

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Kebutuhan penggunaan peralatan yang mendukung tugas akhir ini cukup banyak, sehingga tidak memungkinkan dilakukan di satu tempat. Oleh karena itu penelitian tugas akhir ini dilakukan di beberapa tempat, antara lain :

1. Proses pembuatan sampel varistor dilakukan di laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Lampung (Unila).
2. Pencetakan sampel varistor dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, FT, Unila.
3. Proses pembakaran (*sintering*) sampel varistor dilakukan di laboratorium Biomassa, FMIPA, Unila.
4. Pengujian karakteristik V-I dan lengkung karakteristik volt-waktu (*volt-time*) dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, FT, Unila.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *mortar*, *pestle*, *magnetic stirrer*, *furnace*, alat press hidrolik, alat cetak varistor (*die*), sendok, gelas

kimia, *polishing*, mikroskop optik, amplas, pipa putih PVC, timbangan digital, jangka sorong, *stopwatch*.

Sedangkan alat-alat untuk pengujian karakteristik lengkung volt-waktu, yaitu :

a. Satu set *voltage regulator*

Alat ini digunakan untuk mengatur tegangan input yang akan masuk ke peralatan pembangkitan tegangan tinggi impuls dengan merk *Matsunaga Transformer*. Tegangan inputnya adalah AC 220-230 V.

b. Satu set peralatan pembangkitan tegangan tinggi impuls kapasitif.

Alat ini digunakan untuk memperoleh tegangan impuls yang mempunyai karakteristik tegangan terhadap waktu yang memiliki rasio karakteristik yang relatif sama dengan tegangan lebih petir.

c. Multimeter digital

Alat ini digunakan untuk mengukur tegangan input yang diinginkan dan hambatan (resistansi) peralatan uji.

d. Osiloskop digital

Alat ini digunakan untuk mengukur tegangan keluaran dari peralatan pembangkitan tegangan tinggi impuls dan respon varistor ketika dikenai gangguan tegangan lebih.

e. Satu set komputer

Alat ini digunakan untuk menyimpan data gelombang keluaran yang telah dihasilkan oleh osiloskop tabung sinar katoda. Komputer ini menggunakan prosesor *intel pentium dual core* 1,8 GHz dengan sistem operasi *window XP*.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZnO (*zinc oxide*) sebagai bahan dasar utama, MnO₂ (*manganese dioxide*) sebagai dopan, aluminium foil, dan aseton sebagai media pencampur.

C. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pada tahap pertama yaitu proses pembuatan pellet varistor yang terdiri dari proses preparasi, pencetakan, dan penyinteran. Tahap selanjutnya adalah pengujian karakteristik listrik V-I dan karakteristik V-t. Setelah melakukan pengujian tahap selanjutnya adalah pengambilan data berupa kurva lengkung V-t untuk karakteristik V-t dan kurva *kenon-linear* V-I untuk karakteristik V-I. Tahap yang terakhir adalah mengolah data yang didapat kemudian menganalisisnya dan menarik kesimpulan.

D. Pelaksanaan

1. Pembuatan Pelet Varistor

Serbuk ZnO dicampur dengan serbuk MnO₂ dengan proses reaksi padatan dengan media aseton. Komposisi campuran kedua zat tersebut ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. komposisi campuran ZnO-MnO₂ berdasarkan perbandingan persen mol

No	Sampel	ZnO (mol %)	MnO ₂ (mol %)
1.	ZnO Murni	100,0	0,0
2.	ZnMn 0,5 %	99,5	0,5
3.	ZnMn 1,0 %	99,0	1,0
4.	ZnMn 1,5 %	98,5	1,5
5.	ZnMn 2 %	98,0	2,0
6.	ZnMn 5 %	95,0	5,0

Pemrosesan material varistor sebagai berikut :

- a. Menimbang serbuk ZnO dan MnO₂ menggunakan timbangan digital dengan berbagai perbandingan mol sesuai dengan tabel 1.
- b. Memasukkan campuran tersebut ke dalam gelas kimia 250 cc dan memberi nama sesuai dengan perbandingan mol.
- c. Memasukkan aseton ke dalam gelas yang berisi campuran hingga volume gelas menjadi 150 cc.
- d. Mengaduk beberapa saat campuran tersebut dan kemudian meletakkannya di atas *hot plate/stirring*.
- e. Memasukkan *magnetic stirrer* kedalam gelas yang berisi campuran tersebut.
- f. Menghidupkan *hot plate/stirring* pada skala 6, dan memastikan campuran tersebut teraduk.
- g. Menutup gelas tersebut menggunakan alumunium *foil* pada proses *stirring* agar zat-zat lain tidak masuk.

- h. Setelah ± 4 jam dan memastikan kedua zat tersebut tercampur secara homogen, matikan *hot plate/stirring*, kemudian mengangkat gelas tersebut dari *hot plate/stirring*.
- i. Mengambil *magnetic stirrer* dari dalam gelas berisi campuran tersebut menggunakan pinset dan mencucinya sampai bersih.
- j. Membiarkan beberapa saat campuran untuk mengeringkan aseton dari campuran.
- k. Untuk mengeringkan campuran tersebut, campuran dipanaskan didalam *furnace* pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
- l. Memasukkan gelas tersebut ke dalam *furnace* dan mencatat posisi gelas, kemudian program mesin *furnace*.
- m. Mengambil campuran tersebut dari dalam *furnace* setelah 24 jam, (bila belum kering maka dipanaskan kembali pada suhu $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam)
- n. Mendinginkan campuran tersebut pada suhu kamar ($27\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan memastikan campuran tersebut benar-benar kering.
- o. Memasukkan campuran tersebut ke dalam *mortar*, kemudian gerus ± 1 jam dan memastikan campuran tersebut benar-benar halus untuk menjamin serbuk ZnO tercampur secara homogen dengan serbuk PbO.
- p. Menimbang campuran tersebut sebanyak 1,5 gram dan meletakkannya pada aluminium *foil*.
- q. Memasukkan campuran tersebut ke dalam *die* dan memastikan *die* dalam keadaan bersih.
- r. Melakukan pengepresan dengan hati-hati pada tekanan 200 kg/cm^2 .

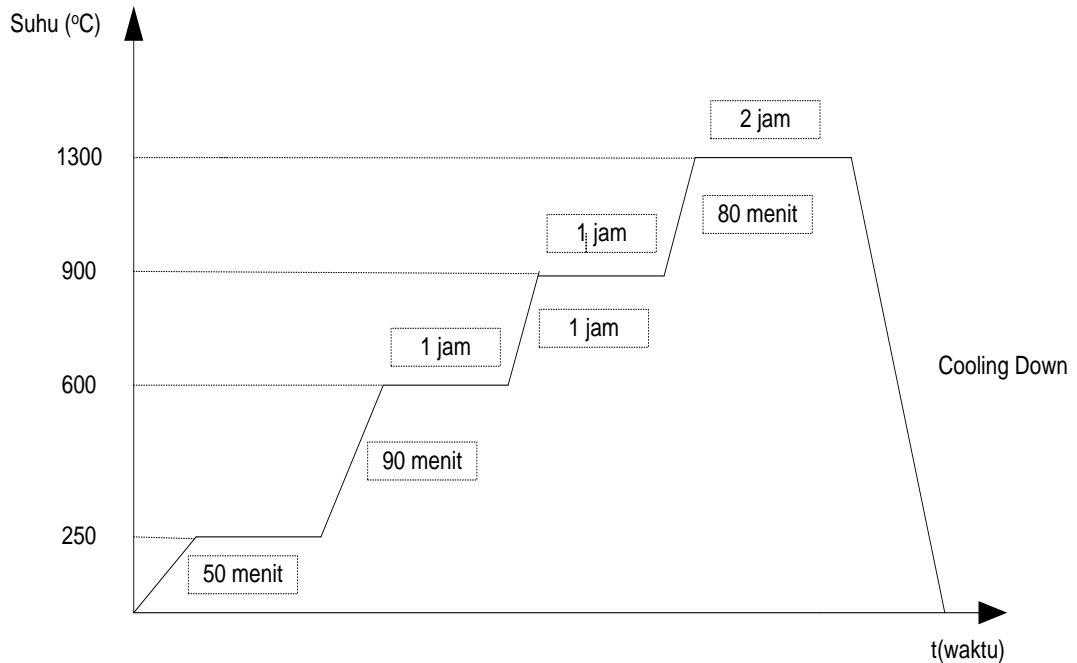
- s. Setelah mencapai tekanan 200 kg/cm^2 , putar tuas pengurang tekanan pada alat *press hidrolik*
- t. Mengambil *die* dari *press hidrolik* dan mengeluarkan pelet mentah, lalu masukkan pelet mentah tersebut ke dalam tempat sampel.
- u. Membersihkan *die* setelah melakukan pengepresan dan melakukan lubrikanisasi setiap tiga kali pengepresan menggunakan alumina.
- v. Mengumpulkan pelet yang rusak/cacat kemudian menggerus sampai halus dan siap dicetak kembali.

2. Perlakuan Penyinteran

Varistor dapat dihasilkan setelah melalui proses penyinteran menggunakan *furnace* pada temperatur tinggi. Untuk penelitian ini menggunakan suhu $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu penahanan selama 2 jam. Kemudian pendinginan dilakukan secara alami pada temperatur ruang. Penyinteran dilakukan dengan menaikkan suhu yang telah ditentukan secara bertahap untuk mengurangi kerutan dan mencegah keretakan pada varistor. Suhu kenaikan yang direncanakan adalah $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$. Perlakuan pemanasan dan densifikasi ZnO yang ditambahkan MnO_2 adalah sebagai berikut :

1. $0 \text{ }^\circ\text{C} - 250 \text{ }^\circ\text{C}$, dengan waktu kenaikan 50 menit
2. $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ditahan selama 1 jam
3. $250 \text{ }^\circ\text{C} - 600 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu kenaikan 90 menit
4. $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ditahan selama 1 jam
5. $600 \text{ }^\circ\text{C} - 900 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu kenaikan 1 jam
6. $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ditahan selama 1 jam

7. 900 °C – 1300 °C dengan waktu penahanan 80 menit
8. 1300 °C ditahan selama 2 jam

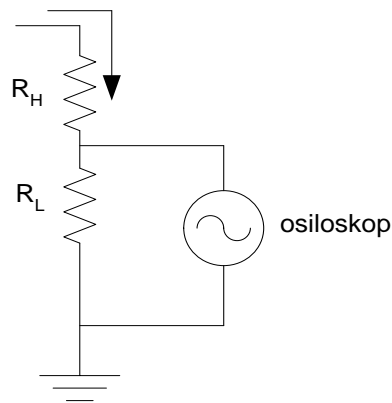


Gambar 15. Grafik Peningkatan Suhu Pemanasan

3. Pengujian dan Karakterisasi Sifat Listrik Volt-Waktu (V-t) Varistor.

a. Perhitungan Pembagi Tegangan Resistif

Sebelum melakukan pengujian volt-waktu varistor, maka terlebih dahulu harus mengetahui nilai pembagi tegangan yang digunakan karena nilai tegangan yang terukur pada osiloskop adalah nilai tegangan puncak-puncak (V_{pp}). Nilai pembagi tegangan digunakan untuk menghitung nilai tegangan yang sebenarnya.



Gambar 16. Rangkaian pembagi tegangan resistif

$$U_{1\sim} = U_{2\sim} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Dimana :

$U_{2\sim}$ = nilai tegangan sebenarnya

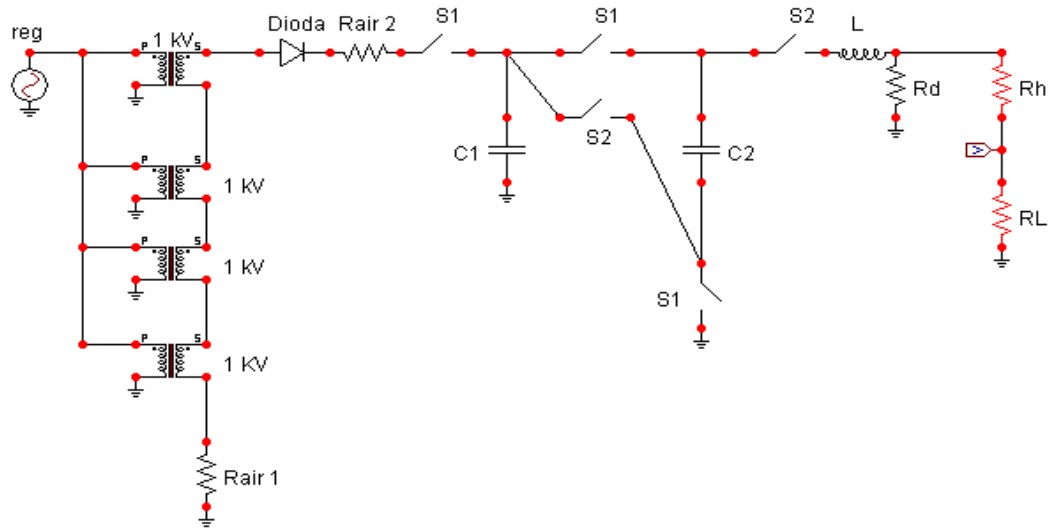
$U_{1\sim}$ = nilai tegangan puncak-puncak (V_{pp}) hasil pengukuran

R_L = hambatan pada sisi *low* pembagi tegangan resistif

R_H = hambatan pada sisi *high* pembagi tegangan resistif

b. Pembangkit Tegangan Impuls Kapasitif Dengan Waktu Muka dan Tegangan Keluaran Yang Bervariasi

Tujuan utama dilakukan pengujian tegangan impuls adalah memperoleh data *magnitude* tegangan puncak, yang digunakan untuk membandingkan antara tegangan impuls dan tegangan *discharge* hasil pengujian. Pengujian dilakukan menggunakan input tegangan 40 V, 50 V, dan 60 V. Tegangan tersebut dipilih berdasarkan kemampuan pembangkit tegangan impuls yang dimiliki.



Gambar 17. Rangkaian pembangkit tegangan impuls kapasitif

Keterangan gambar :

- ❖ Reg = regulator tegangan 0-220 V, 5 kVA
- ❖ 1 kV = transformator 0,5 A, 1000 volt
- ❖ Dioda = dioda tegangan tinggi 20 KV, 1 A
- ❖ R_{air} = 0.4 MΩ
- ❖ S₁ dan S₂ = saklar
- ❖ C₁ dan C₂ = kapasitor, masing-masing 1,14 μF
- ❖ L = induktor besarnya diatur sesuai dengan muka gelombang yang diinginkan
- ❖ R_d = resistor peluahan, 150 Ω
- ❖ R_h = resistor *high*, 200 k Ω
- ❖ R_L = resistor *low*, 1 kΩ

Pembangkit tegangan impuls yang digunakan adalah pembangkit tegangan impuls kapasitif seperti yang terlihat pada gambar 15. Seluruh rangkaian satu

demi satu dihubungkan seperti yang terlihat pada gambar 15. Setelah itu periksa kedua buah tahanan air. Kondisi tahanan air yang baik adalah jernih, tidak terdapat endapan, tidak panas, dan tidak berwarna. Sebaiknya air yang digunakan adalah air dari sumur yang jernih agar tidak terjadi *flashover* pada tahanan air tersebut. Usahakan besarnya R_{air1} harus lebih besar $\pm 2,5 \text{ k}\Omega$ dibandingkan dengan R_{air2} . Sebaiknya tidak menggunakan resistor daya atau resistor yang dibeli di pasaran (yang berinduktansi), karena akan menyebabkan jatuh tegangan pada sisi keluaran serta panas yang berlebihan pada trafo dan dioda yang berujung pada kerusakan.

Langkah selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah pemasangan induktor. Pada pembangkit tegangan tinggi impuls terdapat induktor (L) yang dapat diganti-ganti. Hal ini dilakukan agar dapat mengatur waktu muka gelombang impuls yang akan dihasilkan. Induktor tersebut dibuat dengan kawat tunggal beremail, berdiameter 0.3 mm yang dililitkan kebatang *ferrit* berdiameter $\pm 80 \text{ mm}$ dengan panjang 15 cm. Ada juga induktor yang dibuat dari kawat tunggal beremail, berdiameter 0,6 mm yang dililitkan ke sebuah pipa PVC yang berdiameter $\pm 2 \text{ inchi}$ dengan panjang 45 mm.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Agung Setiawan di dalam skripsinya didapatkan besar waktu muka gelombang impuls yang disebabkan oleh besarnya induktansi induktor yang digunakan. Hal ini dapat ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Variasi induktor dan waktu muka gelombang yang dihasilkan (Setiawan, 2006)

Kode	Induktor (mH)	Waktu Muka (μ s)
L1	0,063	1,2
L2	0,174	2,3
L3	0.309	5,3
L4	3,300	10,0
L5	9,220	19,0

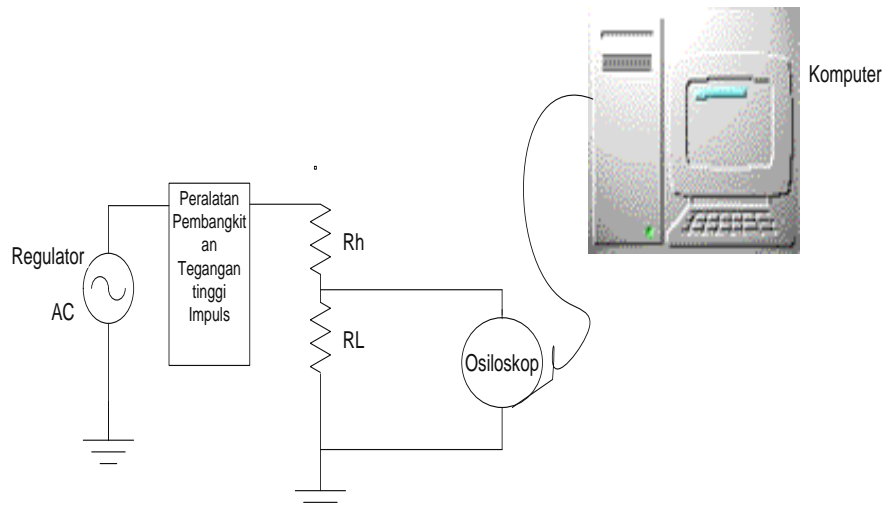
Hal lain yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah pengaturan setting saklar S_1 dan S_2 . pada pengujian ini kondisi saklar S_1 adalah *normally close* (tertutup) sedangkan saklar S_2 dalam kondisi *normally open* (terbuka). Hal ini dilakukan agar ketika dalam proses pengisian kapasitor C_1 dan C_2 , kapasitor terhubung paralel, dan ketika diluahkan kapasitor C_1 dan C_2 terhubung seri, sehingga tegangan impuls yang diluahkan akan semakin besar. Waktu pengoperasian saklar S_1 dan S_2 akan terlihat jelas seperti dalam tabel 3 berikut :

Tabel 3. waktu pengoperasian saklar S_1 dan S_2

No.	Waktu	S_1	S_2
1.	0 ~ 20 s	<i>Normally close</i>	<i>Normally open</i>
2.	20.1 ~s	<i>Normally open</i>	<i>Normally close</i>

Setelah seluruh pemeriksaan dan pemasangan rangkaian pada pembangkit tegangan impuls dilaksanakan, hubungkan kabel *probe* osiloskop ke sisi tegangan rendah pembagi tegangan resistif. Hal ini ditujukan agar gelombang tegangan impuls yang dihasilkan oleh pembangkit dapat terlihat dan tersimpan

di osiloskop. Agar grafik tampilan osiloskop dapat dicetak dan lebih mudah untuk dianalisis maka data yang terekam di osiloskop disimpan ke *flash disk* setelah itu, data dipindahkan ke komputer.



Gambar 18. Rangkaian pengujian karakteristik tegangan uji impuls

Prosedur percobaan pada pengujian tegangan impuls ini adalah

- a. Menyusun rangkaian seperti pada gambar 17 dan 18, dengan salah satu induktor
- b. Dalam kondisi awal seluruh saklar S_1 dalam kondisi tertutup dan S_2 terbuka, kemudian mengatur waktu dengan setingan dapat dilihat pada 3 nomor 1.
- c. Mengatur osiloskop pada kondisi *single mode* untuk dapat menangkap input tunggal dan seketika.

- ❖ *Time base* = 50 μ s
- ❖ *Volt /div* = 2 volt
- ❖ *Storage* = *Single~ reset*

yang perlu diperhatikan adalah untuk setiap pengujian baru, jangan lupa mereset kembali *storagenya* agar dapat kembali menangkap input dari pengujian.

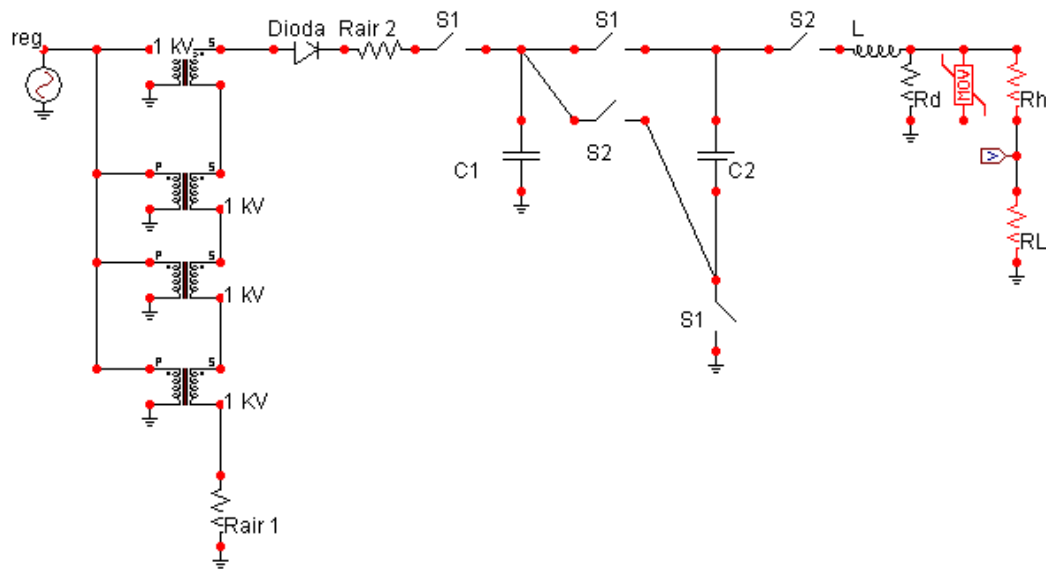
- d. Menghidupkan regulator dengan menggunakan sumber tegangan jala-jala dari PLN sesuai dengan tabel 4 di bawah ini kemudian mencatat hasilnya:

Tabel 4. tabel pengisian hasil perhitungan pengujian tegangan tinggi impuls.

V input (V)	Induktansi Induktor (mH)	Waktu Muka (μs)	V Impuls terukur (Volt)	V Impuls sebenarnya (Volt)

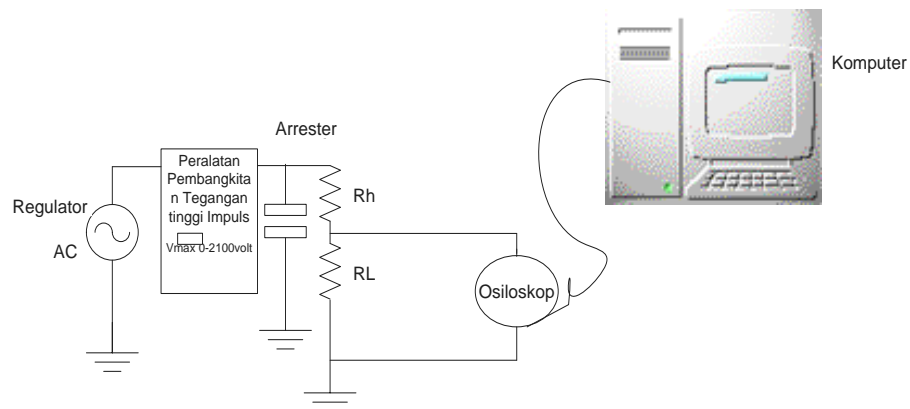
- e. Saklar S_1 dalam kondisi dibuka dan S_2 ditutup. Mengatur waktu S_1 dan S_2 dapat dilihat pada tabel 3 nomor 2.
- f. Mengukur nilai tegangan pada tahanan resistor yang kecil yaitu R_L dengan menggunakan osiloskop, simpan agrafik hasil pengujian dalam komputer.
- g. Mengulangi pengukuran tegangan impuls untuk waktu muka (T_f) yang berbeda dengan cara mengganti induktor rangkaian dengan induktor yang lainnya.
- h. Mematikan suplai arus ke regulator setelah pengujian selesai.

c. Pengujian Varistor Dengan Waktu Muka Dan Tegangan uji Impuls Yang Bervariasi



Gambar 19. Rangkaian pengujian karakteristik V-t varistor ZnO

Varistor yang akan diuji adalah varistor ZnO murni dan varistor ZnO-MnO₂. untuk mengetahui unjuk kerja dan karakteristiknya terhadap tegangan uji impuls, varistor dipasang pada keluaran pembangkit tegangan impuls dan terhubung paralel terhadap R_d yaitu resistor peluahan dan sisi *ground*nya diketanahkan. Usahakan jarak sambungan antara varistor dan R_d sedekat mungkin, hal itu mengurangi *error* dan triak (*noise*) yang besar.



Gambar 20. Rangkaian pengujian karakteristik unjuk kerja varistor

Prosedur percobaan pada pengujian unjuk kerja varistor ZnO ini adalah :

- a. Menyusun rangkaian seperti gambar 17 dan 18, dengan induktor yang telah ditentukan.
- b. Dalam kondisi awal semua saklar S_1 dalam kondisi tertutup dan S_2 terbuka. Mengatur waktu S_1 dan S_2 sesuai dengan tabel 3 nomor 1.
- c. Mengatur osiloskop pada kondisi *single mode* untuk dapat menangkap input tunggal dan seketika.
 - ❖ Time base = $20 \mu\text{s T/div}$
 - ❖ Volt /div = 5
 - ❖ Storage = Single reset
- d. Menghidupkan regulator dengan menggunakan sumber tegangan jala-jala dari PLN sesuai dengan tabel 5 di bawah ini kemudian mencatat hasilnya:

Tabel 5. Tabel pengisian hasil perhitungan pengujian varistor terhadap tegangan tinggi impuls.

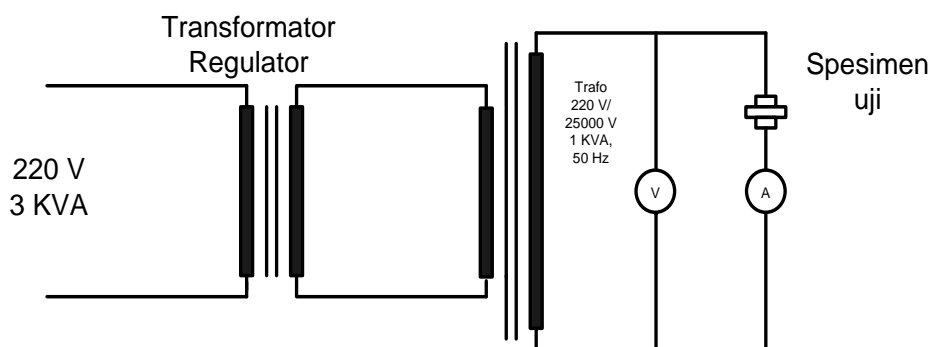
Sampel	L (mH)	Waktu Muka (μs)	V Impuls sebenarnya (Volt)	V <i>Discharge</i> sebenarnya (Volt)

- e. Saklar S_1 dalam kondisi dibuka dan S_2 ditutup. Mengatur waktu S_1 dan S_2 dapat dilihat pada tabel 3 nomor 2.

- f. Mengukur nilai tegangan pada tahanan resistor yang kecil yaitu R_L dengan menggunakan osiloskop, simpan grafik hasil pengujian dalam komputer.
- g. Mengulangi pengukuran tegangan impuls untuk waktu muka (T_f) yang berbeda dengan cara mengganti induktor rangkaian dengan induktor yang lainnya.
- h. Mematikan suplai arus ke regulator setelah pengujian selesai.

4. Pengukuran Karakterisasi Sifat Listrik Volt-Ampere (V-I) Pada Varistor

Untuk menentukan karakteristik V-I varistor digunakan rangkaian pengukuran seperti pada gambar berikut.



Gambar 21. Rangkaian pengukuran tegangan bolak-balik

Peralatan pengukuran karakteristik V-I tersebut terdiri dari transformator regulator (220 V, 3 KVA, 50 Hz), transformator uji (220/25000 volt, 1 KVA, 50 Hz), *amperemeter* dan *voltmeter* AC. Pada pengukuran arus bolak-balik ini, dilakukan secara bertahap mulai dari 0.05 mA sampai dengan 30 mA dengan cara menaikkan tegangan transformator regulator.

Pemilihan arus pada spesimen sebesar $200\ \mu\text{A}$ berdasarkan rekomendasi dari IEC (*International Electrotechnical Commission*) yang menyatakan bahwa daerah kerja varistor normal dimulai pada arus sebesar $300\ \mu\text{A}$. Tergantung atas kapasitas transformator uji maka dalam menentukan koefisien *non-linear* varistor, biasanya arus spesimen ditetapkan sebesar $1\ \text{mA}$ atau sebesar $1\ \text{A}$.

Prosedur percobaan untuk pengukuran karakteristik V-I varistor ini adalah:

- a. Menyusun rangkaian seperti pada gambar 21.
- b. Memasang salah satu varistor yang akan diuji pada rangkaian
- c. Menghidupkan transformator regulator dengan menggunakan sumber tegangan jala-jala dari PLN.
- d. Mengatur tegangan untuk mendapatkan arus yang diinginkan sesuai dengan tabel 6. kemudian mencatat hasilnya.
- e. Mengulangi pengujian untuk tipe varistor yang lainnya.
- f. Mematikan transformator regulator setelah pengujian selesai.

Tabel 6. Tabel pengisian hasil pengujian karakteristik V-I varistor

Sampel Varistor	Arus (mA)	Tegangan (Volt)
	0.05	
	0.1	
	0.15	
	0.2	
	0.4	
	0.6	
	0.8	
	1	
	2	
	4	
	6	
	8	
	10	
	12	
	14	
	16	
	18	
	20	
	22	
	24	
	26	
	28	
	30	

E. Analisa Data

Data yang didapat pada saat pengujian kemudian dianalisis ditabelkan, dan digambarkan. Data-data yang di dapat adalah :

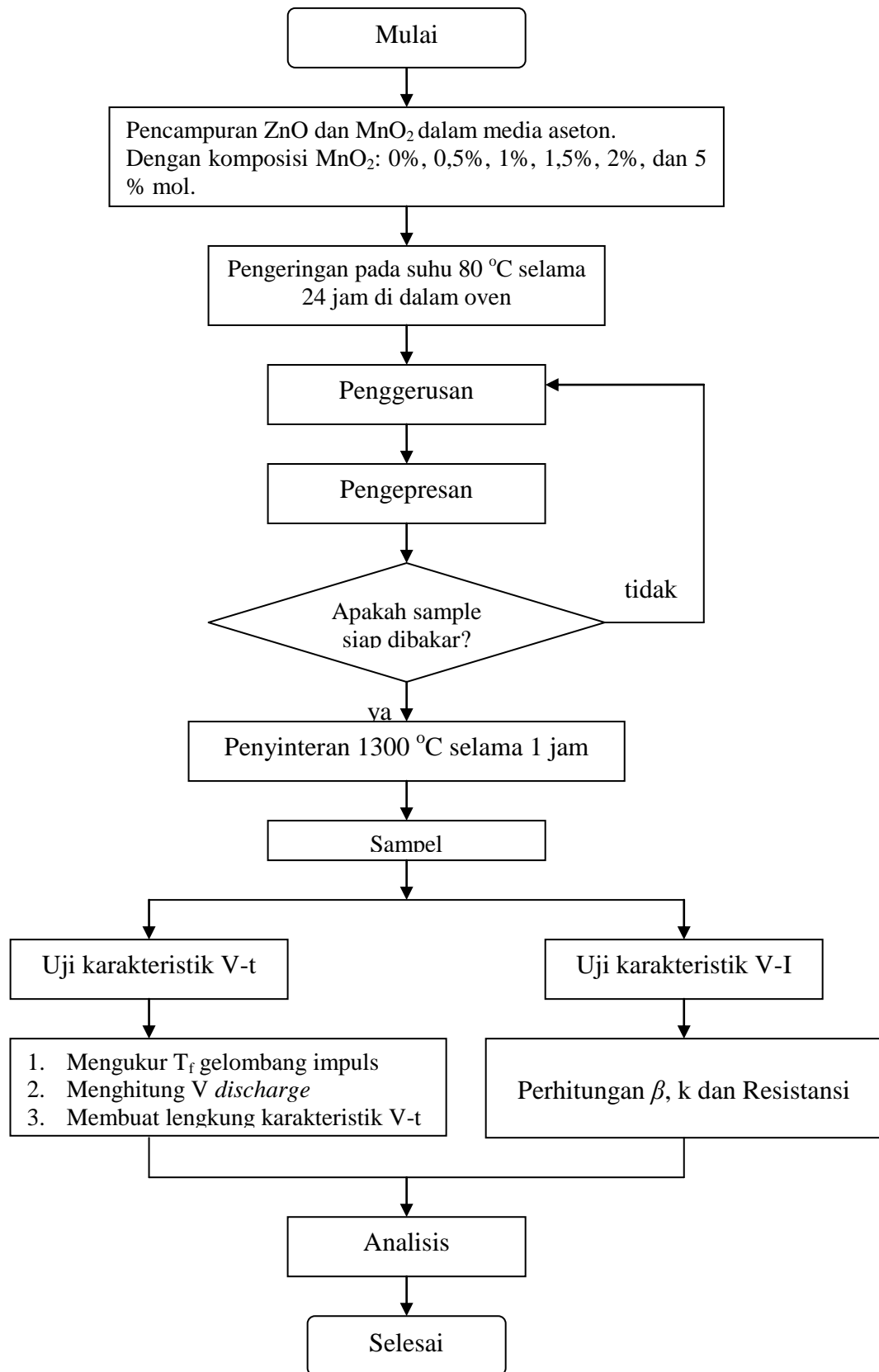
1. Data volt-waktu pengujian varistor menggunakan pembangkit tegangan tinggi impuls pada sampel varistor ZnO murni dan sampel varistor ZnO-MnO₂ dengan berbagai variasi konsentrasi campuran MnO₂.

2. Menganalisa hasil pengujian menggunakan pembangkit tegangan tinggi impuls dengan membandingkan hasil pengujian ZnO murni dan campuran ZnO-MnO₂
3. Membuat karakteristik V-t yang dihasilkan dari pengujian tegangan tinggi.
4. Data volt-arus pada pengukuran karakteristik varistor menggunakan rangkaian pengukuran tegangan bolak-balik.
5. Menganalisa hasil pengukuran volt-arus varistor ZnO murni dan Campuran ZnO-MnO₂.
6. Membuat karakteristik V-I berdasarkan data hasil pengukuran dan menganalisanya.

F. Diagram Alir Penelitian

Gambar dibawah ini menunjukkan diagram alir langkah penelitian. Proses awal dimulai dengan pencampuran ZnO dan MnO₂ dengan komposisi yang sudah ditentukan dalam media aseton. Pencampuran dilakukan menggunakan *hot plate* selama 4 jam. Setelah tercampur, proses selanjutnya yaitu pengeringan campuran dari aseton.

Pengeringan dilakukan menggunakan oven (*furnace*) dengan suhu 60 °C selama 24 jam. Apabila pada suhu tersebut campuran belum kering maka pengeringan dilanjutkan lagi pada suhu 80 °C . setelah campuran benar-benar kering, proses selanjutnya yaitu penggerusan menggunakan *mortar* selama 4 jam.



Gambar 22. Diagram alir percobaan

Setelah digerus campuran ditimbang sebanyak 1,5 gram untuk mendapatkan ketebalan $\pm 1,5$ mm. Proses selanjutnya yaitu pengepresan dengan tekanan 200 kg/cm^2 . jika ada sampel yang cacat maka dikumpulkan kembali sesuai dengan spesifikasinya dan digerus kembali selanjutnya dapat dicetak kembali. Pelet varistor mentah selanjutnya dibakar pada suhu $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu penahanan selama 2 jam. Selanjutnya varistor dapat diuji menggunakan pembangkit tegangan impuls untuk mengetahui karakteristik volt-waktu. Setelah itu, penelitian selesai dilakukan dan diakhiri dengan penulisan laporan.