

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Preparasi, Pencetakan dan Penyinteran Varistor

1. Hasil Preparasi

Pada proses preparasi sampel yang didopan dengan zat tertentu terlebih dahulu melakukan penimbangan bahan berdasarkan komposisi yang telah ditentukan, setelah itu melakukan pencampuran antara ZnO dan Al₂O₃ dalam media aseton, proses pencampuran tersebut menggunakan magnetic stirrer dan stirring selama 5 jam. Setelah melakukan pencampuran proses selanjutnya melakukan pengeringan pada oven dengan suhu 80⁰ C selama 24 jam. Hal itu juga dilakukan bertujuan untuk menguapkan aseton. Parameter yang digunakan menentukan kering tidaknya zat dalam proses pengeringan terlihat bahwa ketika melakukan penggerusan bahan menggunakan mortar. Apabila zat tersebut belum kering maka akan sulit digerus karena terjadi penggumpalan pada campuran tersebut. Proses berikutnya penggerusan, zat yang sudah kering tadi digerus sampai halus kemudian siap dicetak. Sedangkan untuk pembuatan varistor dengan bahan ZnO Murni, tidak dilakukan seperti proses di atas. Namun cukup dilakukan penimbangan bahan ZnO murni lalu siap langsung dicetak.

2. Hasil Pencetakan

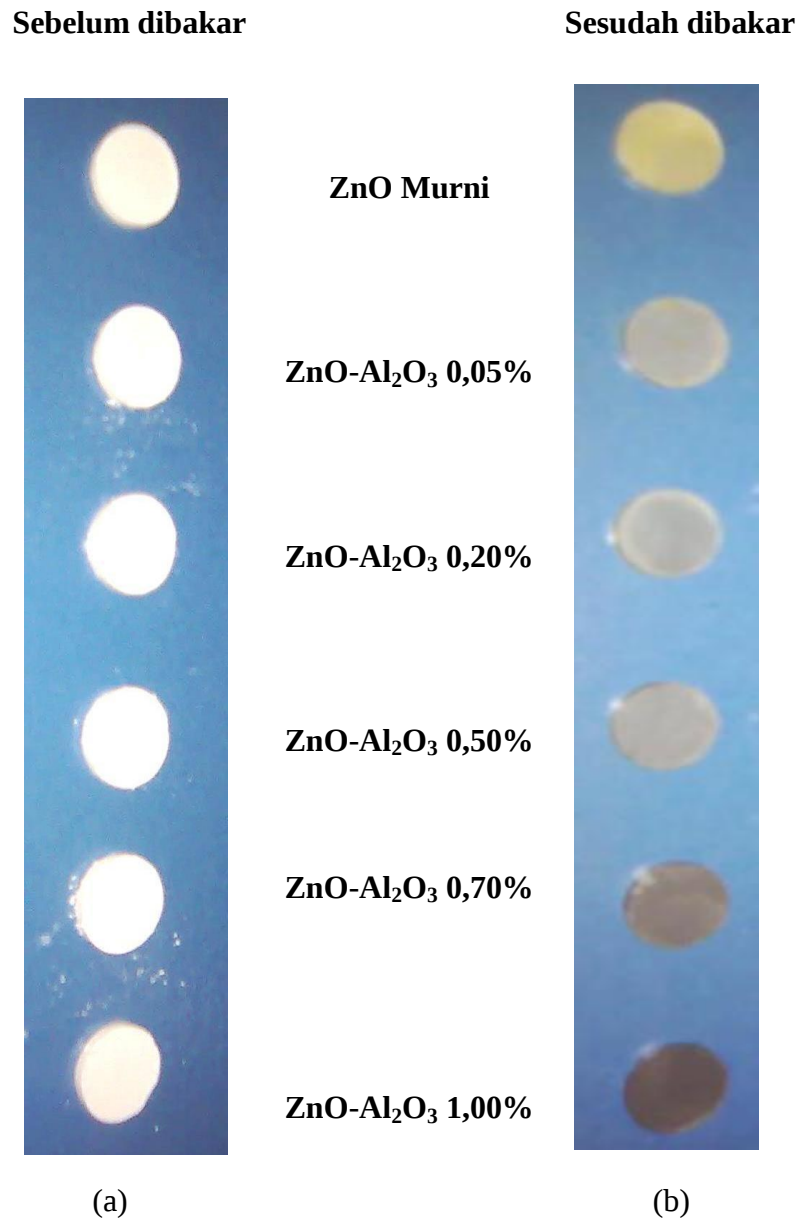
Sebelum melakukan pencetakan Varistor ZnO murni dan Varistor ZnO-Al₂O₃ dilakukan penimbangan didalam *batch*, menggunakan neraca digital dengan komposisi setiap sample varistor seberat ± 1 gram sehingga nanti didapat ketebalan ± 2 mm. Metode yang digunakan dalam pencetakan pada penelitian ini adalah metode pengepresan kering (*dry preesing*). Pengepresan kering merupakan pengepakan uniaksial secara simultan dan pembentukan butiran serbuk dalam sebuah cetakan (*die*). Die yang digunakan dalam penelitian ini berdiameter ± 14 mm. Pencetakan dilakukan melalui proses pengepresan menggunakan alat press hidrolik yang mempunyai range tekanan antara 0 – 300 kg/cm². Proses ini dilakukan agar serbuk ZnO lebih padat sehingga mempermudah proses selanjutnya yaitu proses penyinteran. Pengepresan yang sampel yang dicetak dilakukan pada tekanan 200 kg/cm². Hal ini karena dengan besar tekanan tersebut sudah cukup baik untuk pembuatan varistor dan jika terlalu besar dikhawatirkan akan merusak alat cetak (*die*) yang digunakan. Hasil pencetakan dapat dilihat pada gambar 18a.

3. Hasil Penyinteran

Varistor yang telah dicetak disintering menggunakan alat *automatic programable funace* Lenton 3508 yang memiliki suhu penyinteran maksimum 1400 °C, dimana proses kenaikan suhu dan waktu diset melalui panel kontrol *furnace*.

Keramik varistor pada penelitian ini disintering pada suhu 1300 °C dengan suhu penahanan selama 2 jam dan melewati dua level suhu 250 °C dan 600 °C dengan waktu penahanan masing-masing 30 menit dan 1 jam, sedangkan kenaikan suhu penyinteran sebesar 5 °C/menit. Kenaikan suhu dilakukan secara bertahap agar

tidak terjadi keretakan maupun menghindari varistor pecah pada saat terjadi lonjakan suhu yang terlalu dratis. Setelah melalui proses diatas, varistor didinginkan sampai suhu ruang selama ± 24 jam.



Gambar 18. Hasil pencetakan dan penyinteran, a) Sebelum dibakar dan b) Setelah dibakar

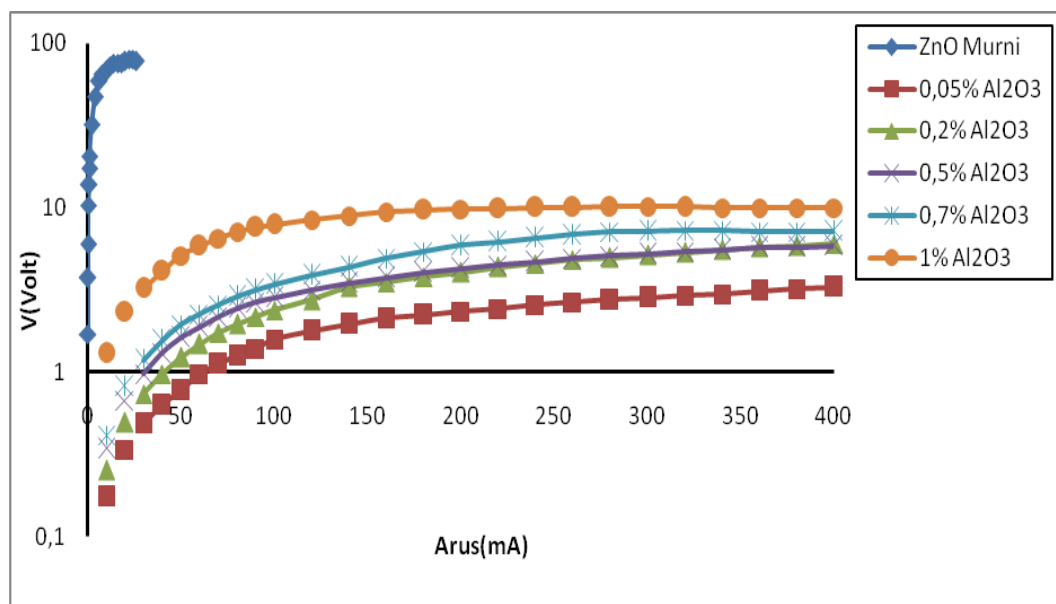
Sampel hasil penyinteran dapat dilihat pada gambar 18b. Pada gambar 18 tersebut terlihat bahwa sampel sebelum disintering nampak berwarna putih. Hal ini karena untuk bahan ZnO murni dan bahan Al₂O₃ serbuknya berwarna dasar putih. Setelah disintering pada suhu 1300 °C varistor ZnO murni menjadi berwarna kuning sedangkan varistor ZnO-Al₂O₃ menjadi berwarna abu-abu. Perubahan warna terjadi karena ZnO dan Al₂O₃ memiliki sifat *thermochromic* yang berarti warna zat akan berubah jika dipanaskan pada suhu tertentu. Varistor yang telah disintering diukur dimensinya menggunakan jangka sorong dan ditimbang menggunakan timbangan digital, didapat ketebalan varistor tersebut $\pm 1,7$ mm, diameter varistor ± 12 mm dan massa varistor ± 1 gram.

B. Hasil Pengujian Varistor dan Analisisnya

1. Hasil Karakteristik Sifat Listrik Tegangan Arus (V-I) Varistor

Pengujian karakteristik V-I varistor menggunakan rangkaian arus bolak-balik. Pada pengukuran V-I varistor ZnO dilakukan secara bertahap yaitu nilai arus mulai dari 50 μ A sampai dengan 26 mA dengan cara menaikkan tegangan transformator regulator, sedangkan pada pengukuran V-I varistor ZnO-Al₂O₃ dilakukan secara bertahap juga nilai arus dimulai dari 10 mA sampai dengan 400 mA sehingga didapat nilai tegangan. Pada pengukuran V-I varistor ZnO murni dan ZnO-Al₂O₃ dengan menggunakan *range* arus tersebut karena pada *range* tersebut merupakan daerah kerja arus bocor dan daerah kerja tegangan normal. Pada daerah kerja normal dimana di daerah ini varistor bersifat *nonlinier* dimana arus yang mengalir pada varistor semakin besar, tetapi nilai tegangan menunjukkan mendekati nilai konstan.

Berdasarkan rekomendasi IEC (*International Electronical Comision*) bahwa daerah arus bocor tersebut bekerja kira-kira antara $10\ \mu\text{A}$ sampai dengan $300\ \mu\text{A}$. Sedangkan untuk daerah kerja tegangan normal pada nilai arus $1\ \text{mA}$. Jika dilakukan pengukuran melebihi *range* arus tersebut maka nilai tegangan kembali turun ke nol.



Gambar 19. Kurva karakteristik V-I varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃

Dari gambar 19 menunjukkan kurva karakteristik V-I varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃. Karakteristik V-I varistor ZnO murni (ditampilkan dengan warna biru) nilai *range* tegangan yang didapat lebih besar dari pada nilai tegangan karakteristik V-I ZnO-Al₂O₃ 1% (ditampilkan dengan warna kuning), ZnO-Al₂O₃ 0,7% (ditampilkan dengan warna biru muda), ZnO-Al₂O₃ 0,5% (ditampilkan dengan warna abu-abu) ZnO-Al₂O₃ 0,2% (ditampilkan pada warna hijau) dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% (ditampilkan dengan warna merah). Kurva kenonlinieran dari ZnO murni terlihat bahwa saat dialiri arus dengan *range* $20\ \mu\text{A}$ sampai dengan $6\ \text{mA}$ varistor masih bersifat isolator dengan nilai resistor yang sangat besar, dan

saat dialiri arus dengan *range* 8 mA sampai dengan 26 mA sifat kenonlinieran varistor ZnO murni bekerja, ini terlihat dengan nilai resistor dari varistor yang semakin kecil dan nilai tegangan mendekati konstan. Pada kurva varistor ZnO-Al₂O₃ menunjukkan bahwa saat dialiri arus dengan *range* 10 mA sampai dengan 120 mA, varistor masih bersifat isolator terlihat dengan nilai resistor yang besar dan masih bersifat linier. Pada *range* 140 mA sampai dengan 400 mA varistor ZnO-Al₂O₃ sifat kenonlinierannya bekerja, ini terlihat dengan nilai resistor semakin kecil dan nilai tegangan semakin konstan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak *persentase* dopan Al₂O₃ yang diberikan pada varistor ZnO maka energi yang dibutuhkan untuk *breakdown* pada varistor tersebut semakin besar sehingga butuh arus yang besar untuk mencapai nilai kenonlinieran.

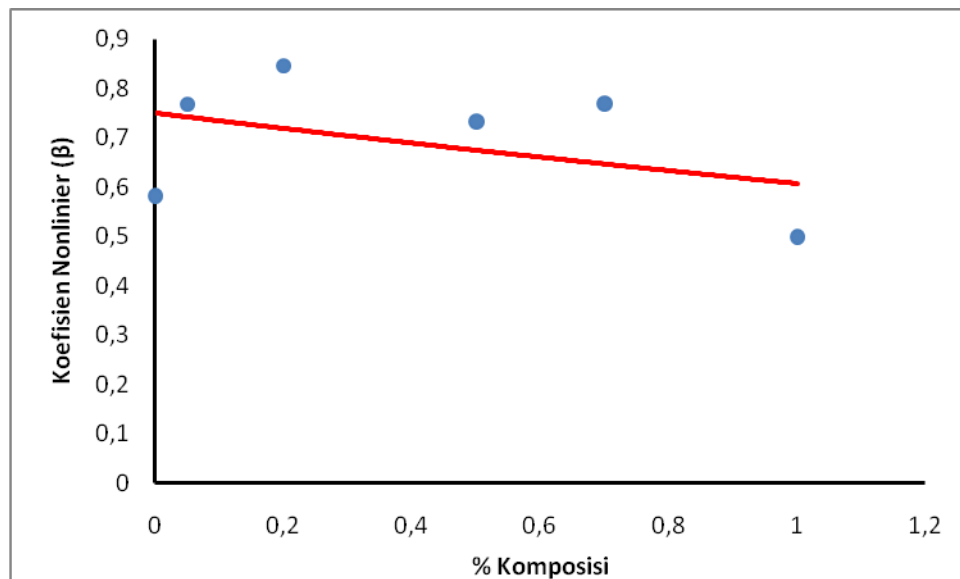
Tabel 5. Hasil perhitunagan koefisien nonlinier varistor ZnO-Al₂O₃

% Komposisi Al ₂ O ₃	Koefisien nonlinieran (β)	Konstanta varistor (K)
0	0,582	897
0,05	0,768	8
0,2	0,846	15
0,5	0,733	13
0,7	0,770	18
1	0,499	20

Pada Tabel 5 merupakan nilai koefisien nonlinier (β) dan konstanta (K) dari varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃ yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, yang dapat dilihat pada lampiran B.

Gambar 20 menunjukkan hubungan koefisien nonlinier dengan *persentase* komposisi yang diberikan. Varistor ZnO murni memiliki nilai koefisien non linier

yang lebih rendah dari varistor ZnO-Al₂O₃ dengan komposisi 0,05%, 0,2%, 0,5% dan 0,7%, tetapi pada komposisi varistor ZnO-Al₂O₃ 1% nilai koefisiennya lebih baik dari ZnO murni. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan komposisi ZnO-Al₂O₃ 1% telah memperbaiki sifat kenonlinieran dari varistor ZnO murni dengan nilai $\beta = 0,499$.



Gambar 20. Grafik hubungan % komposisi penambahan Al₂O₃ dengan koefisien nonlinier(β) varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃

Grafik hubungan koefisien nonlinier dengan *persentase* komposisi penambahan Al₂O₃ menunjukkan persamaan garis linier yang semakin kebawah dengan bertambahnya *persentase* komposisi penambahan Al₂O₃ dan nilai koefisien nonlinier yang semakin kecil. Hal ini dapat disimpulkan bahwa titik optimum belum tercapai pada persentase 0% komposisi penambahan Al₂O₃ sampai dengan 1% pada varistor ZnO. Penambahan dopan Al₂O₃ pada varistor ZnO dapat ditambahkan dengan batas *persentase* penambahan 10% sehingga nanti didapat titik optimum dari varistor ZnO-Al₂O₃ yang dibuat.

2. Hasil Karakteristik Sifat Listrik Tegangan Waktu (V-t) Varistor

a. Hasil Perhitungan Pembagi Tegangan Resistif

Untuk mengukur hasil tegangan sebenarnya tidak dilakukan secara langsung, karena arus yang dihasilkan sangat besar, sehingga apabila langsung diukur dapat mengakibatkan kerusakan pada alat ukur (osiloskop). Untuk mengantisipasi hal tersebut diperlukan pembagi tegangan resistif. Dengan demikian, berdasarkan persamaan dapat diketahui besarnya nilai faktor pengali pembagi tegangan resistif, yaitu sebesar :

$$\frac{R_L + R_H}{R_L} = \frac{1k\Omega + 200k\Omega}{1k\Omega} = 201$$

Nilai tegangan uji impuls dan tegangan tembus varistor dapat dihitung dengan mengalikan nilai hasil pengukuran osiloskop dengan nilai faktor pengali pembagi tegangan resistif. Proses perhitungan untuk mendapatkan nilai tegangan impuls menggunakan pembagi tegangan resistif dapat dilihat pada lampiran B.

b. Hasil Pengujian Pembangkitan Tegangan impuls

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pembangkit tegangan impuls kapasitif yang menggunakan input tegangan AC sebesar 60 Volt dari *voltage regulator* dengan memasang enam variasi nilai induktor yang berbeda untuk mendapatkan enam variasi waktu muka (T_f) gelombang tegangan impuls yang berbeda pula. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan enam nilai tegangan tembus varistor dengan koordinat V-t yang berbeda sehingga dengan menghubungkan enam koordinat tersebut akan diperoleh karakteristik V-t tegangan uji dan karakteristik V-t dari varistor yang diuji. Induktor yang digunakan ada dua jenis induktor yaitu induktor berinti batang ferrit dan induktor

berinti udara. Induktor yang digunakan dibuat sendiri dengan melilitkan kawat email pada inti batang ferrit sehingga membentuk sebuah kumparan. Setelah kumparan induktor dibuat, dilakukan pengukuran nilai induktansi dari setiap induktor yang dibuat dengan menggunakan rangkaian resonansi LC. Dimana untuk mengetahui frekuensi resonansi diukur menggunakan *function generator*, setelah diketahui nilai frekuensi resonansinya maka dilakukan perhitungan nilai induktansinya dengan persamaan berikut :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ada sedikit perbedaan nilai induktansi induktor yang diukur dengan menggunakan rangkaian resonansi LC dengan nilai induktansi induktor hasil perhitungan. Hal ini dikarenakan kurang akuratnya alat ukur yang digunakan ataupun nilai perhitungan induktor yang tidak bulat.

Pengujian pembangkit tegangan impuls dilakukan dengan mengganti satu induktor dengan induktor lainnya untuk mendapatkan waktu muka yang berbeda. Hasil data grafik yang terukur pada osiloskop kemudian ditransfer kedalam PC sehingga lebih muda untuk melakukan pengolahan data tersebut. Dengan mengolah data tersebut, didapat nilai tegangan puncak impuls hasil pembangkitan dan waktu muka tegangan impuls tersebut, yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran tegangan impuls dan waktu muka.

Tegangan Regulator(Volt)	Induktansi Induktor(mH)	Waktu Muka(μs)	Tegangan Puncak Impuls (Volt)
60	0,06	1,05	1254,24
	0,3	6,30	1222,08
	1,8	7,33	1222,08
	7,02	9,24	1222,08
	13,50	11,76	1173,84
	16,51	14,51	1173,84

Nilai waktu muka (T_f) didapat dengan menggunakan kurva volt-waktu dapat dilihat pada Lampiran B, sedangkan untuk nilai puncak tegangan impuls yang didapat setelah melakukan pengukuran tegangan pada R_L (menggunakan osiloskop) dan mengalikan hasilnya dengan faktor pengali pembagi tegangan resistif ($V_{RL} \times 201$) dapat dilihat pada lampiran B.

Dari tabel juga dapat dilihat pengaruh nilai induktansi induktor terhadap waktu muka gelombang tegangan impuls yang diukur. Semakin besar nilai induktansi induktor yang digunakan pada rangkaian, waktu muka yang diperoleh dari gelombang tegangan impuls yang diukur juga semakin besar. Sehingga bentuk gelombang tegangan impuls yang dihasilkan akan semakin landai. Dan berpengaruh juga pada nilai puncak tegangan impuls yang dihasilkan.

c. Hasil Pengujian Tegangan Tembus Varistor ZnO Murni dan ZnO-Al₂O₃

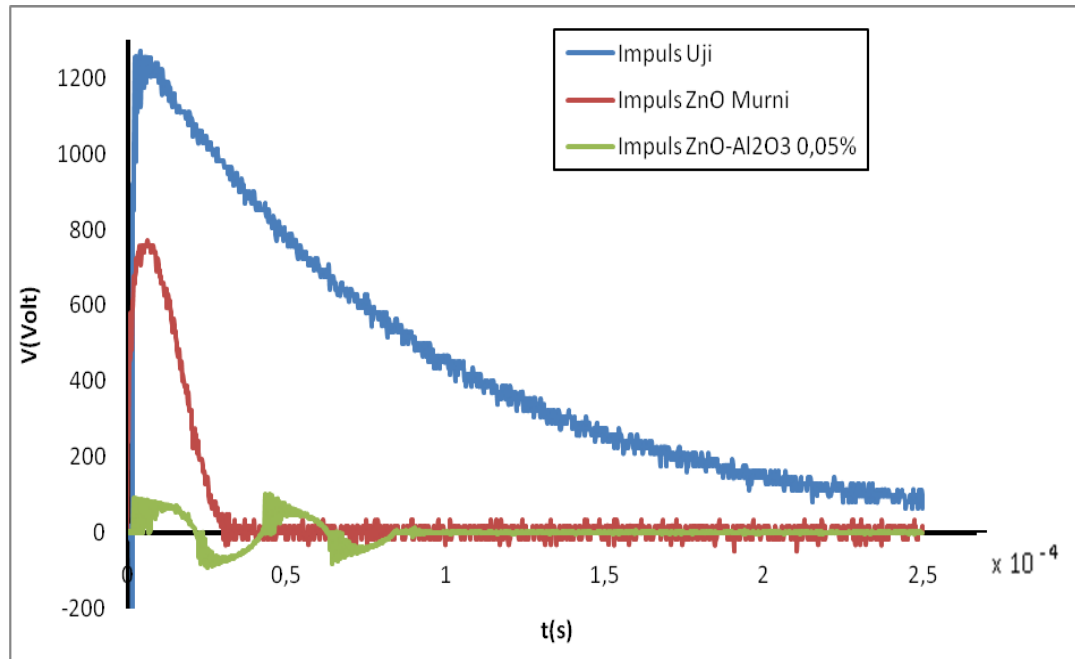
Dengan memasang varistor uji pada rangkaian uji tegangan impuls kapasitif, maka didapat gelombang tegangan tembus masing-masing varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃ untuk masing-masing waktu muka uji yang berbeda. Kemudian didapat grafik respon tegangan impuls, tegangan tembus varistor ZnO murni dan tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃ sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 21, 22, 23, 24, 25 dan 26.

Untuk satu waktu muka yang sama ditampilkan 3 grafik hubungan antara tegangan dan waktu muka yakni tegangan impuls yang digunakan untuk pengujian (ditampilkan dengan warna biru), tegangan impuls hasil pengujian ZnO (ditampilkan dengan warna merah) dan tegangan impuls hasil pengujian ZnO-Al₂O₃ 0,05% (ditampilkan dengan warna hijau).

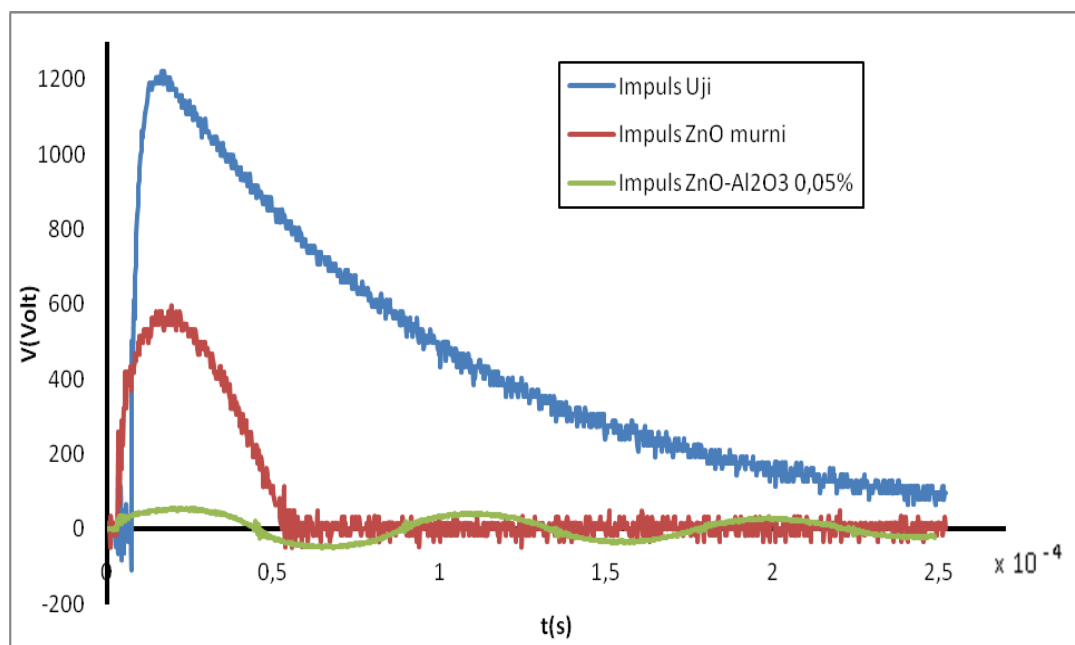
Pada pengujian baik tegangan implus dan pengujian tegangan tembus varistor terdapat *spike*. *Spike* ini muncul karena pada pengujian menggunakan saklar di mana saklar tersebut digunakan untuk proses pengisian dan peluahan tegangan pada kapasitor. Pada operasi pensaklaran (*switching*) saat penutupan dan pembukaan saklar pada pengujian akan menyebabkan adanya lonjakan tegangan dan arus. Ketika saklar ditutup maka akan terdapat lonjakan arus yang besar. Lonjakan arus terjadi sangat singkat dalam skala mikrodetik sehingga timbul *spike* pada pengujian.

Pada gambar 21 sampai dengan gambar 26 menunjukkan bahwa respon varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃ dibawah respon impuls uji. Hal ini menunjukkan bahwa varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃ berhasil memotong tegangan impuls. Varistor ZnO-Al₂O₃ menunjukkan memotong tegangan impuls lebih baik atau lebih rendah dari tegangan tembus varistor ZnO murni. Terlihat juga bahwa semakin besar waktu muka maka respon impuls, varistor ZnO murni dan varistor ZnO-Al₂O₃ maka gelombang yang dihasilkan semakin landai.

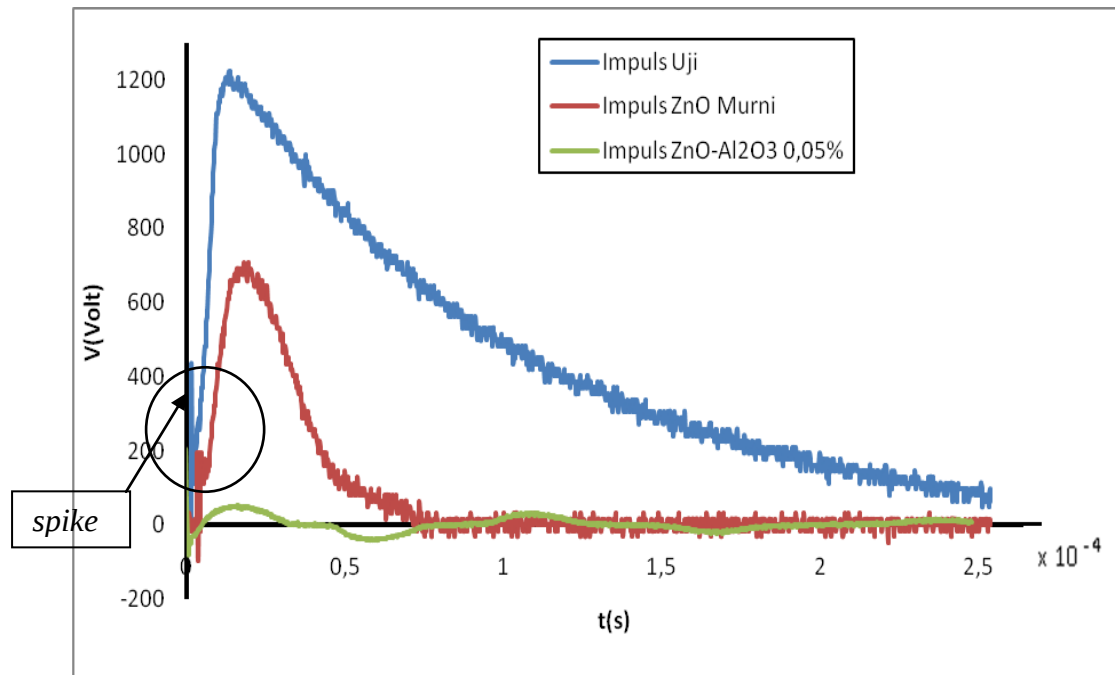
Nilai tegangan tembus ZnO dan ZnO-Al₂O₃ adalah nilai puncak dari gelombang impuls hasil pengujian varistor ZnO dan varistor ZnO-Al₂O₃. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 7.



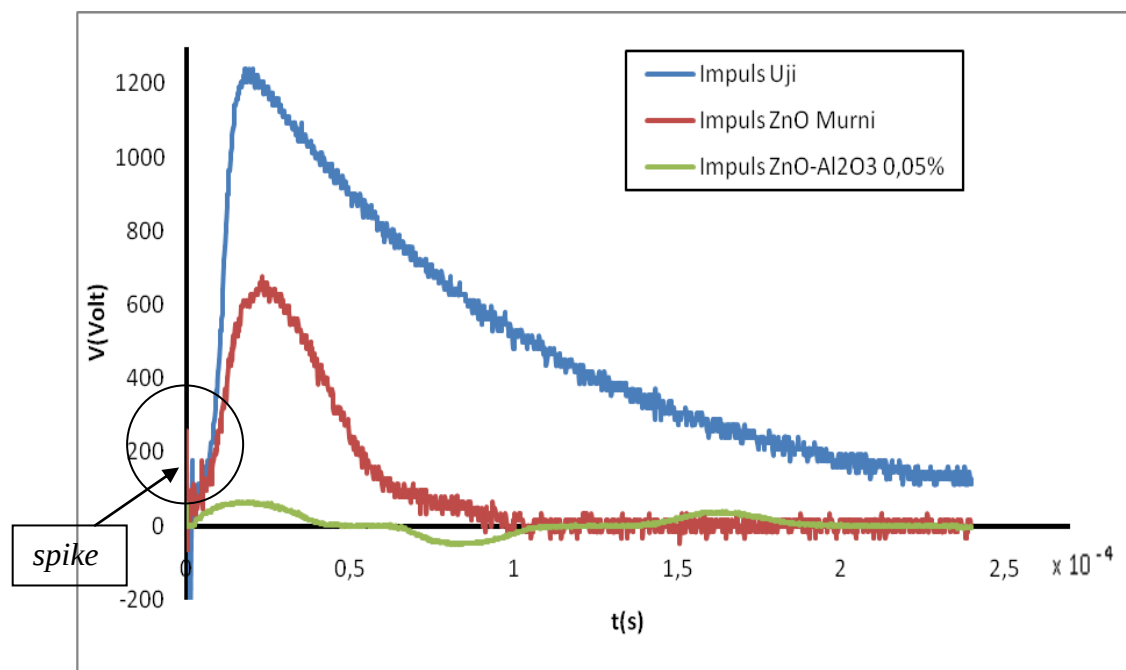
Gambar 21. Respon varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% terhadap tegangan impuls waktu muka 1,05 μ s



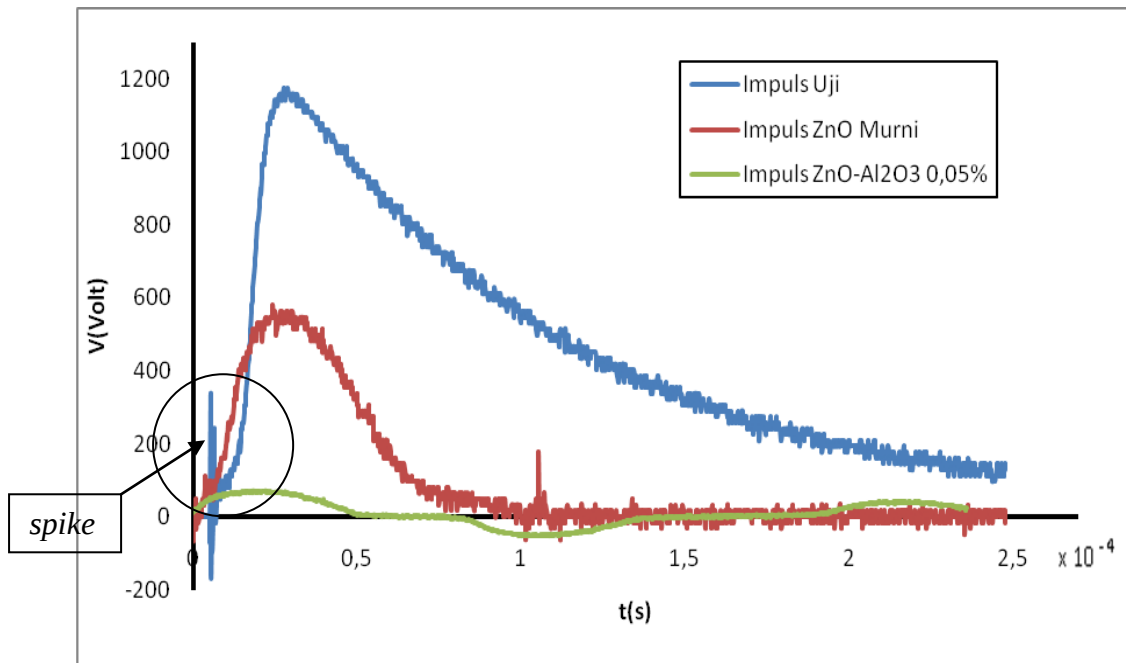
Gambar 22. Respon varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% terhadap tegangan impuls waktu muka 6,30 μ s



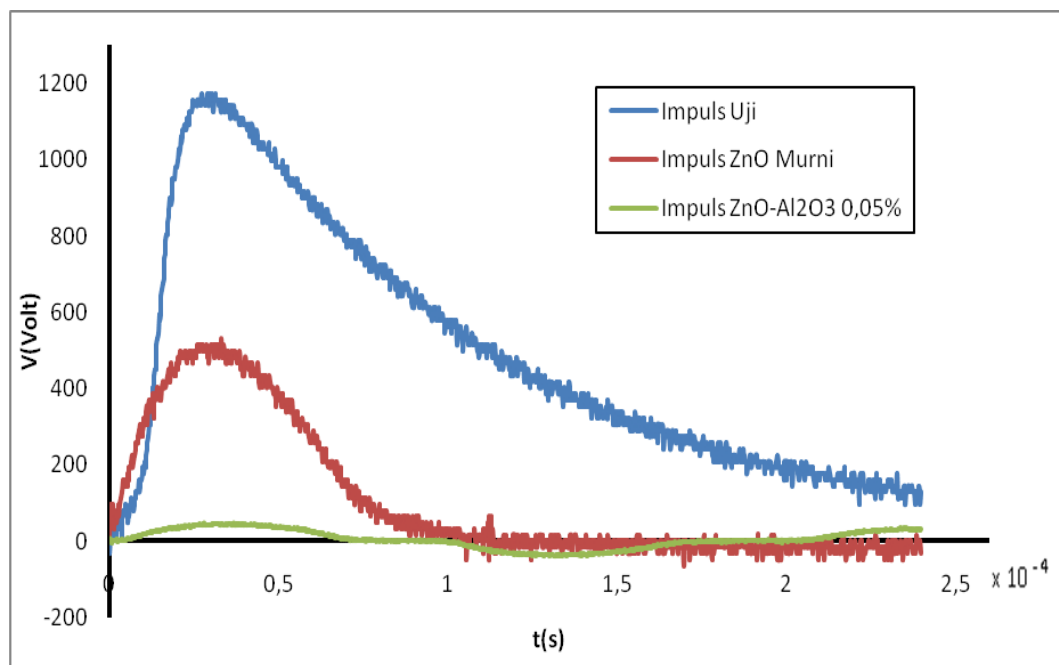
Gambar 23. Respon varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% terhadap tegangan impuls waktu muka 7,33 μ s



Gambar 24. Respon varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% terhadap tegangan impuls waktu muka 9,24 μ s



Gambar 25. Respon varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% terhadap tegangan impuls waktu muka 11,76 μ s



Gambar 26. Respon varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ 0,05% terhadap tegangan impuls waktu muka 14,51 μ s

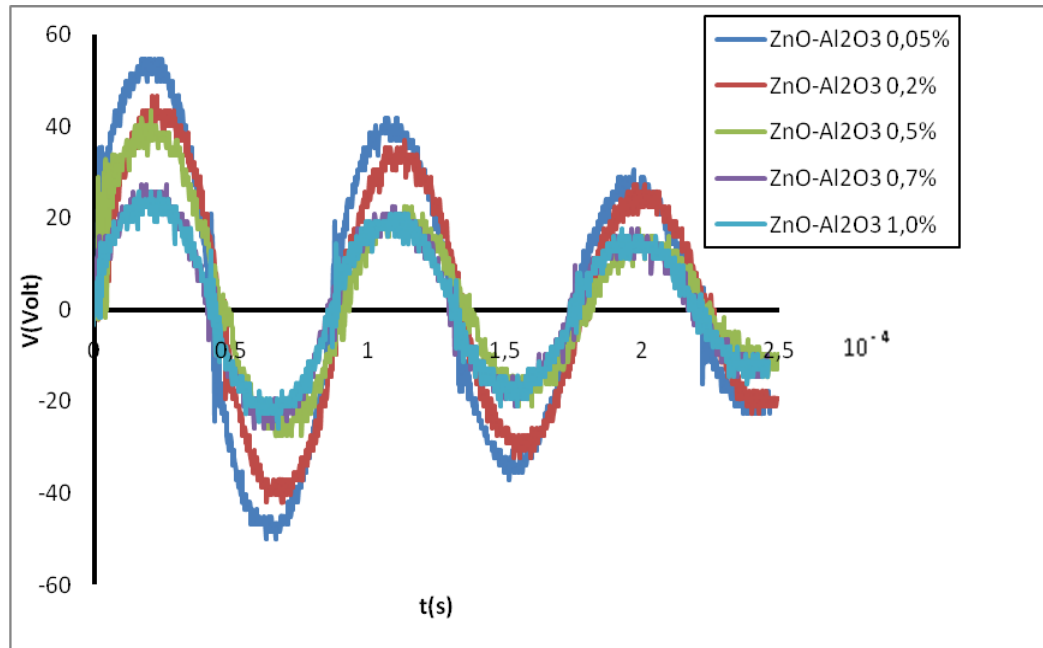
Tabel 7. Hasil pengukuran tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃

Waktu Muka (μs)	Tegangan Puncak Impuls (Volt)	Tegangan Tembus Varistor ZnO (Volt)	Tegangan Tembus Varistor ZnO-Al ₂ O ₃ (Volt)				
			0,05%	0,2%	0,5%	0,7%	1,0%
1,05	1254,24	771,84	62,712	59,496	46,632	36,984	33,768
6,30	1222,08	594,96	54,672	46,632	43,416	27,336	25,278
7,33	1222,08	707,52	51,456	48,240	41,808	40,200	33,768
9,24	1222,08	675,36	64,320	46,632	41,808	36,984	35,376
11,76	1173,84	578,88	70,752	59,496	41,808	40,200	33,768
14,51	1173,84	530,64	46,632	43,416	32,160	28,944	27,336

Berdasarkan tabel 7 diketahui bahwa tegangan puncak impuls hasil pengukuran lebih besar dari pada tegangan tembus varistor. Ini mengindikasikan bahwa varistor ZnO dan varistor ZnO-Al₂O₃ telah bekerja memotong tegangan impuls uji yang diberikan kepadanya.

Untuk respon gelombang pada varistor ZnO-Al₂O₃ dengan komposisi dopan yang berbeda yaitu 0,05%, 0,2%, 0,5%, 0,7% dan 1,0% dengan gelombang yang dihasilkan beresilasi atau *underdamped*.

Respon gelombang tersebut dapat dilihat pada gambar 28. Dari gambar 28 menunjukkan bahwa respon gelombang memiliki polaritas bolak-balik (positif dan negatif) di mana nilai amplitudo setiap gelombang semakin menurun. Gelombang yang dihasilkan pada setiap komposisi yang berbeda menunjukkan bahwa semakin besar komposisi yang diberikan maka tegangan tembus varistor semakin rendah.



Gambar 27. Respon varistor ZnO-Al₂O₃ dengan waktu muka 6,30 μ s

Pada varistor ZnO-Al₂O₃ respon gelombang yang dihasilkan beresilasi, hal ini dikarenakan pada rangkaian uji pembangkit tegangan impuls untuk mendapatkan gelombang impuls tersebut dengan proses penskalaran (*switching*) dan hal ini juga disebabkan oleh bahan yang didoping pada varistor ZnO sehingga mempengaruhi hasil gelombang pengujian.

Pada rangkaian pengujian juga terdapat komponen induktif(L), kapasitif (C) dan resistif(R), sehingga gelombang yang dihasilkan pada pengujian memiliki dua kemungkinan gelombang yang dihasilkan yaitu *oscillatory transient* dan *impulsive transient*. Respon gelombang pada pengujian impuls dan varistor ZnO murni menghasilkan gelombang *impulsive transient* sedangkan pada pengujian varistor ZnO-Al₂O₃ menghasilkan gelombang *oscillatory transient* dapat dilihat pada gambar 27. Proses transien atau impuls pada pengujian terjadi adanya perubahan tegangan dan arus yang tidak berlangsung seketika tetapi membutuhkan waktu dalam hitungan mikrodetik. Perubahan yang sangat cepat ini tidak terjadi

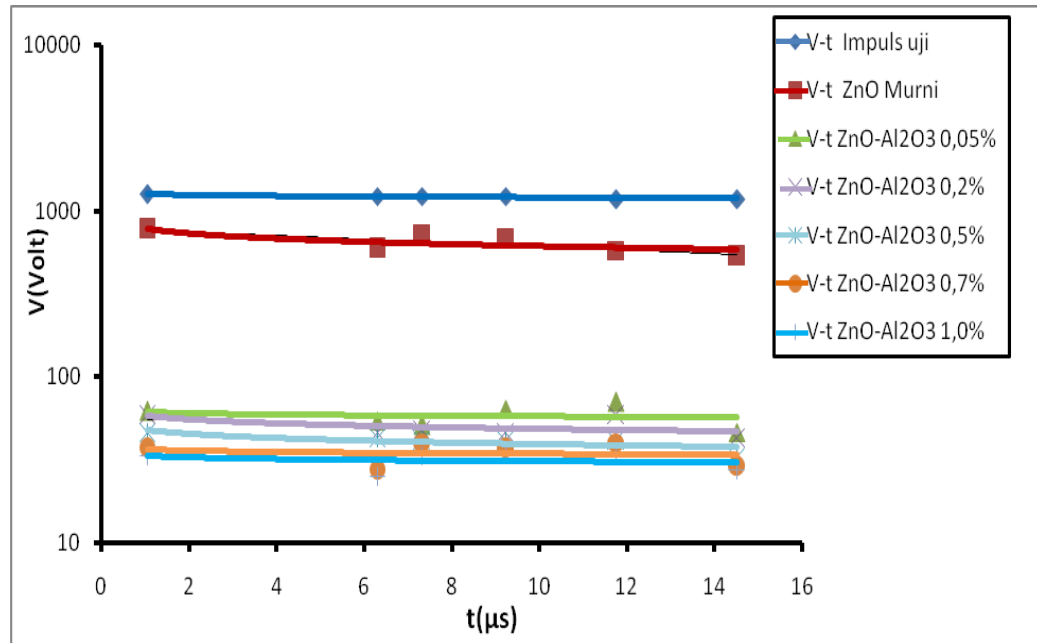
bagaimanapun juga tidak dapat terjadi secara seketika karena proses transien atau impuls dicapai melalui pertukaran energi, yang biasanya tersimpan dalam medan magnet dari induktansi dan medan listrik dari kapasitansi.

d. Hasil Karakteristik V-t Varistor ZnO dan ZnO-Al₂O₃ Murni

Pada gambar 28 terlihat karakteristik V-t pengujian impuls, varistor ZnO dan varistor ZnO-Al₂O₃ yang didapat dari hasil pengujian. Tampak bahwa semakin besar nilai waktu (t), maka nilai puncak tegangan impuls uji maupun tegangan tembus varistor akan semakin menurun sehingga bentuk lengkung karakteristik V-t varistor semakin menurun seiring bertambahnya waktu. Hal ini dikarenakan waktu muka (T_f) impuls uji yang mempengaruhi nilai puncak tegangan impulsnya. Semakin besar nilai (T_f) maka semakin kecil nilai tegangan puncak impuls.

Karakteristik V-t pada gambar 28 terbentuk dari 6 koordinat ($t_{\text{tembus}}, V_{\text{tembus}}$) yang didapat dari pengujian varistor pada 6 variasi waktu muka yang berbeda. Pada gambar 29 terlihat titik sebaran dengan bentuk yang berbeda, itu menunjukkan hubungan antara t_{tembus} dengan V_{tembus} dengan pola titik yang berbeda, dengan menggunakan garis *trend logarithmic* sehingga didapat persamaan disetiap garis karakteristik V-t, yang dapat dilihat pada tabel 8.

Kemudian koordinat-koordinat tersebut dihubungkan sedemikian rupa hingga menghasilkan sebuah lengkung karakteristik V-t. Dengan demikian, dari hasil pengujian didapat 7 buah lengkung karakteristik V-t.



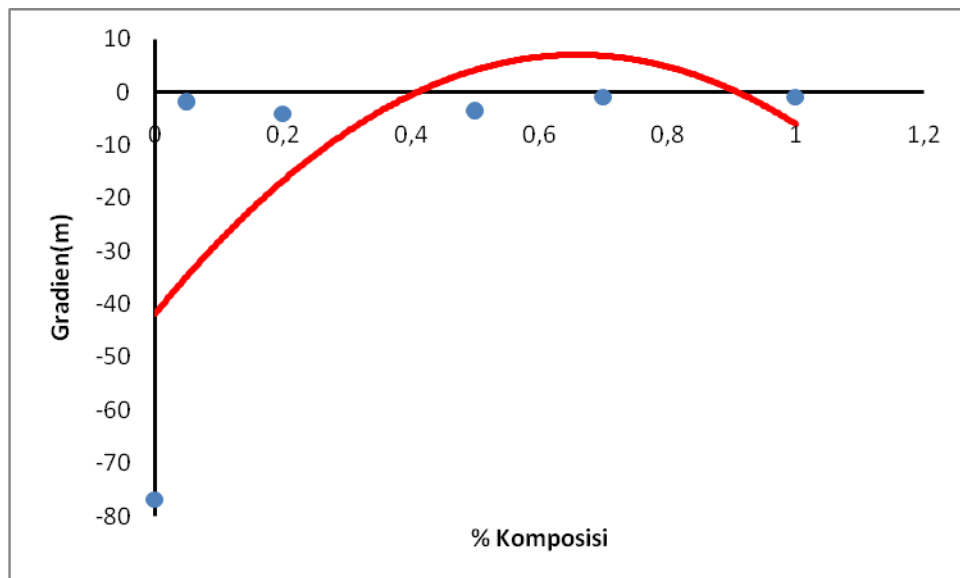
Gambar 28. Karakteristik lengkung V-t pengujian impuls, varistor ZnO dan varistor ZnO-Al₂O₃

Untuk lengkung pertama (ditunjukkan dengan warna biru) adalah karakteristik V-t dari tegangan impuls yang digunakan dalam pengujian tanpa menggunakan varistor pada rangkaian uji. Lengkung kedua (ditunjukkan pada warna merah) merupakan karakteristik V-t dari tegangan tembus varistor ZnO, letaknya berada di bawah lengkung pertama. Lengkung ketiga (ditunjukkan pada warna hijau) merupakan karakteristik V-t dari tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃ 0,05%. Lengkung keempat (ditunjukkan pada warna abu-abu) merupakan karakteristik V-t tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃ 0,2%. Lengkung kelima (ditunjukkan pada warna biru langit) merupakan karakteristik V-t tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃ 0,5%. Lengkung keenam (ditunjukkan pada warna kuning) merupakan karakteristik V-t tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃ 0,7%. Lengkung terakhir, yaitu lengkung ketujuh (ditunjukkan pada warna biru muda) merupakan karakteristik V-t tegangan tembus varistor ZnO-Al₂O₃ 1,0%.

Tabel 8. Nilai gradien kurva lengkung karakteristik V-t

Sample	Nilai gradien (m)
ZnO Murni	-76,8
ZnO-Al ₂ O ₃ 0,05%	-1,98
ZnO-Al ₂ O ₃ 0,2%	-4,09
ZnO-Al ₂ O ₃ 0,5%	-3,72
ZnO-Al ₂ O ₃ 0,7%	-0,86
ZnO-Al ₂ O ₃ 1,0%	-0,96

Dari tabel 8 diketahui nilai gradien setiap karakteristik V-t varistor, nilai kemiringan (gradien) karakteristik V-t varistor ZnO murni lebih besar dibandingkan dengan nilai karakteristik V-t varistor ZnO-Al₂O₃. Untuk varistor ZnO yang didoping dengan *persentase* Al₂O₃ yang berbeda-beda memiliki nilai kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan varistor ZnO murni. Di mana nilai kemiringan terbesar didapat pada varistor ZnO-Al₂O₃ 0,7% dengan nilai kemiringan -0,86. Hal ini dapat diartikan bahwa varistor ZnO-Al₂O₃ lebih baik dibandingkan dengan varistor ZnO murni dalam melindungi suatu tegangan impuls atau transien.



Gambar 29. Hubungan antara gradien dan % komposisi karakteristik lengkung V-t

Gambar 29 menunjukkan suatu garis trend polynomial yaitu hubungan antara nilai gradien yang didapat dari karakteristik lengkung V-t (pada gambar 28) dengan *persentase* komposisi Al_2O_3 yang berbeda-beda.. Di nama dari kurva tersebut didapat suatu persamaan kuadrat $y = -112,4x^2 + 148,1x + 41,84$. Dari persamaan kuadrat tersebut didapat nilai titik balik (x,y) atau nilai (gradien (m), % komposisi), dimana nilai y atau gradien = $\frac{b^2 - 4ac}{4a} = 6,945$ dan nilai x atau besarnya % komposisi optimum = $-\frac{b}{2a} = 0,659$. Hal ini menunjukkan bahwa pada komposisi penambahan Al_2O_3 0,659% dengan nilai gradien 6,945 dari kurva kecendrungan tersebut merupakan komposisi terbaik.

Dapat disimpulkan bahwa varistor $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$ dapat bekerja dengan baik, karena untuk mengetahui varistor dapat bekerja dengan baik, maka salah satu syarat yang harus terpenuhi yaitu karakteristik V-t suatu varistor harus memiliki nilai kemiringan atau gradien mendekati nilai nol. Pada penelitian ini nilai kemiringan yang mendekati nilai nol yaitu didapat pada dopan Al_2O_3 0,7% sehingga pada saat terjadi gangguan tegangan lebih transien atau impuls varistor $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$ lebih dahulu memotong tegangan impuls atau transien yang datang sebelum tegangan tersebut mencapai nilai yang mampu ditahan isolasi dari peralatan listrik.