0,805 Ω	1,78 Ω	1,48 Ω	1,4 Ω	1,3 Ω	484 Ω	0,2 s/d 50 Ω

Pada penelitian ini telah dibuat 2 buah JST, masing-masing untuk input komponen switch dan variabel resistor yang merepresentasikan kontak hubung singkat. Tiap JST memiliki 2 *input* yaitu nilai energi dan jumlah serabut yang terhubung singkat. Pada penelitian ini JST hanya diajarkan pola untuk 2 jenis serabut hubung singkat, yaitu serabut 1 dan 3 yang berasal dari kabel 1,5mm. Pola *input* dan target yang diajarkan pada JST untuk *switch* ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16, sedangkan pola *input* dan target JST untuk Rarc ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18. Parameter / konfigurasi JST yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4, sedangkan parameter pelatihannya ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 18 Pola target training JST Rarc

Tabel 3. Parameter JST

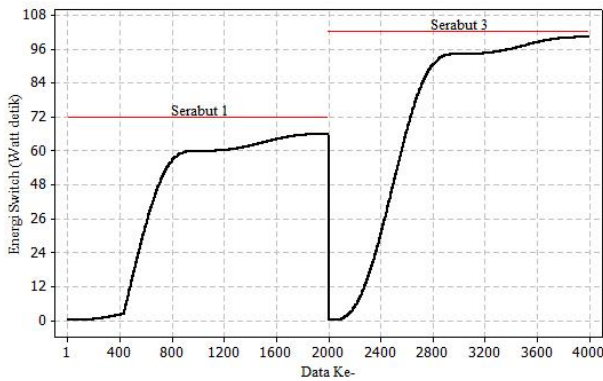
Inisial Parameter	Nilai
Network Type	Feed-Forward Backprop
Input Data	Energi & Serabut
Target Data	Nilai switch & Rarc
Training Fungsi	TRAINRP
Adaptation Learning Function	LEARNGDM
Performance Function	MSE
Number of Layers	4

Tabel 4. Parameter lapis JST

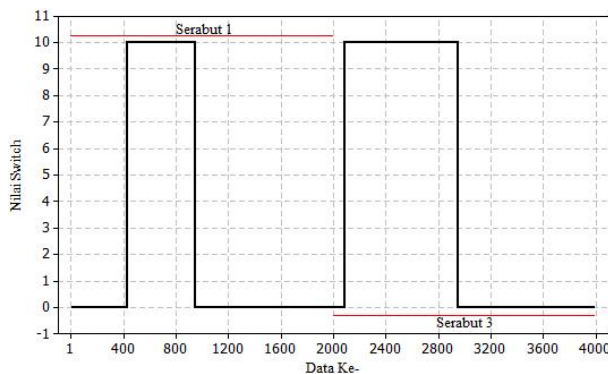
Parameter	Lapis 1 (HL1)	Lapis 2 (HL2)	Lapis 3 (HL3)	Lapis 4 (Output)
Jumlah Neuron	30	30	30	1
Fungsi Aktifasi	TANSIG	TANSIG	TANSIG	TANSIG

Tabel 5. Parameter pelatihan JST

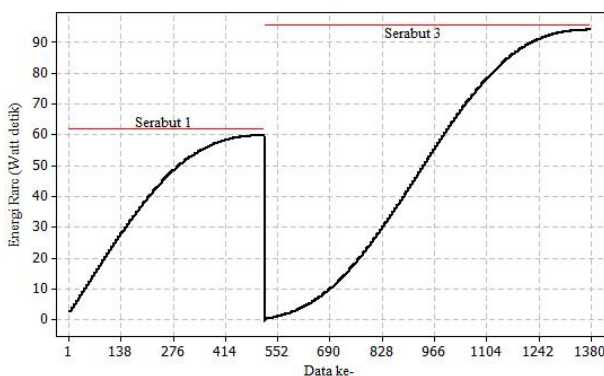
Training Parameter	Nilai
showWindow	True
showCommandLine	False
show	50
epochs	1000
time	Inf
goal	1e-09
min_grad	1e-05
max_fail	1000
delta0	0.07
delt_inc	1.2
delt_dec	0.5
deltamax	50



Gambar 15. Pola input pelatihan JST switch



Gambar 16. Pola target pelatihan JST switch



Gambar 17. Pola input pelatihan JST Rarc

I.4. Hasil dan Pembahasan

Telah dilakukan simulasi dari model busur api listrik tegangan rendah yang dimodelkan pada Simulink MATLAB berbasis Jaringan Syaraf Tiruan dengan parameter tegangan 1 fase 220 V_{RMS} 50 Hz, dan total beban 600 Watt. Pertama simulasi dijalankan pada kondisi normal / tanpa hubung singkat dijalankan selama 0,1 detik dan didapatkan gelombang arus dan tegangan sebanyak 5 periode, bentuk gelombang arus dan tegangannya ditunjukkan pada Gambar 19. Melalui perhitungan didapatkan nilai tegangan puncak saat normal sebagai berikut:

$$V_{puncak} = V_{RMS} \times \sqrt{2}$$

$$V_{puncak} = \pm 220 \times \sqrt{2}$$

$$V_{puncak} = \pm 311,12 \text{ V}$$

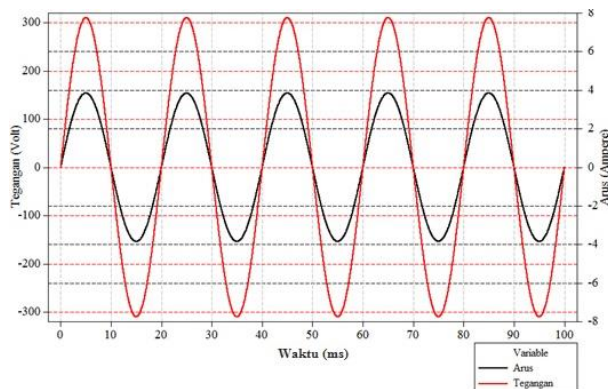
Sedangkan nilai puncak arus normal yang mengalir pada beban sebesar 600 Watt didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$I_{RMS} = P/V_{RMS} = 600/\pm 220$$

$$I_{RMS} = \pm 2,73 \text{ A}$$

$$I_{puncak} = I_{RMS} \times \sqrt{2} = \pm 2,73 \times \sqrt{2}$$

$$I_{puncak} = \pm 3,87 \text{ A}$$



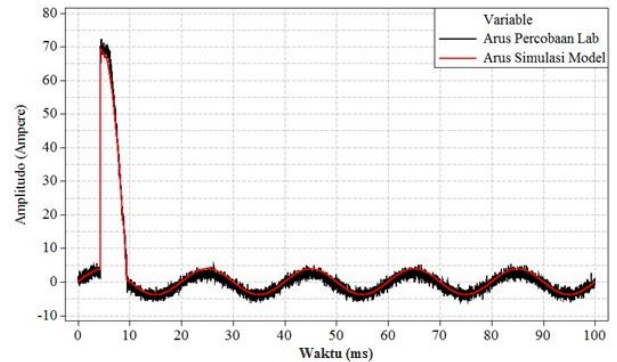
Gambar 19. Tegangan dan arus simulasi model kondisi normal

Pada Gambar 19 tegangan puncak dari simulasi model listrik tegangan rendah pada kondisi normal adalah $\pm 310,08 \text{ V}$, dan nilai arus puncaknya adalah $\pm 3,84 \text{ A}$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model listrik tegangan rendah ini dapat merepresentasikan instalasi listrik tegangan rendah 220 VRMS, 50 Hz, dengan beban 600 Watt yang akan digunakan untuk menyimulasikan fenomena busur api listrik tegangan rendah dikarenakan hasil simulasi dan perhitungannya mendekati sama / tingkat kesalahannya sangat rendah.

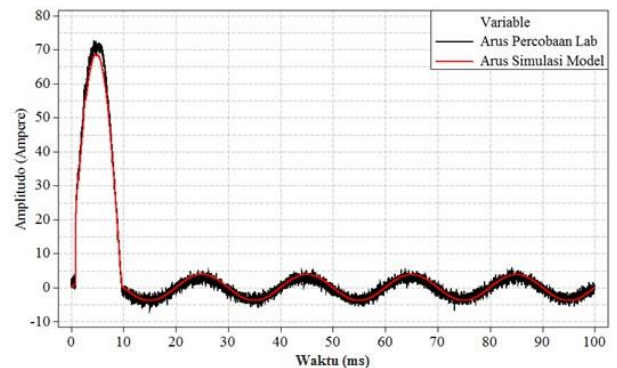
IV.1 Validasi Model

Simulasi kembali dijalankan selama 0,1 detik dengan nilai impedansi kabel 1,5mm dan kali ini dijalankan pada kondisi hubung singkat serabut 1 & 3 dan didapatkan gelombang sebanyak 5 periode yang ditunjukkan oleh Gambar 20 dan Gambar 21. Kemudian diambil 1 periode yang terdapat lonjakan arus dikarenakan busur api listrik, setelah itu arus dipotong hanya pada saat terjadi busur api listrik, kemudian dibandingkan dengan arus busur api listrik yang dijadikan acuan dari alat uji (kejadian hubung singkat dengan kabel 1,5mm serabut 1 & 3) untuk didapatkan tingkat kesalahan dan akurasi dari model ini.

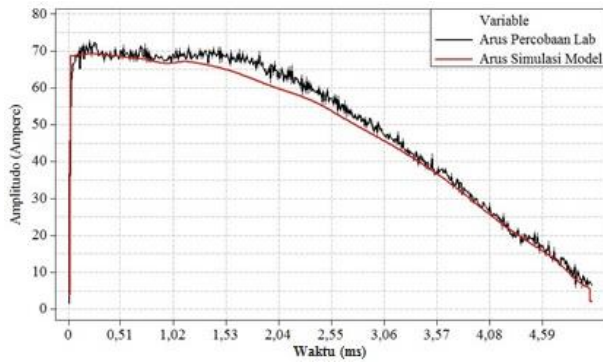
Setelah dibandingkan dengan metode MAPE maka didapatkan tingkat kesalahan dari kejadian serabut 1 ialah sebesar 5,60 % atau tingkat akurasi sebesar 94,4% dan perbandingan arus busur apinya ditunjukkan pada Gambar 22. Sedangkan kejadian serabut 3 tingkat kesalahannya sebesar 5,68% atau tingkat akurasi sebesar 94,32% dan perbandingan arus busur apinya ditunjukkan pada Gambar 23. Dengan demikian model busur api listrik tegangan rendah berbasis Jaringan Syaraf Tiruan ini berhasil menirukan *waveform* dari target yang diajarkan, sehingga model ini dapat digunakan untuk memprediksi busur api listrik dengan variasi beban dan impedansi kabel hubung singkat.



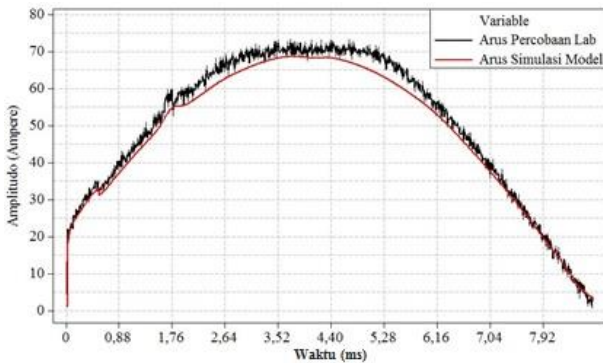
Gambar 20. Perbandingan arus alat uji dan simulasi model 5 periode, 1 serabut



Gambar 21. Perbandingan arus alat uji dan simulasi model 5 periode, 1 serabut



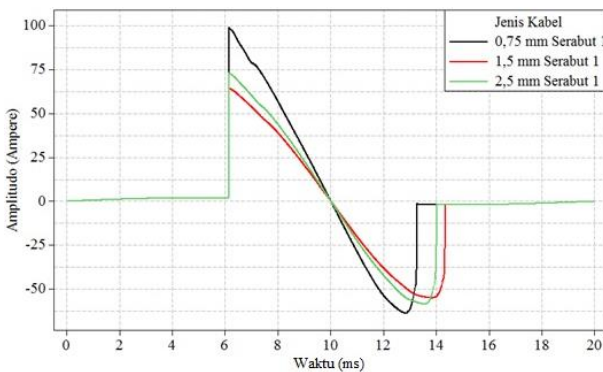
Gambar 22. Perbandingan arus busur api alat uji & Simulasi Model, 1 Serabut



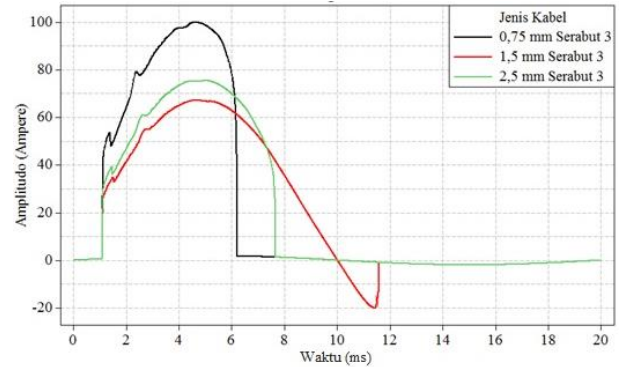
Gambar 23. Perbandingan arus busur api alat uji & Simulasi Model, 3 Serabut

IV.2 Prediksi Busur Api Listrik Tegangan Rendah

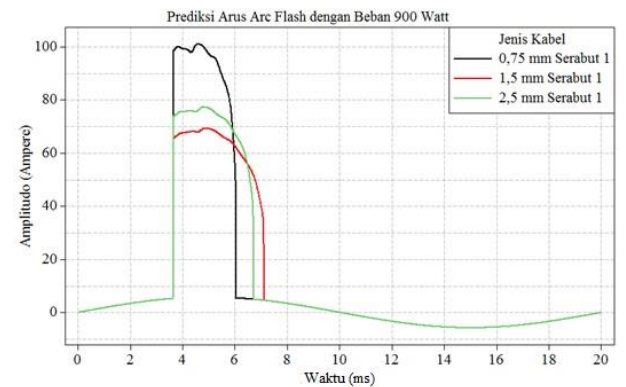
Simulasi kembali dijalankan, tetapi kali ini jumlah beban diubah menjadi 300 Watt dan 900 Watt. Kemudian nilai impedansi kabelnya diubah-ubah sesuai dengan impedansi masing-masing kabel 0.75mm, 1.5mm, dan 2.5mm sesuai dengan Tabel 2. Kemudian dijalankan pada kondisi hubung singkat serabut 1 dan serabut 3, Gambar 24 menunjukkan prediksi arus busur api listrik dengan beban 300 Watt kejadian 1 serabut, dan Gambar 25 kejadian 3 serabut, sedangkan Gambar 26 menunjukkan prediksi arus busur api listrik dengan beban 900 Watt kejadian 1 serabut, dan Gambar 27 kejadian 3 serabut.



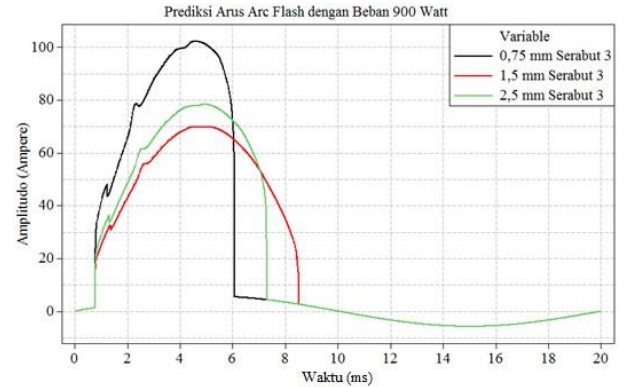
Gambar 24. Prediksi arus busur api listrik dengan beban 300 Watt, kejadian 1 serabut



Gambar 25. Prediksi arus busur api listrik dengan beban 300 watt, kejadian 3 serabut



Gambar 26. Prediksi arus busur api listrik dengan beban 900 watt, kejadian 1 serabut



Gambar 27. Prediksi arus busur api listrik dengan beban 900 watt, kejadian 3 serabut

I.5. Kesimpulan

Pada penelitian ini arsitektur dan algoritma JST yang terbaik ialah dengan konfigurasi *feed-forward backprop*, dengan algoritma pelatihan TRAINRP, 3 lapis tersembunyi dengan masing-masing lapis memiliki 30 *node*, dan 1 lapis keluaran, dan seluruhnya menggunakan fungsi aktivasi Tansig.

Berdasarkan hasil validasi model menggunakan metode MAPE didapatkan tingkat akurasi model mencapai 96,7% (rasio kesalahan sebesar 3,3%) terhadap target yang diajarkan.

Berdasarkan grafik hasil prediksi busur api listrik tegangan rendah variasi beban dan impedansi kabel hubung singkat diketahui jika impedansi kabel yang digunakan semakin kecil dan beban yang digunakan semakin besar maka nilai arus puncak busur api listrik yang terjadi akan semakin besar, dan durasi busur apinya relatif lebih singkat.

I.6. Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Ketenagalistrikan Kementrian ESDM, "Rasio Elektrifikasi Indonesia", <http://kip.esdm.go.id/pusdatin/index.php/data-informasi/data-energi/ketenagalistrikan/rasio-elektrifikasi>. diakses pada 16-Mar-2015.
- [2] Dinas Kebakaran Kota Semarang, "Data Kebakaran Tahun 2009 s.d 2013", <http://damkar.semarangkota.go.id/index.php/article/details/data-kebakaran-tahun-2009-2013>. diakses pada 16-Mar-2015.
- [3] Yuan Wu, Zhengxiang Song, and Xue Li, "A method for arc fault detection based on the analysis of signal's characteristic frequency band with wavelet transform", IEEE 2nd International Conference on Electric Power Equipment, Matsue, Japan. 2013, pp. 1–4.
- [4] A. K. Mishra, A. Routray, and A. K. Pradhan, "Detection of Arcing in Low Voltage Distribution Systems", IEEE Conference on Industrial and Information Systems, Kharagpur, India. December 2008, pp. 1–3.
- [5] T. Gammon and J. Matthews, "The historical evolution of arcing-fault models for low-voltage systems", Conference Record of The 1999 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, Sparks, Nevada. May 1999, p. 6.
- [6] J.-M. Martel, M. Anheuser, and F. Berger, "A Study of Arcing Fault in the Low-Voltage Electrical Installation", Electrical Contacts (HOLM), 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on, Charleston, South Carolina. 2010, pp. 1–11.
- [7] D. G. Ece and F. M. Wells, "Analysis and detection of arcing faults in low-voltage electrical power systems", Electrotechnical Conference, 1994. Proceedings., 7th Mediterranean, vol.3, Antalya, Turki. April 1994, pp. 929–935.
- [8] Joseph F. Maida, PE., "Electrical Awareness, Arc Flash Overview & Qualifications", Maida Engineering. Agustus-2009.
- [9] Tammy Lea Gammon, "Improved Arcing-Fault Current Models for Low-Voltage Power Systems (<1 kv)", Dissertation at the Georgia Institute of Technology. Agustus, 1999.
- [10] T. Gammon and J. Matthews, "Arcing-fault models for low-voltage power systems", Conference Record of The 2000 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, Clearwater, Florida. May 2000, pp. 119–126.
- [11] Ercan Ozgan and Recep Demirci, "Neural Networks-based Modeling of Traffic Accidents In Interurban Rural Highways", Journal of Applied Sciences. vol. 8, pp. 146–151, 2008.
- [12] Himaen V, "Neural Network in Transport Application", Ashgate Pub. Co. USA. pp. 311–340, 1998.
- [13] Karayiannis, N. B. and Venetsanopoulos, A. N., "ANNs: Learning Algorithms. Performance Evaluation and Applications", Kluwer Academic. Publisher, Boston. 1993.
- [14] G. F. Moore and BICC Cables Ltd, Eds., "Electric cables handbook", 3rd ed. Oxford; Malden, Mass: Blackwell Science. 1997.
- [15] C. Zhen, L. Xiaopeng, Zhangzhi, W. Qingcong, S. Chong, and L. Chunchi, "Simple Analysis of the Measurement Methods of Arc Fault", International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), Hunan, China. June 2014, pp. 914–917.
- [16] J. J. Shea, "Comparing 240 Vrms to 120 Vrms Series Arcing Faults in Residential Wire", Electrical Contacts, 2008. Proceedings of the 54th IEEE Holm Conference on, Orlando, Florida. Oktober 2008, pp. 218–224.
- [17] Mauridhi Hery Purnomo and Agus Kurniawan, "Supervised Neural Networks dan Aplikasinya", Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [18] Jong Jek Siang, "Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan MATLAB", Yogyakarta: Andi, 2005.