

ANALISIS KARAKTERISTIK BUSUR API LISTRIK TEGANGAN RENDAH PENGARUH IMPEDANSI SALURAN DAN MEDIA HUBUNG SINGKAT

Khilda Mailatul Haqqi', Dian Retno Sawitri, dan Dimas Anton Asfani
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro (UDINUS)
Jl. Nakula 1-5, Semarang 60131
E-mail: mailahaq93.mh@gmail.com, drsawitri@dsn.dinus.ac.id, anton@ee.its.ac.id

Abstrak—Kebakaran pada instalasi tegangan rendah dapat disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat yang tidak terproteksi yang diawali dengan munculnya busur api listrik. Busur api listrik terjadi karena dua permukaan konduktor yang saling bersentuhan. Busur api listrik pada tegangan rendah tergolong gangguan impedansi tinggi yang arusnya lebih kecil dari arus *full load* maupun arus normal sistem sehingga tidak dapat dideteksi oleh perangkat pengaman. Gangguan impedansi tinggi dapat terjadi karena pengaruh media saluran maupun media hubung singkat. Untuk dapat mengantisipasi terjadinya busur api listrik tegangan rendah maka dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik busur api listrik tegangan rendah karena pengaruh impedansi saluran dan media hubung singkat. Media saluran yang digunakan adalah kabel dengan luas penampang yang berbeda. Sedangkan media hubung singkat yang digunakan adalah logam (besi, kuningan, stainless) dan cairan (air laut). Pada penelitian ini terdapat 4 parameter yang akan digunakan adalah arus maksimum, daya maksimum, durasi dan energi busur api listrik. Dari penelitian ini diketahui bahwa arus dan tegangan yang dihasilkan berbeda dengan kondisi normal. Arus melambung tinggi sedangkan tegangan sedikit turun dan cacat pada awal terjadinya busur api listrik. Impedansi masing-masing media berpengaruh terhadap arus busur api listrik. Selain impedansi pada media hubung singkat cairan, jarak sentuhan antar kedua ujung media saluran yang terkena cairan juga berpengaruh terhadap arus busur api listrik. Semakin kecil impedansi yang dimiliki oleh setiap media, semakin besar arus busur api listrik yang dihasilkan begitu pula sebaliknya dan semakin jauh jarak sentuhan antar kedua ujung media saluran yang terkena cairan, semakin kecil arus busur api listrik.

Kata Kunci : Busur Api Listrik Tegangan Rendah, Impedansi Media Saluran dan Media Hubung Singkat, Karakteristik Busur Api Tegangan Rendah

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi jaringan tegangan rendah seringkali mengalami gangguan. Gangguan tersebut dapat berupa hubung singkat dan juga kegagalan isolasi. Hal ini disebabkan karena sedikit sekali proteksi yang digunakan, akibat seringkali terjadi gangguan hubung singkat yang tidak terproteksi sehingga menyebabkan terjadinya kebakaran. Busur api listrik merupakan salah satu penyebab utama terjadinya kebakaran pada instalasi tegangan rendah yang terus terjadi tanpa terdeteksi. Busur api listrik (*arc flash*) adalah energi panas dan cahaya yang intens pada titik busur yang diakibatkan oleh *flash over*. Busur api listrik terjadi diantara dua permukaan konduktor yang saling bersentuhan. Fenomena *arc flash* dapat mengakibatkan *arc blast* dimana konduktor dan udara di

sekeliling busur dipanaskan dan menguap menyebabkan tekanan gelombang yang sering menyebabkan peralatan, bahan isolasi dan struktur pendukung meledak dengan kekuatan yang mengancam kehidupan [1].

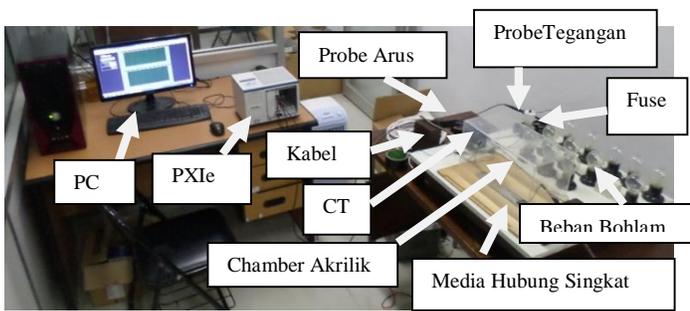
Busur api listrik pada tegangan rendah tergolong gangguan impedansi tinggi. Gangguan impedansi tinggi dapat terjadi karena pengaruh media saluran maupun media hubung singkat seperti kabel listrik, stainless, kuningan, besi maupun cairan. Gangguan impedansi tinggi dihasilkan oleh konduktor jatuh yang merupakan masalah yang paling berbahaya bagi semua perangkat pelindung lainnya. Pada jaringan tegangan rendah, gangguan impedansi tinggi secara keseluruhan tidak memiliki ciri-ciri yang jelas dapat melindungi perangkat. Beberapa gangguan mungkin memiliki *arc flash* dan memiliki harmonik tinggi [2]. Berdasarkan data Dinas Kebakaran Kota Semarang mencatat 267 kejadian kebakaran sepanjang tahun 2014 dengan 53 kebakaran disebabkan karena hubung singkat yang merupakan penyebab utama timbulnya busur api listrik (*arc flash*) yang terus menerus sehingga terjadi kebakaran [3]. Hubung singkat listrik dapat didefinisikan sebagai kondisi abnormal yang disebabkan oleh penurunan kekuatan isolasi antara fasa konduktor atau antara konduktor fasa terhadap konduktor netral/ground dari sistem instalasi listrik. Hal ini disebabkan kondisi lingkungan, kelembaban, logam kecil dan polusi yang dapat dengan mudah menembus ke dalam isolasi yang gagal dan menciptakan jalur konduktif listrik antara konduktor dengan muatan yang berbeda [4].

Untuk dapat mengantisipasi terjadinya busur api listrik tegangan rendah maka pada Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik busur api listrik tegangan rendah karena pengaruh impedansi saluran dan media hubung singkat. Media saluran yang digunakan adalah kabel. Sedangkan media hubung singkat yang digunakan adalah logam (besi, kuningan, stainless) dan cairan (air laut).

II. METODE PENELITIAN

a. Perancangan Alat Pengambilan Data

Pada penelitian ini akan dilakukan pengambilan data untuk dapat mengetahui karakteristik busur api listrik pada tegangan rendah. Proses pengambilan data dilakukan guna mendapatkan data berupa gelombang sinyal arus dan tegangan yang disampling menggunakan labVIEW. Adapun alat-alat yang digunakan dalam proses pengambilan data ini seperti fuse 6A, beban (bohlam), chamber akrilik, PXI, probe arus, probe tegangan, current transformer, Komputer (PC), media saluran (kabel) dan media hubung singkat (logam dan cairan).



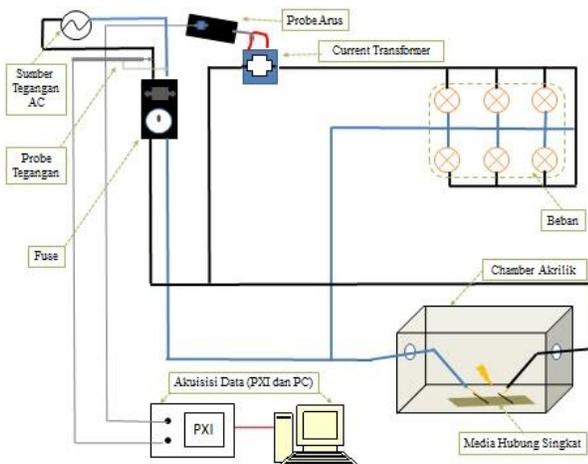
Gambar 1. Alat pengambilan data busur api listrik pada tegangan rendah

Dalam proses pengambilan data kabel digunakan sebagai media saluran. Kabel yang digunakan adalah kabel serabut dengan ukuran luas penampang $2 \times 0.75 \text{ mm}^2$, $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$, dan $2 \times 2.5 \text{ mm}^2$ dengan panjang masing-masing 20 m. Sedangkan media hubung singkat yang digunakan adalah Logam dan cairan. Logam yang digunakan adalah besi, kuningan dan stainless dengan masing – masing ukuran $20 \times 5 \text{ cm}^2$ dan ketebalan 2mm. Sedangkan cairan yang digunakan adalah air laut.

b. Langkah Pengambilan Data

Dalam proses pengambilan data busur api listrik tegangan rendah, terdapat 2 kasus gangguan yang sering terjadi pada instalasi-instalasi tegangan rendah yaitu gangguan langsung dan tidak langsung. Gangguan langsung adalah gangguan yang terjadi tanpa melalui media hubung singkat. gangguan langsung ini hanya menyentuh kedua ujung kabel tanpa isolasi. Sedangkan gangguan tidak langsung adalah gangguan yang terjadi dengan melalui media hubung singkat (logam dan cairan).

Pada Penelitian Tugas Akhir ini, akan dilakukan pengambilan data dengan menggabungkan kedua kasus tersebut, dimana kabel dengan luas penampang yang berbeda disentuh dengan media hubung singkat (logam dan cairan). Skema pengambilan data yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Skema pengambilan data melalui media hubung singkat

Gambar 2 merupakan skema pengambilan data yang dilakukan pada kabel dengan luas penampang yang berbeda dan disentuh dengan media hubung singkat (logam dan cairan).

Logam yang digunakan adalah kuningan, stainless dan besi. Cairan yang digunakan adalah air laut. Pada percobaan simulasi busur api listrik, Jumlah serabut kabel yang digunakan adalah 1, 3, 6, 12, 18 dan 24. Perbedaan jumlah serabut ini dilakukan hanya pada simulasi busur api listrik dengan media hubung singkat logam. Sedangkan untuk simulasi busur api listrik dengan media hubung singkat cairan (air laut), jumlah serabut sama. Akan tetapi jarak sentuhan digunakan berbeda. Panjang jarak yang digunakan adalah 0,5cm, 1cm, 2cm, 3cm dan 5cm.

c. Pengukuran Resistansi dan Konduktivitas

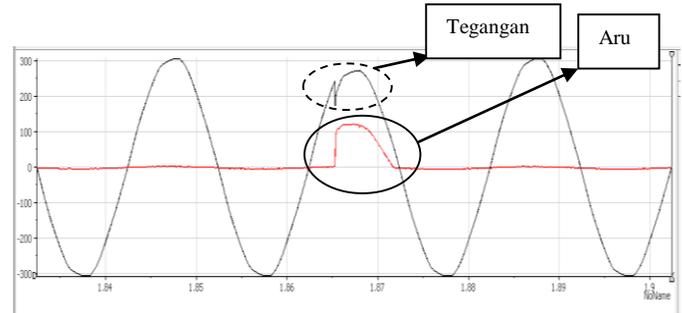
Nilai Resistansi dari bahan logam yang digunakan, logam besi paling besar dari logam lainnya dan paling kecil pada logam kuningan. Sedangkan nilai konduktivitas paling kecil dimiliki oleh kabel dengan luas penampang 1.5 mm^2 jika dibandingkan dengan kabel lain yang digunakan pada pengambilan data. Dan pada media air laut nilai konduktivitasnya $23.375 (\mu\Omega^{-1}/\text{cm})$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

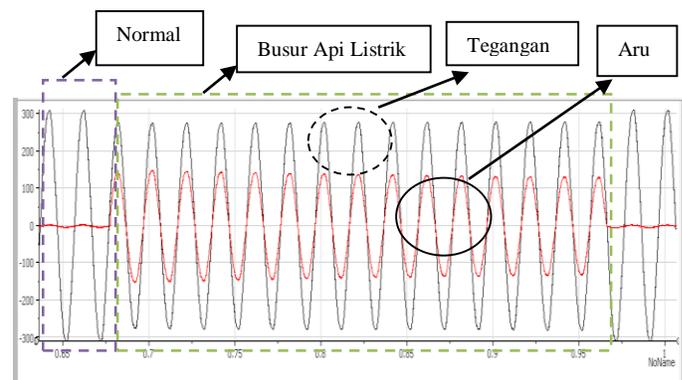
Pada bab ini, akan dijelaskan hasil dari percobaan simulasi busur api listrik tegangan rendah dan pengolahan data untuk mengetahui perbandingan karakteristik arus dan tegangan busur api listrik pada tegangan rendah pengaruh impedansi saluran dan media hubung singkat.

a. Bentuk Gelombang

Bentuk sinyal gelombang arus yang diperoleh saat proses busur api listrik adalah *spike* dan kontinu *Spike*. Gelombang busur api listrik yang muncul yang akan dianalisis untuk dapat diketahui karakteristiknya. Adapun bentuk gelombang yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 berikut ini :



Gambar 3. Bentuk gelombang spike



Gambar 4. Bentuk gelombang kontinu

Dari Gambar 3 dan 4 dapat diketahui saat proses busur api listrik, tegangan sedikit turun dan cacat sedangkan arus melambung tinggi berbeda dengan kondisi normal.

b. Analisis Hasil Percobaan

Dari percobaan yang telah dilakukan yaitu dengan menyimulasikan busur api listrik dengan media saluran yang digunakan adalah kabel dan media hubung singkat yang digunakan adalah logam dan cairan dapat diperoleh 4 nilai yang akan digunakan sebagai parameter untuk dapat menganalisis karakteristik busur api listrik pada tegangan rendah pengaruh impedansi saluran dan media hubung singkat adalah arus maksimum, daya maksimum, durasi dan energi busur api listrik. Semua parameter akan disajikan dalam bentuk nilai rata – rata dari hasil percobaan yang telah dilakukan.

a. Nilai Arus Maksimum

Nilai arus maksimum merupakan nilai yang diperoleh dari gelombang arus mulai dari saat mulai terjadinya busur api listrik (t_{0arc}) sampai berakhirnya busur api listrik (t_{narc}). Nilai arus maksimum pada setiap media hubung singkat logam di setiap luas penampang media saluran dengan jumlah serabut dan nilai arus maksimum pada setiap media hubung singkat air laut di setiap media saluran dengan jarak dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Nilai arus maksimum

Media logam	Jumlah serabut	Jarak Sentuhan (cm)	Arus maksimum (A)		
			Luas penampang 0,75 mm ²	Luas penampang 1,5 mm ²	Luas penampang 2,5 mm ²
Kuningan	1	10	105,09	58,52	65,98
	3		121,98	68,38	75,89
	6		126,26	69,46	77,11
	12		131,17	72,41	81,71
	18		134,83	78,85	82,54
	24		136,24	80,87	84,86
Stainless	1	10	117,93	61,51	71,16
	3		116,45	71,10	77,67
	6		127,62	72,96	82,27
	12		130,61	72,04	83,01
	18		131,06	71,98	85,00
	24		137,04	74,47	85,30
Besi	1	10	102,21	66,72	70,82
	3		112,99	71,93	78,68
	6		110,77	72,24	80,14
	12		118,95	75,23	83,06
	18		121,45	76,55	83,33
	24		133,98	76,34	85,49
Air laut	24	0,5	9,45	9,39	9,39
		1	9,40	9,36	9,37
		2	9,21	9,19	9,20
		3	8,85	8,79	8,82
		5	8,65	8,63	8,63

Dari Tabel 1, pada setiap media logam dengan luas penampang kabel yang berbeda, jumlah serabut tidak berpengaruh banyak pada nilai arus maksimum. Besarnya nilai arus maksimum sebanding dengan nilai impedansi yang dimiliki oleh masing media saluran maupun hubung singkat logam. Semakin kecil impedansi media saluran dan media hubung singkat yang digunakan, akan semakin besar nilai arus busur api listrik yang dihasilkan. Dan dari Tabel 1 juga dapat disimpulkan bahwa media logam kuningan dan kabel dengan luas penampang 0,75 mm² memiliki nilai arus maksimum tertinggi. Selain itu pada media hubung singkat air laut, pada setiap luas penampang kabel, jarak sentuhan tidak berpengaruh banyak pada nilai arus maksimum. Nilai arus maksimum di atas mempunyai selisih nilai yang sangat kecil pada setiap luas penampang kabel. Besarnya nilai arus maksimum sebanding dengan nilai impedansi yang dimiliki oleh masing media

saluran maupun hubung singkat cairan. Media hubung singkat cairan (air laut) memiliki impedansi yang besar dibandingkan media hubung singkat logam. Dan dari Tabel 1 juga dapat disimpulkan bahwa kabel dengan luas penampang 0,75 mm² memiliki nilai arus maksimum tertinggi.

b. Nilai Daya Maksimum

Nilai daya maksimum merupakan nilai yang diperoleh dari perkalian antara gelombang arus maksimum dengan tegangan busur api listrik. Nilai daya maksimum pada setiap media hubung singkat logam di setiap luas penampang media saluran dengan jumlah serabut dapat dilihat pada dan nilai daya maksimum pada media hubung singkat air laut di setiap luas penampang media saluran dengan jarak sentuhan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Nilai daya maksimum

Media logam	Jumlah serabut	Jarak Sentuhan (cm)	Daya maksimum (W)		
			Luas penampang 0,75 mm ²	Luas penampang 1,5 mm ²	Luas penampang 2,5 mm ²
Kuningan	1	10	24624,80	14862,26	16747,53
	3		31525,88	17834,66	19598,13
	6		33463,10	17993,85	20243,75
	12		34518,80	18889,25	21468,54
	18		35449,16	20771,50	21807,07
	24		35859,50	21649,88	22592,59
Stainless	1	10	30822,34	16162,08	18559,54
	3		28901,93	19451,95	20502,79
	6		32951,49	20249,34	21893,30
	12		33571,01	19180,79	22113,24
	18		33797,18	18703,55	22995,94
	24		35339,78	19255,81	22843,64
Besi	1	10	25301,84	17927,64	18781,65
	3		27369,88	19729,82	20999,89
	6		28579,45	19993,69	21317,24
	12		29380,22	20941,72	22167,35
	18		29537,37	21359,69	22005,85
	24		33967,41	21611,21	22234,28
Air laut	24	0,5	2841,34	2815,90	2801,79
		1	2853,60	2786,59	2603,93
		2	2779,76	2715,14	2826,50
		3	2623,62	2616,81	2647,62
		5	2554,77	2578,54	2538,00

Dari Tabel 2, jumlah serabut tidak berpengaruh banyak pada nilai daya maksimum. Besarnya nilai daya maksimum sebanding nilai arus maksimum (dapat dilihat pada Tabel 1). Hal ini disebabkan karena nilai daya maksimum dipengaruhi nilai arus maksimum yang dihasilkan oleh busur api listrik. Semakin besar nilai arus maksimum, semakin besar pula nilai daya maksimum yang dihasilkan.

Selain itu pada media hubung singkat air laut, jarak sentuhan tidak berpengaruh banyak pada nilai daya maksimum. Besarnya nilai daya maksimum sebanding nilai arus maksimum (dapat dilihat pada Tabel 1). Hal ini tidak berbeda dengan percobaan simulasi busur api pada media logam.

c. Nilai Durasi

Nilai durasi merupakan nilai yang diperoleh dari waktu yang dibutuhkan saat proses busur api listrik ($t_{0arc} - t_{narc}$). Satuan waktu yang dihasilkan busur api listrik adalah milisekon. grafik nilai durasi pada setiap media hubung singkat logam di setiap luas penampang media saluran dengan jumlah serabut dan nilai durasi pada setiap media hubung singkat air laut di setiap luas penampang media saluran dengan jarak sentuhan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Nilai durasi

Media logam	Jumlah serabut	Jarak Sentuhan (cm)	Durasi (ms)		
			Luas penampang 0,75 mm ²	Luas penampang 1,5 mm ²	Luas penampang 2,5 mm ²
Kuningan	1	10	5,78	5,90	5,82
	3		7,76	18,63	9,11
	6		15,77	38,50	27,95
	12		88,90	119,71	89,93
	18		140,78	152,97	148,32
24	160,65	197,16	166,44		
Stainless	1	10	5,69	5,78	5,76
	3		7,13	17,56	9,06
	6		14,38	30,72	26,95
	12		85,70	95,06	87,66
	18		140,37	149,89	147,91
24	158,38	172,60	161,63		
Besi	1	10	5,38	5,77	5,70
	3		8,11	17,18	9,00
	6		13,51	37,93	21,22
	12		38,64	58,19	44,97
	18		110,22	131,14	122,20
24	134,68	150,91	148,59		
Air laut	24	0,5	2430	2540	2450
		1	2620	2730	2640
		2	2930	3040	2950
		3	3450	3560	3470
		5	5410	5520	5430

Dari Tabel 3, pada setiap media logam dengan luas penampang kabel yang berbeda, jumlah serabut mempengaruhi nilai durasi. Semakin banyak jumlah serabut yang digunakan, semakin banyak pula waktu yang dibutuhkan untuk proses simulasi busur api listrik. Dan dari Tabel 3 pula dapat disimpulkan bahwa media logam kuningan dan kabel dengan luas penampang 1,5 mm² memiliki nilai durasi tertinggi. Selain itu pada media hubung singkat air laut, setiap luas penampang kabel, jarak sentuhan cukup mempengaruhi nilai durasi. Semakin dekat jarak sentuhan kedua ujung kabel yang digunakan, semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk proses simulasi busur api listrik. Dan dari Tabel 3 pula dapat disimpulkan bahwa kabel dengan luas penampang 1,5 mm² memiliki nilai durasi tertinggi.

d. Nilai energi

Nilai energi merupakan nilai yang diperoleh dari perkalian antara total daya dengan banyaknya waktu yang dibutuhkan saat proses busur api listrik. Nilai energi pada setiap media hubung singkat logam di setiap luas penampang media saluran dengan jumlah serabut dan nilai energi pada media hubung singkat air laut di setiap luas penampang media saluran dengan jarak sentuhan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini :

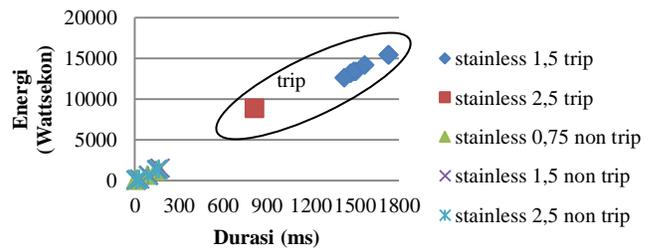
Tabel 4. Nilai energi

Media logam	Jumlah serabut	Jarak Sentuhan (cm)	Energi (Wattsekond)		
			Luas penampang 0,75 mm ²	Luas penampang 1,5 mm ²	Luas penampang 2,5 mm ²
Kuningan	1	10	58,29	60,97	59,24
	3		99,93	116,92	100,36
	6		192,26	263,27	200,79
	12		619,37	717,46	693,43
	18		945,93	1307,97	1297,82
24	1572,01	1758,51	1688,69		
Stainless	1	10	59,03	60,44	59,58
	3		110,37	140,90	111,32
	6		222,10	229,18	225,77
	12		628,84	704,00	617,96
	18		1216,03	1342,84	1298,89
24	1405,22	1505,49	1415,62		
Besi	1	10	60,03	62,26	61,97
	3		108,57	137,84	110,00
	6		168,12	304,18	212,11
	12		410,75	521,62	504,25
	18		1221,62	1247,31	1225,54
24	1368,91	1466,02	1400,84		
Air laut	24	0,5	1618,95	1792,25	1772,84
		1	1795,70	2029,23	1914,50
		2	2097,02	2289,81	2148,05
		3	2464,48	2691,39	2488,28
		5	3744,14	3846,91	3884,60

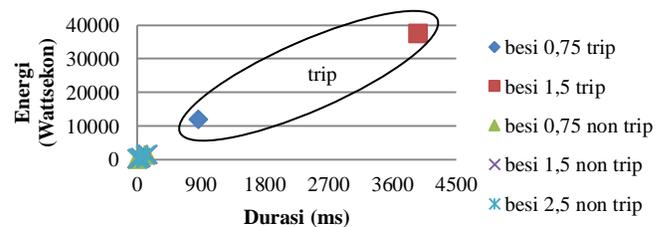
Dari Tabel 4, jumlah serabut mempengaruhi nilai energi. Besarnya nilai energi sebanding nilai durasi (dapat dilihat pada Tabel 3). Hal ini disebabkan karena nilai energi dipengaruhi nilai durasi yang dihasilkan oleh busur api listrik. Semakin besar nilai durasi, semakin besar pula nilai energi yang dihasilkan. Selain itu, pada media hubung singkat air laut, pada setiap luas penampang kabel, jarak sentuhan cukup mempengaruhi nilai energi. Hal ini tidak berbeda dengan percobaan simulasi busur api pada media logam.

e. Busur Api Listrik yang Terdeteksi Pengaman

Dalam percobaan simulasi ini, terdapat busur api listrik yang terdeteksi oleh pengaman (*fuse*) hingga menyebabkan trip. Hal ini terjadi karena durasi busur api listrik melebihi batas waktu pada fuse dengan bentuk gelombang yang dihasilkan adalah kontinyu. Nilai energi terhadap nilai durasi busur api listrik pada setiap media hubung singkat logam dan setiap luas penampang media saluran yang terdeteksi pengaman (trip) dan yang tidak terdeteksi pengaman (tidak trip) dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 berikut ini :



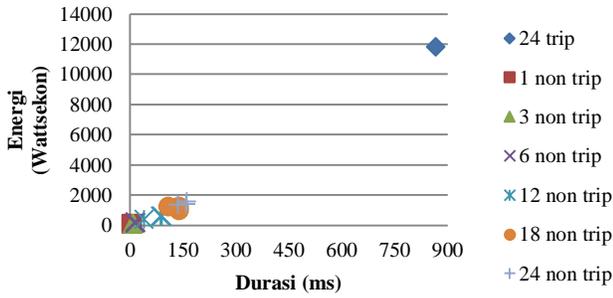
Gambar 5 Grafik nilai energi pada media logam stainless di setiap luas penampang vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip



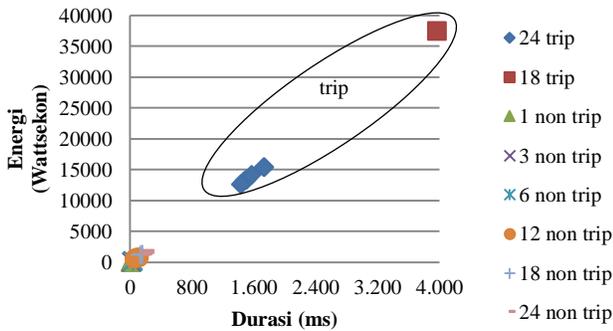
Gambar 6. Grafik nilai energi pada media logam besi di setiap luas penampang vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip

Dari Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa busur api listrik ini hanya terjadi pada media logam stainless dan besi tidak pada kuningan. Hal ini dapat disebabkan karena nilai impedansi kuningan yang sangat kecil sehingga menghasilkan arus yang besar dan durasi busur api listrik cepat. Dari Gambar 5 dan 6 juga dapat disimpulkan bahwa busur api listrik yang terdeteksi pengaman menghabiskan energi ± 8000 Wattsekond dengan durasi ± 800 milisekon.

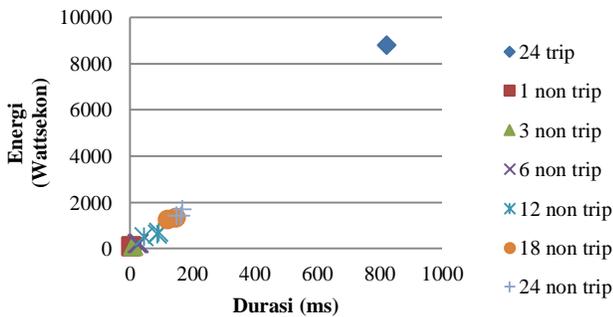
Selain itu nilai energi terhadap nilai durasi busur api listrik pada setiap luas penampang media saluran dan setiap jumlah serabut yang terdeteksi pengaman (trip) dan yang tidak terdeteksi pengaman (tidak trip) dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9 berikut ini :



Gambar 7. Grafik nilai energi dengan luas penampang 0,75 mm² di setiap jumlah serabut vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip



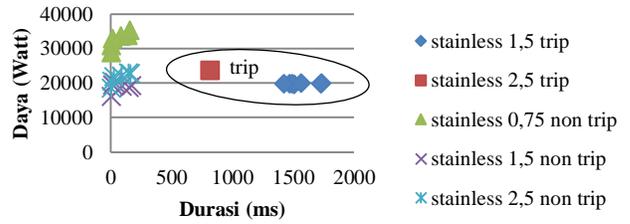
Gambar 8. Grafik nilai energi dengan luas penampang 1,5 mm² di setiap jumlah serabut vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip



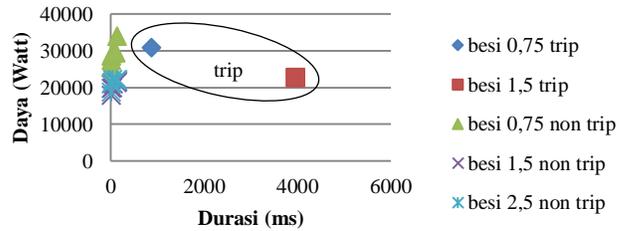
Gambar 9. Grafik nilai energi dengan luas penampang 2,5 mm² di setiap jumlah serabut vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip

Dari Gambar 7, 8 dan 9 menunjukkan bahwa trip terjadi pada setiap luas penampang dengan jumlah serabut banyak yaitu 18 dan 24.

Selain berdasarkan nilai energi terhadap nilai durasi, karakteristik busur api listrik yang terdeteksi pengaman dan yang tidak terdeteksi pengaman juga dapat diketahui perbedaannya berdasarkan nilai daya terhadap nilai durasi. Nilai daya terhadap nilai durasi busur api listrik pada setiap media hubung singkat logam dan setiap luas penampang media saluran yang terdeteksi pengaman (trip) dan yang tidak terdeteksi pengaman (tidak trip) dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11 berikut ini :



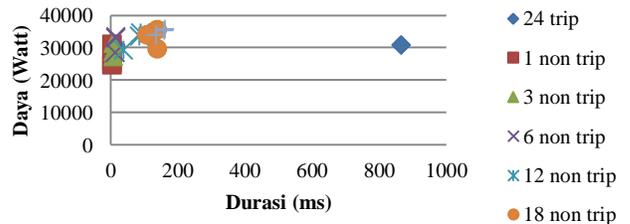
Gambar 10. Grafik nilai daya pada media logam stainless di setiap luas penampang vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip



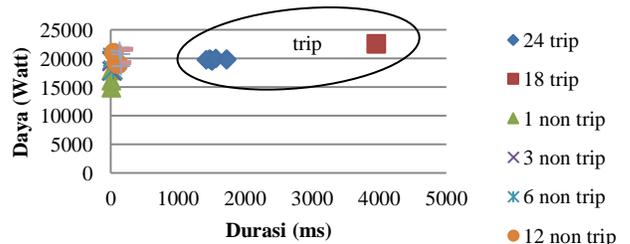
Gambar 11. Grafik nilai daya pada media logam besi di setiap luas penampang vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip

Dari Gambar 10 dan 11 menunjukkan bahwa busur api listrik pada setiap media hubung singkat logam dan setiap luas penampang media saluran yang terdeteksi pengaman (trip) menghabiskan daya ± 20000 Watt dengan durasi ± 800 milisekon.

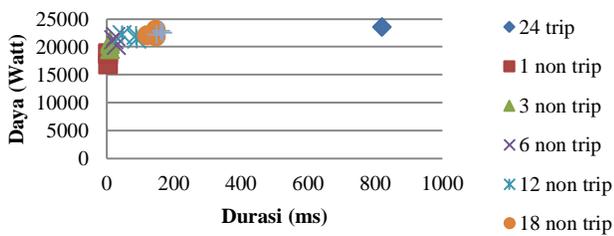
Selain itu, nilai daya terhadap nilai durasi busur api listrik pada setiap luas penampang media saluran dan setiap jumlah serabut yang terdeteksi pengaman (trip) dan yang tidak terdeteksi pengaman (tidak trip) dapat dilihat pada Gambar 12, 13 dan 14 berikut ini :



Gambar 12. Grafik nilai daya dengan luas penampang 0,75 mm² di setiap jumlah serabut vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip



Gambar 13. Grafik nilai daya dengan luas penampang 1,5 mm² di setiap jumlah serabut vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip



Gambar 14. Grafik nilai daya dengan luas penampang $2,5 \text{ mm}^2$ di setiap jumlah serabut vs nilai durasi busur api listrik saat trip dan tidak trip

Dari Gambar 12, 13 dan 14 menunjukkan bahwa busur api listrik pada setiap luas penampang media saluran dan setiap jumlah serabut yang terdeteksi pengaman (trip) ini terjadi pada setiap luas penampang dengan jumlah serabut banyak yaitu 18 dan 24 sama halnya dengan busur api listrik yang terdeteksi pengaman berdasarkan nilai energi terhadap nilai durasi (dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9).

IV. KESIMPULAN

Pada saat busur api listrik terjadi, gelombang arus dan tegangan berbeda dengan kondisi normal. Gelombang arus melambung tinggi sedangkan tegangan sedikit turun dan cacat pada awal terjadinya busur api listrik.

Pada percobaan simulasi di setiap luas penampang media saluran dengan media hubung singkat yang digunakan, impedansi masing-masing media berpengaruh terhadap arus busur api listrik. Pada setiap media saluran dengan media hubung singkat logam, arus yang dihasilkan besar karena impedansi yang dimiliki kedua media kecil. Sedangkan pada setiap media saluran dengan media hubung singkat cairan, arus yang dihasilkan kecil karena air laut memiliki impedansi yang besar. Selain impedansi yang dipengaruhi oleh masing-masing media, pada media hubung singkat cairan, jarak sentuh antar kedua ujung media saluran yang terkena cairan juga mempengaruhi besarnya arus busur api listrik. Semakin jauh jarak sentuh antar kedua ujung media saluran yang terkena cairan, semakin kecil arus busur api listrik. Busur api Listrik yang menghasilkan nilai arus maksimum terbesar dihasilkan oleh media saluran luas penampang $0,75 \text{ mm}^2$ yang disentuhkan dengan media hubung singkat logam kuningan. Sedangkan busur api listrik dapat terdeteksi pengaman (*fuse*) hingga menyebabkan trip terdapat pada percobaan dengan jumlah serabut banyak (18 dan 24) dengan menghabiskan daya minimal 20000 watt, durasi minimal 800 milisekon, dan energi minimal 8000 wattsekon.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Littel fuse POWR-GARD Product Des Plaines, IL, USA, Understanding and Reducing Arc Flash Hazard, (2005).
- [2] Tamer A, Kawady, Taalab A, et al. "Experimental Investigation of High Impedance Faults in Low Voltage Distribution Networks", IEEE Power & Energy Society General Meeting, September 2009.
- [3] Arief, Tersedia: <http://damkar.semarangkota.go.id/index.php/article/details/data-kebakaran-tahun-2014> [27 Oktober 2015]
- [4] Dogan Ghokhan Ece, Francis M. Wells, Hakan G. Senel. "Analysis and Detection of Arcing Faults in Low-voltage