

Rancang Bangun Generator Arus Impuls Tipe 8/20 μ s

Halomoan Mathin Muskita, Wijono, Hadi Suyono, Moch. Dhofir.

Abstrak—paper ini akan membahas tentang perancangan dan pembuatan suatu generator impuls. Generator ini akan digunakan di dalam pengujian peralatan-peralatan tegangan tinggi. Di dalam perancangan generator tersebut, hal terpenting adalah penentuan nilai-nilai komponen penyusun rangkaian, yaitu komponen R, L, dan C. Komponen ini akan menentukan bentuk gelombang impuls yang akan dibangkitkan. Dari hasil perhitungan didapatkan perbedaan dibandingkan dengan hasil pengukuran. Namun demikian, nilai-nilai tersebut masih memenuhi toleransi berdasarkan dari karakteristik impuls yang ditargetkan. Generator yang dihasilkan cukup fungsional dan dapat digunakan dalam pengujian dengan batasan sebagaimana spesifikasinya.

Kata Kunci—Arus Impuls, Generator Impuls

I. PENDAHULUAN

PERALATAN pembangkit kombinasi tegangan-arus impuls masih sulit diperoleh di pasaran, namun kebutuhan akan peralatan tersebut untuk pengujian peralatan pengaman terhadap sambaran petir sangat dibutuhkan, baik pada saat pengujian maupun pada saat proses perancangan. Pembangkit kombinasi ini mesti mengikuti standar yang ditetapkan yaitu IEC (International Electrotechnical Commission). 61000-4-5, Standar ini menetapkan bentuk gelombang tegangan impuls adalah 1.2/50 μ s dan bentuk gelombang arus impuls 8/20 μ s.

Parameter-parameter utama yang perlu ditetapkan di dalam perancangan sumber pembangkit arus impuls antara lain adalah waktu muka dan waktu punggung. Kedua parameter ini berguna untuk menentukan nilai komponen utama rangkaian, yaitu R, L dan C. Tantangan terbesar dari penentuan nilai-nilai tersebut muncul pada saat generator harus membangkitkan dua buah gelombang yang berbeda dari sebuah rangkaian tunggal, yaitu gelombang tegangan dan gelombang arus.

Generator arus impuls 8/20 μ s antara lain dapat digunakan untuk pengujian peralatan pengaman petir, pentanahan, gelombang berjalan dan pengujian respon transien. Sebagai contoh adalah pengujian ketahanan pengaman peralatan-peralatan listrik, elektronik, dan peralatan-peralatan proteksi untuk tegangan rendah

yang mengacu pada standar. pengamanan pada bangunan terhadap petir sesuai LPL (*Lightning protection levels*) yang di keluarkan oleh IEC yang mana, untuk level I 3kA, level II 5 kA level III 10 kA dan level IV 16kA, sesuai standar IEC 62305-1 [1].

II. KARAKTERISTIK GELOMBANG IMPULS

Halim, dkk. (2011) dalam penelitiannya mengatakan Agar mendapatkan puncak arus yang diinginkan, arus tinggi *triggerable switching* sistem lebih efektif daripada *manual spark gap*. Selain itu, generator arus impuls perlu ditingkatkan dalam mengurangi induktansi secara keseluruhan dan meningkatkan ukuran kapasitor [2].

Gonos, Leontides dan Topalis (2001) menyatakan bahwa dengan program komputer yang sangat fleksibel untuk menentukan elemen rangkaian, sampai didapatkan bentuk gelombang yang diinginkan. Setiap perubahan nilai elemen rangkaian yang dapat diuji dan dievaluasi bentuk gelombang arus impuls maupun parameter waktunya [3].

Menurut Song, Chen, Yazhou. (2009) perhitungan dan simulasi dilakukan dengan kondisi resistensi murni. Tapi pada praktiknya resistansi tidak mungkin murni. Jadi penyimpangan waktu punggung mungkin kurang, dan bentuk gelombang mungkin lebih dekat dengan yang standar [4].

Pada sistem tenaga listrik sering timbul gejala transien satu arah (*unidirectional*) yang disebabkan oleh beberapa fenomena. Fenomena tersebut, antara lain dikenal sebagai fenomena proses alih hubung (*switching*) pada jaringan daya, misalnya switching kapasitor bank.. Selain itu, transien tersebut bias dihasilkan oleh gangguan (hubung singkat) pada jaringan daya maupun sambaran petir baik langsung ataupun tidak langsung.

Karakteristik surja induksi yang terjadi dapat menghasilkan dua pengaruh yang berbeda, tergantung pada impedansi dari sumber dan dari peralatan atau sistem terkena surja, yaitu :jika sistem atau peralatan secara relatif memiliki impedansi lebih rendah, maka surja akan menghaikkan suatu gelombang arus, atau jika sistem atau peralatan memiliki impedansi yang relatif lebih tinggi terhadap impedansi sumber, maka surja akan menghasilkan suatu gelombang tegangan pada sistem atau peralatan.

Dalam uji ketahanan sistem atau peralatan adalah sebagai benda ujinya, sedang sumber adalah generator impulsnya. Pada uji surja sesuai standar, gelombang memiliki karakteristik dasar seperti yang diperlihatkan

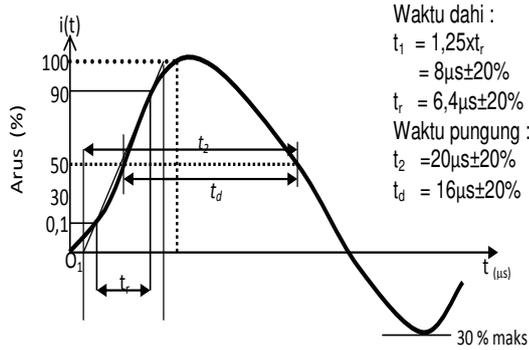
Halomoan Marthin Muskita, dosen Teknik Elektro Politeknik Negeri, Ambon, Indonesia (e-mail: h.m.muskita@gmail.com).

Wijono, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp.0341-554166; e-mail: wijono@yahoo.com).

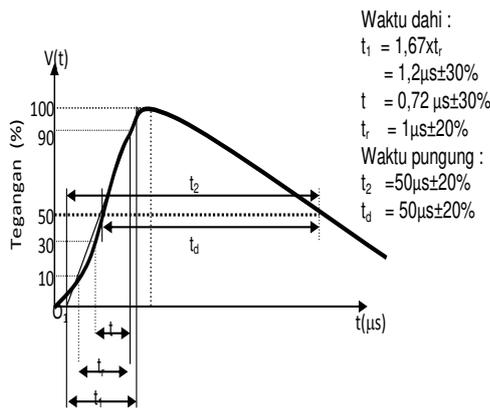
Hadi Suyono, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp.0341-554166; e-mail: hadis@ub.ac.id).

Moch.Dhofir, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp. 0341-665144; email:dhofir@ub.ac.id).

pada Gambar 1(a) dan 1(b).



(a)



(b)

Gambar 1. Bentuk Gelombang Impuls: (a) Arus Impuls 8/20 μ s, (b) Tegangan Impuls 1,2/50 μ s (IEC, 2005)

Untuk generator dengan rangkaian beban hubung singkat (*short circuit*) akan menghasilkan gelombang arus impuls dengan tipe gelombang 8/20 μ s

untuk generator dengan rangkaian terbuka (*open circuit*) akan menghasilkan gelombang tegangan impuls dengan tipe 1,2/50 μ s.

III. RANGKAIAN PEMBANGKIT GELOMBANG IMPULS.

Untuk menghasilkan bentuk gelombang impuls eksponen ganda dapat digunakan rangkaian RLC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.[5]. Semula kapasitor (C) dimuati oleh sumber tegangan DC, dan pada tegangan tertentu ketika saklar S1 ditutup maka akan mengalir arus (i) dalam rangkaian R dan L, maka persamaan arus dapat ditentukan dengan menyelesaikan persamaan defrensial dari rangkaian Gambar 3. Fungsi tegangan impuls adalah jumlah dari 2 buah fungsi eksponensial. Dan kurvanya ditunjukkan pada gambar 2 [6].

Tegangan impuls dapat dicari dengan persamaan (1).

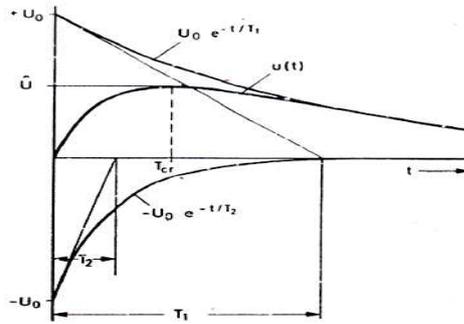
$$V_{oc}(t) = Ri(t)$$

$$V_{oc}(t) = V \frac{R}{L} \frac{1}{s_1 - s_2} \{e^{s_1 t} - e^{s_2 t}\} \quad (1)$$

Nilai S_1 dan S_2 yang riil dipenuhi apabila $R^2 C - 4L > 0$ dan hasilnya imajiner.

Arus maksimum yang dibangkitkan pada saat rangkaian dihubung singkat seperti pada persamaan (2) [7].

$$I_{sc} = \frac{V_c}{L\beta} e^{\alpha t} \cos(\beta t - 90^\circ) \quad (2)$$



Gambar 2. Bentuk gelombang impuls eksponensial ganda (Kind, 1993)

Dari persamaan 2 diturunkan untuk menghitung nilai L sehingga didapat persamaan (3).

$$L = \frac{(2t/\pi)^2}{C} \quad (3)$$

Untuk kondisi beban terhubung singkat, resistor $R_1 = 0$, sehingga nilai-nilai akar persamaan kudratik s_1 dan s_2 merupakan nilai kompleks, dengan demikian arus I_{sc} secara teoritis merupakan gelombang terendam kurang (*underdamped*).

Jadi persamaan arus impulsnya seperti persamaan (4).

$$i(t) = I_{sc} = |A| e^{\alpha t} \cos(\beta t - \theta) \quad (4)$$

dengan

$$A = \frac{R}{L} \frac{1}{s_1 - s_2} = |A| \angle \theta \quad (5)$$

dan karena $s_1 - s_2$ hasilnya adalah bilangan imajiner sehingga

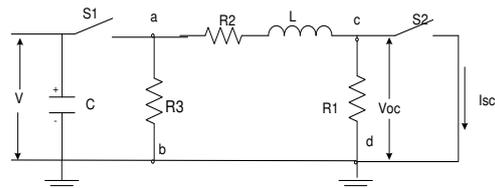
$$\theta = -90^\circ$$

Untuk $R_1 = 0$ didapat,

$$S_1 = \alpha + j\beta = j\sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{dan} \quad S_2 = \alpha - j\beta = -j\sqrt{\frac{1}{LC}}$$

yang berarti $\alpha = 0$ dan $\beta = \sqrt{1/LC}$ sehingga persamaan (4) menjadi persamaan (6).

$$i(t) = I_{sc} = 2|A| e^{\alpha t} \cos(\beta t - 90^\circ) \quad (6)$$



Gambar 3. Rangkaian Gelombang Impuls. (Abduh, 1993)

Karena respon gelombang untuk arus impuls merupakan respon terendam kurang (*underdamped*), nilai diskriminan haruslah kurang dari nol, sehingga akar-akar s_1 dan s_2 adalah akar-akar kompleks yaitu:

$$S_1 = \alpha + j\beta = \left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2}{2L}\right) + j\sqrt{\left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2}{2L}\right)^2 - \left(\frac{1}{CL} + \frac{R_2}{CLR_3}\right)} \quad (7)$$

$$S_2 = \alpha - j\beta = \left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2}{2L}\right) - j\sqrt{\left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2}{2L}\right)^2 - \left(\frac{1}{CL} + \frac{R_2}{CLR_3}\right)} \quad (8)$$

Dengan demikian nilai α dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

$$\alpha = \left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2}{2L}\right) \quad (9)$$

dan

$$\beta = j\sqrt{\left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2}{2L}\right)^2 - \left(\frac{1}{CL} + \frac{R_2}{CLR_3}\right)} \quad (10)$$

$$\text{dan } |A| = \frac{V}{2\beta L} \tag{11}$$

$$\theta = -90^\circ$$

sehingga

$$i(t) = I_{sc} = 2|A|e^{\alpha t} \cos(\beta t - \theta) \tag{12}$$

Pada Gambar 3, tegangan V_{oc} yang dihasilkan pada saat kontak S2 dibuka, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (13).

$$V_{oc}(t) = V_c \frac{R_3}{L} \frac{1}{S_{1v} - S_{2v}} \left[e^{-S_{1v}t} - e^{-S_{2v}t} \right] \tag{13}$$

Dimana akar-akar persamaan untuk tegangan menjadi

$$s_{1v} = \left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2 + R_1}{2L} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2 + R_1}{2L} \right)^2 - \left(\frac{1}{CL} + \frac{R_2 + R_1}{CLR_3} \right)} \tag{14}$$

dan

$$s_{2v} = \left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2 + R_1}{2L} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{2CR_3} + \frac{R_2 + R_1}{2L} \right)^2 - \left(\frac{1}{CL} + \frac{R_2 + R_1}{CLR_3} \right)} \tag{15}$$

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Pembangkitkan gelombang impuls dengan menggunakan rangkaian R,L,C. Nilai-nilai komponen pada rangkaian akan dihitung untuk mendapatkan nilai awal dan kemudian diatur sehingga hasil gelombang impuls yang dicapai bisa sama dengan apa yang diinginkan, maka yang akan diatur adalah nilai dari komponen R dan L. Pada penulisan ini nilai yang telah diketahui yakni nilai kapasitor, karena disesuaikan dengan nilai yang ada dipasaran, nilai kapasitor yang dipakai adalah 45 μF dengan tegangan 5000Vdc. Dan impuls yang akan dibangkitkan adalah 8/20 μs untuk arus dan 1,2/50 μs untuk tegangan.

TABEL I
PARAMETER IMPULS HASIL PERHITUNGAN

Parameter Arus Impuls	Parameter Teg.Impuls
tb_Arus = 0.65 μs	tb_tgg = 0.15 μs
ta_Arus = 7.8 μs	ta_tgg = 0.91 μs
tc_Arus = 19.5 μs	tc_tgg = 51 μs
t1_i = 8.9 μs	t1_v = 1.26 μs
t2_i = 19.74 μs	t2_v = 52.52 μs

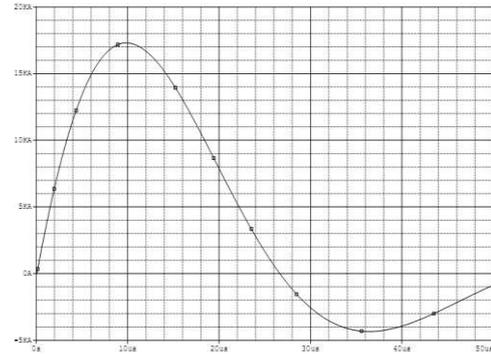
Dari hasil perhitungan parameter arus impuls seperti pada tabel 1. Parameter arus impuls yang di diperoleh adalah untuk t_1 8,9 μs dan t_2 19,74 μs , sedangkan untuk tegangan t_1 1,26 μs dan t_2 52,52 μs . Hasil yang diperoleh dari perhitungan masih memenuhi toleransi ari karakteristik impuls.

Nilai komponen dari hasil perhitungan dimasukan kedalam rangkaian pembangkit impuls, kemudian disimulasikan menggunakan program. Hasil simulasi parameter impuls dapat dilihat pada tabel 2.

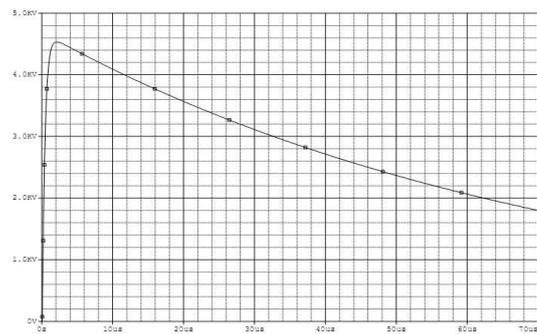
TABEL II
PARAMETER IMPULS HASIL SIMULASI

Parameter Impuls					Ket
ta(μs)	tb(μs)	tc(μs)	t1(μs)	t2(μs)	
90%	10%	50%	6,4-9,6	16-24	A r u s
7.4	0.62	21.5	8.475	21.79	
90%	30%	50%	0.84-1.56	40-60	Tegg.
1.08	0.23	53.5	1.419	53.75	

Hasil simulasi gelombang impuls seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Hasil Simulasi Arus Impuls



Gambar 5 Hasil Simulasi Tegangan Impuls

V. ANALISIS.

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada tabel 5 untuk arus impuls maka t_1 adalah nilai dari $t_a = 6,5\mu\text{s}$ dikurangi dengan $t_b = 0,8 \mu\text{s}$ dan dikalikan dengan koefisien 1.25 sehingga nilai $t_1 = 7,125 \mu\text{s}$. Nilai t_1 yang didapat telah memenuhi toleransi karakteristik arus impuls.

Nilai t_2 untuk arus impuls diperoleh dari $t_c = 22,7 \mu\text{s}$ dan dijumlahkan dengan koefisien 0,25 maka nilai $t_2 = 22,95 \mu\text{s}$. Hasil yang diperoleh dari ketiga metode yang dilakukan yakni perhitungan, simulasi dan pengujian hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.6, dan hasil yang didapat dari ketiga metode tersebut memenuhi toleransi dari karakteristik impuls yakni untuk t_1 dari 6,4 μs sampai 9,6 μs , dan untuk t_2 dengan nilai toleransinya dari 16 μs sampai 24 μs .

TABEL III
HASIL PERHITUNGAN, SIMULASI DAN PENGUJIAN ARUS IMPULS

Metode	A R U S						
	ta	tb	tc	t1	t2	t1	t2
	90%	10%	50%	6,4-9,6	16-24	±%	±%
Hitung	7.05	0.74	21.6	7.8875	21.88	1.4	9.4
Simulasi	7.4	0.62	21.5	8.475	21.79	5.9	9.0
Pengujian	6.5	0.8	22.7	7.125	22.95	10.9	14.8

Dari hasil pengujian dan perancangan arus impuls, selisi waktu muka t_1 1.6 μs antara simulasi dan pengukuran sedangkan antara perhitungan dan pengujian 1.01 μs , maka dengan demikian selisi perbedaan dari tiga metode tidak terlalu besar. Waktu

pungung t_2 dari hasil yang diperoleh seperti pada tabel 5.5 menunjukan bahwa ada selisi antar ketiga metode yakni untuk hasil pengukuran dengan perhitungan selisinya adalah $1,07 \mu s$ ini menunjukkan selisi yang tidak besar, dan juga untuk hasil simulasi dengan pengukuran nilai selisinya tidak terlalu besar yakni sebesar $1,16 \mu s$.

TABEL IV
HASIL PERHITUNGAN, SIMULASI DAN PENGUJIAN TEGANGAN IMPULS

Metode	TEGANGAN						
	t_a	t_b	t_c	t_1	t_2	t_1	t_2
	90%	30%	50%	0.84-1.56	40-60	$\pm\%$	$\pm\%$
Hitung	0.9	0.17	50.3	1.22	50.71	1.67	1.42
Simulasi	1.08	0.23	53.5	1.419	53.75	18.25	7.5
Pengujian	1.4	0.32	52.9	1.8036	53.15	50.3	6.3

Waktu muka t_1 untuk tegangan impuls didapat dari t_a $2,92 \mu s$ dikurangkan dengan $t_b=0,32 \mu s$ dikalikan dengan koefisien 1,67 maka nilai $t_1=4,342 \mu s$, sedangkan untuk nilai t_2 didapat dari $t_c =52,9 \mu s$ ditambahkan dengan 0,25 sehingga didapatkan nilai $t_2=53,15 \mu s$, dengan demikian nilai t_1 belum memenuhi karakteristik dan t_2 telah memenuhi toleransi karakteristik tegangan impuls yakni untuk t_1 dari $0,84 \mu s$ samapai $1,56 \mu s$ dan untuk t_2 dari $40 \mu s$ sampai $60 \mu s$. Dari hasil pengujian waktu muka belum memenuhi dan waktu punggung telah memenuhi karakteristik.

Waktu yang diperoleh dari hasil pengujian tegangan impuls sesuai tabel 6, untuk pengujian, perhitungan dan simulasi mashi memiliki selisi yakni, antar hasil perhitungan dengan pengukuran pada saat waktu muka t_1 selisinya sebesar $3,12 \mu s$, dan untuk pengukuran dan simulasi sebesar $2,9 \mu s$, namun dari ketiga hasil jika dibandingkan dengan ketentuan $t_1 =1,2 \mu s$ maka untuk pengujian belum memenuhi karakteristk tegangan impuls namun untuk hasil simulasi dan perhitungan masih memenuhi toleransi.

Waktu punggung t_2 untuk tegangan impuls yakni $50 \mu s$, dari ketiga metode semuanya masih memenuhi toleransi dari karakteristik tegangan impuls.

VI. DISKUSI

Pada penulisan ini komponen yang digunakan adalah hasil rekayasa, terutama untuk tahanan dan induktor. Nilai-nilai tahanan yang digunakan pada saat rekayasa komponen adalah hasil perhitungan yang telah disimulasikan.

Tahanan yang digunakan adalah tipe tahanan gulungan kawat dengan model bivilar, model ini bertujuan untuk dapat mengurangi nilai-nilai lain pada tahanan misalnya induktansi dan kapasitansi, namun demikian dari hasil pengukuran tahanan masih ada nilai

induktansi pada tahanan, walaupun nilainya kecil namun ini juga dapat mempengaruhi hasil pengujian.

Komponen yang juga sangat mendukung pada penelitian ini adalah kontak, dimana kontak yang digunakan adalah kontak mekanik. Kontak mekanik yang digunakan harus menggunakan matrial yang sangat kuat yang tahan terhadap panas ini dikarenakan arua maupun tegangan yang akan melewati kontak dalam orde kilo sehingga matrial yang digunakan adalah platini sebagai kontak, namun matrial tersebut juga masih menimbulkan masalah pada arus yang sudah diatas 10 kilo amper. Dari hasil pengujian, gambar elombang arus impuls masih terdapat *sprak* yang besar pada awal kontak atau muka gelombang, ini diakibatkan oleh tegangan yang tembus pada saat kontak belum tertutup betul namun masih dalam jarak tertentu pada saat kontak akan terhubung. Hal demikian juga terjadi pada ujung gelombang turun, namun besarnya berbeda karena tegangan yang tembus relative lebi kecil dari gelombang naik atau waktu muka.

Untuk arus impuls *undershot* yang diperoleh adalah 23%, nilai ini masi memenuhi toleransi yang diijinkan yaitu 30%.

VII. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahawa:

Pegunaan *software* simulasi dalam perancangan generator impuls untuk membuktikan hasil perhitungan komponen, sangat baik karena gelombang impuls yang dibangkitkan oleh generator dapat dibuktikan, selisih antar hasil pengujian dan perhitungan dikaibatkan oleh nilai komponen lain pada resistor dan induktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Namun hasil yang diperoleh arus impuls masih memenuhi toleransi karakteristik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Internarional Standart IEC 61000-4-5. 2005. *Electromagnetic Compatibility (EMC)*". IEC. Second edition. Switzerland
- [2] Halim. N.; Azmi. A. Yahya,Y dan Abdullah F. 2011. Development of A Small Scale Standard Lightning Impulse Current Generator. *IEEE, (PEOCO)*. DOI: [10.1109/PEOCO.2011.5970422](https://doi.org/10.1109/PEOCO.2011.5970422) Page(s) 426 - 431
- [3] Gonos.I.; Leontides.N, Topalis.F dan Stathopulos.I.A. 2002. Analysis and Design of Impulse Current Generators, *WSEAS Transactions on Circuits, Vol. 1, Issue 1, pp. 38-43*
- [4] Song,C.; Chen Yazhou.2009. Design and simulation of impulse current circuit based on the standard lightning Currents, *IEEE, CEEM*. DOI: [10.1109/CEEM.2009.5303969](https://doi.org/10.1109/CEEM.2009.5303969). page: 250 - 253
- [5] Abduh,S 1993. *Teknik Tegangan Tinggi*. Salemba Teknika, Jakarta
- [6] Kind, D. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Penerbit ITB.
- [7] Wadhwa C.L. 2007. "*High Voltage Egeeneering*". Second Edition, New Age Internationa (P) Limitetd, Publishers , New Deldi.