

RANCANG BANGUN ALAT UJI TEGANGAN DADAL UNTUK MEDIA DIELEKTRIKUM ZAT CAIR

MUHAMMAD KHOIRI*, DJAZIMAN, RUDI FITRIADI*****

** Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008,DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715*

*** Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.488435, Faks 487824*

**** Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri-BATAN
Jl. Taman Sari No. 71
Bandung 40132 Jawa Barat
Telp. 022.2504898, Faks 2504081*

Abstrak

RANCANG BANGUN ALAT UJI TEGANGAN DADAL UNTUK MEDIA DIELEKTRIKUM ZAT CAIR. Telah dilakukan perancangan dan pembuatan alat uji tegangan dadal untuk media dielektrikum zat cair, dengan tujuan untuk melakukan rancang bangun suatu alat untuk pengujian isolator tegangan tinggi khususnya bahan cair seperti minyak trafo, sehingga dengan pengujian tersebut dapat diketahui kualitas suatu media/bahan isolator, mencari kekuatan dielektrikum, agar mampu dipakai secara efisien dan mampu memberi jaminan terhadap alat-alat listrik tegangan tinggi khususnya di laboratorium akselerator PTAPB-BATAN Yogyakarta. Sistem alat uji tegangan dadal dilengkapi dengan sistem kontrol perangkat uji, komponen utama untuk pembuatan alat uji tegangan dadal ini terdiri atas: sumber tegangan tinggi, kotak pengujian, rangkaian kontrol, dan monitor. Untuk mewujudkan alat tersebut dilakukan langkah-langkah antara lain: perancangan, pembuatan konstruksi, pembuatan rangkaian sistem, dan pengujian alat. Hasil pengujian alat yang dibuat tersebut berfungsi dengan baik, dan diperoleh suatu alat uji tegangan dadal untuk media dielektrikum zat cair sesuai dengan rancangan.

Kata kunci: dielektrikum, tegangan tinggi, tegangan dadal.

Abstract

DESIGN AND CONSTRUCTION OF BREAKDOWN VOLTAGE TEST APPLIANCE FOR THE MEDIA OF DIELEKTRIKUM LIQUID. Have been conducted scheme and appliance making test the breakdown voltage for the media of dielektrikum liquid, as a mean to conduct to design construct an appliance for the examination of isolator of high voltage specially liquid materials like transformer oil, so that with the examination knowable the quality of an insulant, searching strength dielektrikum and also technique data relate to breakdown voltage, so that can be weared efficiently and can give the guarantee to appliance of electrics of high voltage specially in laboratory of akselerator PTAPB-BATAN Yogyakarta. Appliance system test the breakdown voltage provided with by the control systems of the peripheral test, special component for the making of appliance test this breakdown voltage is consisted of: source of high voltage, examination box, network control, and monitor. To realize the the appliance conducted by a the following stages; steps: scheme, construction making, making of system network, and appliance examination. Result of appliance examination made the function better, and obtained by an appliance test the breakdown voltage for the media of dielektrikum liquid as according to device.

Keywords: dielektrikum, high voltage, breakdown voltage

PENDAHULUAN

Penggunaan tegangan tinggi di laboratorium akselerator, misalnya sumber tegangan tinggi untuk system pemercepat, trafo RF (transformator frekuensi radio), trafo tegangan tinggi untuk sumber daya anoda dan lain-lain merupakan hal yang perlu diperhatikan, terutama kemungkinan terjadinya arus lucutan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan. Terkait dengan hal tersebut diperlukan adanya bahan/media isolator yang dapat mencegah terjadinya arus lucutan, adapun jenis media isolator tersebut dapat dalam bentuk cair seperti minyak maupun gas seperti SF₆, nitrogen atau campuran beberapa gas tertentu. Dalam hal ini akan dikaitkan dengan peralatan-peralatan yang menggunakan bahan isolator jenis minyak trafo dengan maksud mengupayakan agar keefektifan pemakaian minyak trafo tersebut lebih terjamin kondisinya, untuk itu diperlukan pengujian daya isolator atau kuat dielektrikunya. Daya isolator tersebut di indikasikan dengan harga ketahanannya menahan tegangan pada jarak tertentu hingga terjadi lucutan atau tegangan dadal.

Dalam pengujian daya isolator tersebut maka yang perlu diperhatikan diantaranya adalah bentuk konfigurasi system alat uji tegangan dadal serta bagaimana variasi jarak sela elektroda pada saat pengujian.

Tujuan melakukan rancang bangun suatu alat untuk pengujian isolator tegangan tinggi khususnya bahan cair seperti minyak trafo, sehingga dengan pengujian tersebut dapat diketahui kualitas suatu media/bahan isolator

LANDASAN TEORI

Tegangan dadal adalah suatu tegangan yang mampu menembus kekuatan dielektrikum isolator dari suatu bahan isolator. Sehingga apabila sebuah peralatan listrik dikenakan tegangan tinggi yang dinaikkan terus-menerus, maka pada suatu saat isolator alat tersebut akan mengalami pelepasan muatan/*discharge* (Arismunandar, A, 1984). Dalam hal demikian isolator tersebut mengalami kegagalan dielektriknya, kegagalan ini menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus.

Daya delektrikum minyak trafo akan selalu berubah dengan adanya perubahan suhu dan akan lebih cepat rusak apabila teroksidasi

oleh udara (Arismunandar, A, 1984). Oleh karena itu daya dielektrikum minyak trafo harus selalu dipantau/diuji secara berkala untuk menjaga agar supaya tetap dalam kondisi yang memenuhi syarat.

Sumber Tegangan Tinggi DC

Sumber tegangan tinggi DC (arus searah), dalam hal ini 50 kV yang diperlukan dalam perangkat uji tegangan dadal ini seperti terlihat dalam diagram Gambar 1 terdiri atas transformator dan penyearah, transformator tersebut dicatu oleh suatu variak untuk memperoleh pengaturan tegangan.

Sumber tegangan tinggi dilengkapi dengan rangkaian pelipat tegangan, yang terdiri atas susunan seri dua buah rangkaian pengganda tegangan, sehingga keluaran yang diperoleh adalah :

$$V_o = 2n V_m \quad (1)$$

dengan :

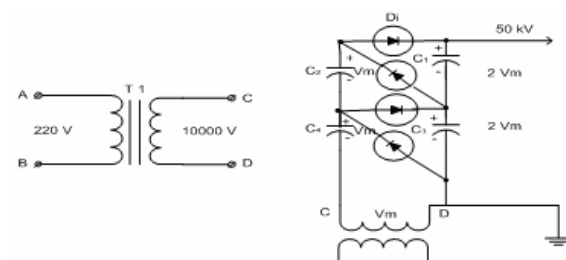
V_o = tegangan keluaran ($V_o = 4 V_m$)

n = jumlah pengganda tegangan yang tersusun seri ($n = 2$)

V_m = tegangan puncak dari tegangan masukan dari trafo

Rangkaian pengganda tegangan terdiri dari:

- Kapasitor = 50 kV/0,015 μ f
- Penyearah = 50 kV/1 A, terdiri atas sejumlah dioda IN4007 (kapasitas dioda IN4007 adalah 1000 V/1 A). Sehingga jumlah dioda tiap unit penyearah masing-masing 50 buah.



Gambar 1. Rangkaian Sumber Tegangan Tinggi

Keterangan

T_1 = trafo tegangan tinggi,

C = kapasitor,

D = dioda,

V_m = teg. masukan pelipat tegangan

Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol terdiri dari beberapa komponen meliputi rangkaian elektronik, saklar atau *switch*, kontaktor dan relai. Rangkaian kontrol berfungsi melaksanakan hubungan daya listrik dari system alat uji ini dan berfungsi sebagai pengaman. Fungsi pengaman merupakan porsi tugas dari rankaian elektronik untuk segera mematikan STT bila terjadi tegangan dadal agar arus lucutan yang timbul tidak merusak komponen-komponen alat.

Rangkaian elektronik tersebut pada prinsipnya adalah penguat (*amplifier*) yang menguatkan sinyal dari transduser arus lucutan untuk menggerakkan relai keluaran guna mematikan STT bila terjadi tegangan dadal, komponen-komponen utamanya terdiri dari :

Op-amp jenis LM311

Kompnen ini berfungsi sebagai pembanding, konfigurasi rangkaiannya ditunjukkan dalam Gambar 2, Faktor penguatannya :

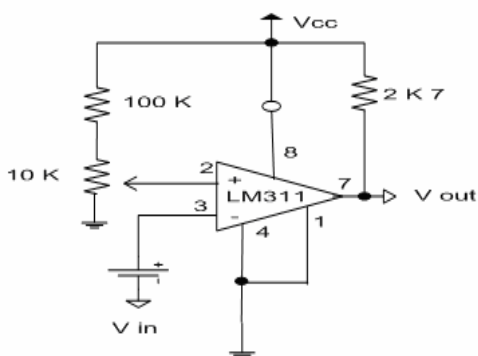
$$-A_v = R_f / R_{in} \quad (2)$$

Keluarannya adalah :

$$V_{out} = - A_v \cdot V_i \quad (3)$$

dengan:

- A_v = penguatan tegangan
- R_f = tahanan umpan balik
- R_{in} = tahanan masukan
- V_{out} = tegangan keluaran
- V_i = tegangan masukan pembalik

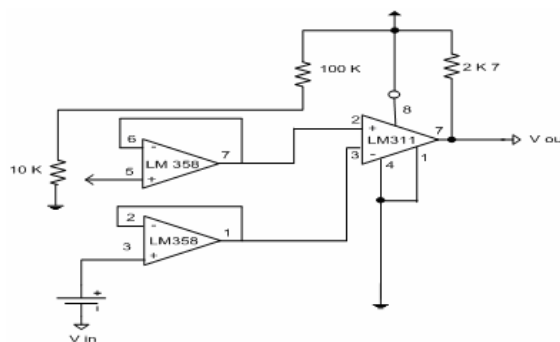


Gambar 2. Rangkaian Penguat Membalik

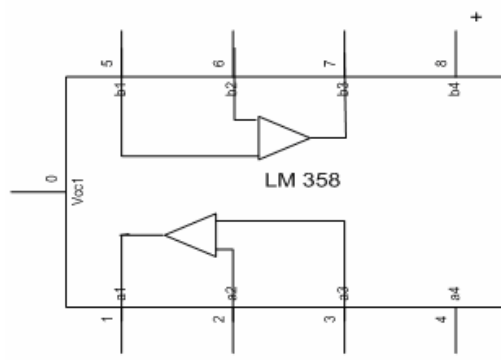
Op-amp jenis LM358 :

Berfungsi sebagai penguat penyangga untuk memperoleh peningkatan daya sinyal masukan sehingga diperoleh sinyal cukup kuat untuk mendorong penguat berikutnya. LM358

cukup sederhana yaitu 1 chip memuat 2 op-amp dan tidak memerlukan offset.



Gambar 3. Skema Rangkaian Buffer



Gambar 4. Posisi Kaki-Kaki IC LM358

Isolator

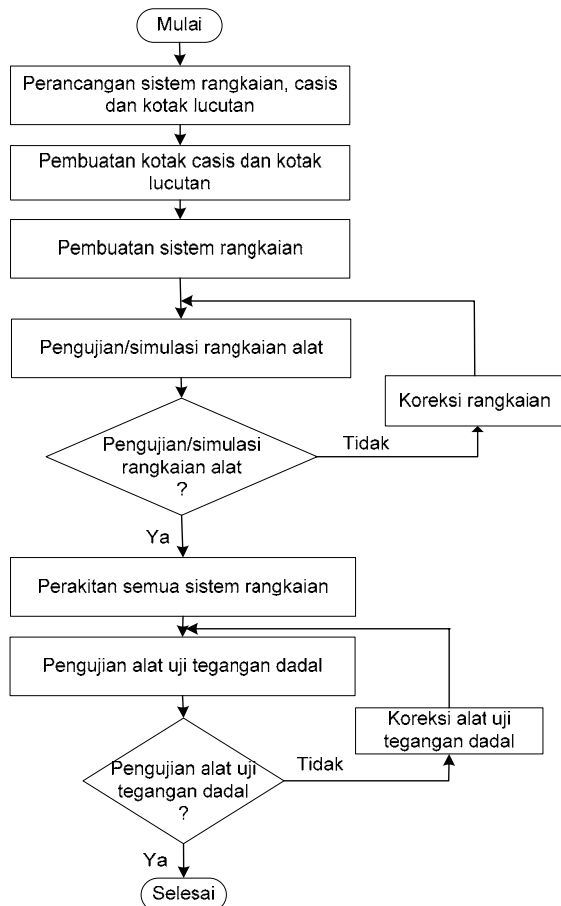
- a. Karakteristik isolator yaitu mempunyai kekuatan dielektrikum.
- b. Tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan /tekanan (*stress*) yang harus dilawan didalam isolator agar isolator tidak terjadi kegagalan (dadal). Gaya perlawanan ini adalah ukuran kuat dielektrikum dari pada isolator.
- c. Untuk menembus dielektrikum dan menghasilkan arus lucutan diperlukan tegangan yang tinggi untuk memutus ikatan elektron.

METODE PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

Tata cara perancangan dan pembuatan alat uji tegangan dadal untuk media dielektrikum zat cair tersusun dalam alur kegiatan yang disajikan pada Gambar 5, sedangkan hal-hal yang diperhitungkan dalam perancangan dalam perancangan dan pembuatan alat uji tegangan dadal ini yaitu :

1. Rancangan sistem
2. Pembuatan rangkaian kontrol

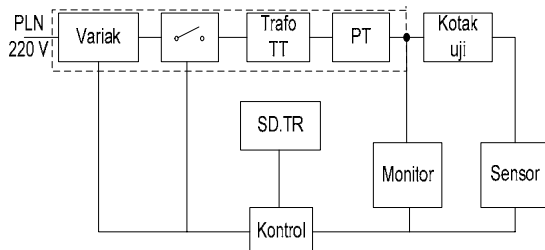
3. Pembuatan casis
4. Pembuatan kotak lucutan
5. Perakitan
6. Pengujian :
 - a. Uji fungsi rangkaian kontrol
 - b. Uji fungsi sistem dengan tegangan dadal



Gambar 5. Blok Diagram Alir Penelitian

Rangkaian Sistem

Secara garis besar konfigurasi rancangan rangkaian kontrol ditunjukkan dalam diagram blok pada Gambar 5 dan rangkaian detailnya ditunjukkan dalam Gambar 6.

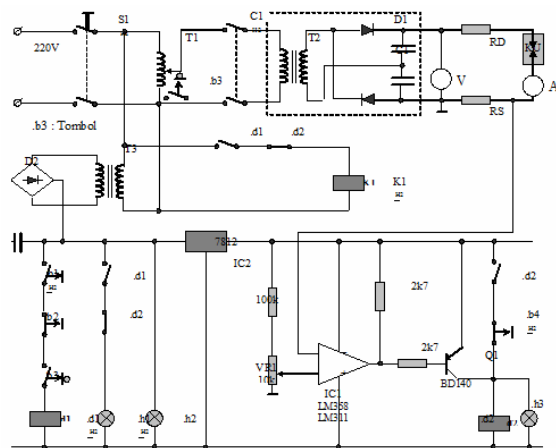


Gambar 6. Diagram Blok Sistem Rangkaian Alat Uji Tegangan Dadal

Prinsip Kerja Alat Uji Tegangan Dadal

Mengacu pada Gambar 6 dan 7, sistem dari rangkaian alat uji tegangan dadal pada prinsipnya dapat dirinci menjadi 6 bagian yaitu:

- a. Sumber tegangan tinggi (STT), dengan kapasitas tegangan 220V/50.000V, terdiri dari trafo tegangan tinggi (TT) dan rangkaian pelipat tegangan, berfungsi sebagai pembangkit tegangan tinggi untuk dikenakan pada benda uji.
- b. Rangkaian kontrol, terdiri dari rangkaian elektronik, saklar atau *switch*, relai dan kontaktor, berfungsi untuk melaksanakan hubungan daya listrik dan pengamanan.
- c. Sumber daya tegangan rendah (TR), terdiri dari trafo TR 220V/12V dan rangkaian penyearah TR, berfungsi untuk mencatu rangkaian kontrol.
- d. Variak 1 fase 500 VA, berfungsi untuk mencatu dan mengatur keluaran STT.
- e. Kotak pengujian, terdiri dari kotak tempat cuplikan dan sepasang electrode berujung setengah bola, berfungsi untuk membentuk *gap* atau sela electrode sebagai tempat untuk terjadinya lucutan akibat tegangan dadal.
- f. Monitor, terdiri dari meter tegangan TT dan meter arus lucutan serta tahanan peredam, berfungsi untuk memantau tegangan TT yang dicapai dan arus lucutan yang mungkin terjadi.



Gambar 7. Diagram Sistem Rangkaian Alat Uji Tegangan Dadal

Keterangan

- T1 : Variak 0-240 V
- T2 : Trafo TT. 220V/7500V
- T3 : Trafo adaptor 220V/12V
- IC1 : Penguat (LM358, LM311)
- Q1 : transistor BD140

S1 : Saklar daya
K1 : Kontaktor SN12
D1 : Diode pelipat tegangan 50 kV
C1 : Kapasitor pelipat tegangan 0,015 uF/50kV
D2 : Penyearah jembatan
IC2 : Pengatur tegangan LM7812
KU : Kotak pengujian (kotak lucutan)
VR1: Potensiometer 10k
d1 : Relai untuk STT hidup 12V/14 pin
d2 : Relai keluaran 12V/14 pin
b1 : Tombol hidup (“ON”)
b2 : Tombol mati (“OFF”)
b3 : Limit switch “variaik minimal”
b4 : Tombol reset
h1 : Lampu tanda “sumber daya”
h2 : Lampu tanda “STT hidup”
h3 : Lampu tanda “reset”
V : Meter tegangan
A : Meter arus
RD : Tahanan peredam 500 M
RS : Tahanan sensor 120 k

Secara garis besar prinsip kerja alat uji ini dapat dikemukakan sebagai berikut: Tegangan tinggi dari STT secara bertahap dikenakan pada electrode dengan jarak *gap* tertentu yang berada di dalam cuplikan yaitu minyak isolator. Bila pada suatu harga tegangan tertentu yang dikenakan dielektrikum minyak tidak tahan maka akan terjadi dadal atau arus lucutan. Pada saat terjadi lucutan tersebut rangkaian kontrol akan bekerja memutuskan catu daya listrik melalui kontaktor pada sisi primer trafo TT. Kuat dielektrikum cuplikan dapat diidentifikasi dengan membagi tegangan TT yang dapat dicapai dengan jarak *gap* elektroda.

Adapun langkah-langkah pengoperasian alat uji dengan merunut Gambar 7 adalah sebagai berikut:

1. Cuplikan dan *gap* electrode telah disiapkan dan diset di dalam kotak pengujian.
2. Saklar daya S1 dihidupkan untuk menghubungkan alat dengan sumber daya listrik, lampu tanda h1 menyala jika daya listrik telah masuk.
3. STT dihidupkan dengan cara menekan tombol b1, STT dapat hidup melalui kontaktor C1 jika kondisi variaik pada posisi minimal atau *limit-switch* b3 tertutup, lampu tanda h2 menyala jika STT telah tercatu.

4. Variaik dinaikan bertahap untuk memperoleh kenaikan tegangan tinggi STT secara bertahap, dengan kenaikan sekitar 2,5 kV dan tempo sekitar 5 detik per tahap. Pengamatan tegangan dan arus dilakukan pada setiap tahapnya hingga dicapai tegangan dadal. Jika terjadi tegangan dadal lampu tanda h3 menyala dan kontaktor C1 lepas hubungan, kondisi tersebut tertahan hingga tombol reset b4 ditekan.
5. Untuk memulai menghidupkan alat uji lagi, variaik T1 harus diset ke posisi minimal terlebih dulu.

Nilai Tahanan Peredam

Tahanan peredam berfungsi untuk membatasi besarnya arus lucutan bila terjadi tegangan dadal agar aman bagi komponen STT. Nilai tahanan peredam ditentukan berdasarkan besar arus lucutan yang diijinkan yang dapat sama dengan jangkau ukur dari meter arus yang digunakan dan tegangan yang dikenakan.

$$R_d = V_{STT}/I \quad (4)$$

- R_d : tahanan peredam (Ohm)
V_{STT}: tegangan tinggi yang dikenakan (50 kVolt)
I : arus lucutan yang diijinkan atau jangkau ukur meter arus (100 uA).

Maka nilai tahanan peredam

$$R_d = 50.10^3 \text{ V}/(100.10^{-6}) = 500 \text{ MOhm.}$$

Dengan nilai tahanan tersebut maka arus lucutan terbesar yang terjadi adalah 100 uA untuk tegangan maksimum 50 kV, sehingga aman baik bagi meter arus yang digunakan maupun kaitannya dengan kapasitas STT itu sendiri.

Nilai Tahanan Sensor

Tahanan sensor berfungsi sebagai transduser untuk mengubah arus lucutan menjadi tegangan, tegangan tersebut selanjutnya diperkuat untuk menggerakkan relai keluaran (d2 dalam Gambar 3) dan bekerjanya relai keluaran adalah untuk mematikan STT.

Besarnya tahanan sensor ditentukan berdasarkan kebutuhan tegangan masukan penguat dan arus lucutan.

$$R_s = V_b/I \quad (5)$$

R_s : tahanan sensor (Ohm)
 V_b : tegangan masukan penguat (12 Volt)
 I : arus lucutan yang diijinkan atau jangkau ukur meter arus (100 uA).

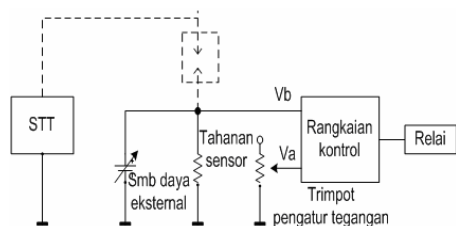
Maka nilai tahanan sensor

$$R_s = 12 \text{ V}/(100 \cdot 10^{-6}) = 120 \text{ kOhm}$$

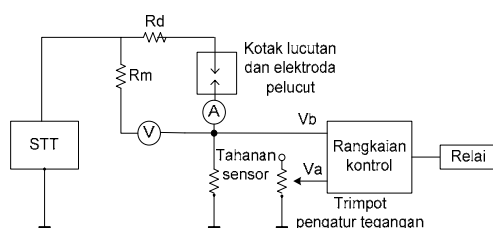
CARA PENGUJIAN

Pengujian dilakukan melalui dua tahapan yaitu uji fungsi dan pengujian alat menggunakan cuplikan. Uji fungsi dimaksudkan untuk mengetahui kinerja alat, dilakukan dengan cara simulasi yaitu merangsang alat dengan masukan tegangan simulasi yang berasal dari suatu sumber eksternal, sedangkan pengujian menggunakan cuplikan untuk mengetahui aplikasi alat tersebut dengan obyek yang sebenarnya.

Diagam rangkaian sistem untuk melaksanakan uji fungsi sistem kontrol secara simulasi ditunjukkan dalam Gambar 8. Menurut Gambar 8, pengujian dilakukan dengan cara mengenakan tegangan eksternal pada tahanan sensor R_s sebagai masukan pembalik V_b pada penguat, sementara tegangan acuan pada trimpot VR diatur pada suatu harga sebagai masukan tak membalik V_a . tegangan V_b dinaikan hingga relai keluaran bekerja. Dengan membuat variasi tegangan V_a dan pada setiap tahap perubahan diikuti dengan mengatur tegangan V_b sehingga relai keluaran bekerja, akan diperoleh data pengujian simulasi alat.



Gambar 8. Skema Pengujian Alat Secara Simulasi Menggunakan Sumber Daya Eksternal



Gambar 9. Skema Pengujian Alat Uji Tegangan Dadal Secara Lengkap

Pada pengujian menggunakan cuplikan pelaksanaannya dilakukan menurut skema dalam Gambar 9, adapun langkahnya sejalan dengan tata langkah yang telah diuraikan berdasarkan rangkaian sistem dalam Gambar 7 dan Gambar 8 terdahulu. Dalam hal ini dilakukan beberapa pengaturan jarak sela elektroda untuk memperoleh data hubungan jarak sela elektroda dengan tegangan dadal, percobaan dilakukan terhadap cuplikan minyak trafo dan minyak lumas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Alat Secara Simulasi Menggunakan Tegangan Masukan Dari Sumber Eksternal.

NO	Tegangan acuan (V_a) (Volt)	Tegangan cuplikan (V_b) (Volt)	Status Relai keluaran
1	0,50	0,51	Bekerja
2	1,00	1,01	Bekerja
3	1,50	1,51	Bekerja
4	2,00	2,02	Bekerja
5	2,50	2,52	Bekerja
6	3,00	3,01	Bekerja
7	3,50	3,50	Bekerja
8	4,00	4,02	Bekerja
9	4,50	4,51	Bekerja
10	5,00	5,01	Bekerja
11	5,50	5,52	Bekerja
12	6,00	6,00	Bekerja
13	7,00	7,00	Bekerja

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Media Zat Cair Minyak Dengan Elektroda Setengah Bola

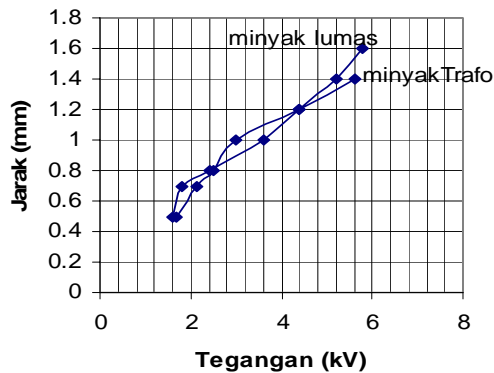
No.	Jarak sela elektrode (mm)	Tegangan dadal (kV)	Arus lucutan (<i>discharge</i>) (mA)
1	0,5	1,7	1,6
2	0,7	2,15	2,1
3	0,8	2,5	2,4
4	1	3	2,9
5	1,2	4,4	4,3
6	1,4	5,6	5,5

Keterangan : Minyak trafo merk DIALA-B dengan elektroda setengah bola diameter 8 mm pada kondisi minyak dengan suhu 29,5°C dan kelembaban udara 74 %

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Alat Menggunakan Bahan Media Zat Cair Minyak Lumas Dengan Elektroda Setengah Bola

No.	Jarak sela elektrode (mm)	Tegangan dadal (kV)	Arus lucutan (<i>discharge</i>) (mA)
1	0,5	1,6	1,5
2	0,7	1,8	1,7
3	0,8	2,4	2,3
4	1	3,6	3,5
5	1,2	4,4	4,3
6	1,4	5,2	5,1
7	1,6	5,8	5,7

Keterangan :Minyak lumas MESRAN SAE 20 dengan elektroda setengah bola diameter 8 mm pada kondisi minyak dengan suhu 28,5° C dan kelembaban udara 79 %



Gambar 8. Grafik Hubungan Jarak Sela Electrode Dan Tegangan Dadal Berdasarkan Tabel 2 Dan Tabel 3 Pada Pengujian Alat Dengan Cuplikan Minyak Trafo dan Minyak Lumas

Dari hasil pengujian seperti pada tabel dan grafik menunjukkan bahwa posisi jarak sela elektroda sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dibutuhkan untuk sampai terjadi tegangan dadal.

Untuk hasil perancangan dan pembuatan disajikan pada Lampiran 1.

KESIMPULAN

Dapat diselesaikan suatu rancangan sistem rangkaian, rancangan untuk pembuatan kotak casis dan kotak lucutan, pembuatan rangkaian komponen-komponen sistem alat uji tegangan dadal untuk media dielektrikum zat cair, yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam tahapan pembuatan konstruksi rangkaian yang sebenarnya. Rangkaian kontrol yang

digunakan berbasis op-amp dengan komponen utama LM311.

Berdasarkan rancang bangun alat ini memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut:

1. Kapasitas tegangan tinggi : 50 kV.
2. Penggunaan bahan media isolator : Minyak atau cairan.
3. Elektroda pelucut : Bentuk setengah bola dengan diameter 8 mm.
4. Sela elektroda bola : Dapat diatur sampai dengan maksimal 5 mm.

SARAN

Alat yang dirancang dan dibuat, pada elektroda pelucut masih perlu penyempurnaan agar memudahkan variasi penyetelan jarak sela elektroda dilakukan tanpa mengeluarkan elektroda pelucut dari kotak lucutan yaitu dengan membuat ukuran penunjuk diluar kotak lucutan, disamping mudah dilakukan perubahan jarak sela elektroda juga ukuran yang dikehendaki akan lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

1. ALBERT PAUL MALVINO, 1985, *Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor*, PT. Gelora Aksara Pratama, Erlangga, Jakarta.
2. ARISMUNANDAR ARTONO, 1984, "Teknik Tegangan Tinggi", Guru Besar mata kuliah Teknik Tegangan Tinggi, Universitas Indonesia di Jakarta.
3. GRAAGS, J.D., and MEEK, J.M., 1953, *High Voltage Laboratori Technique*, Butterworths, Ltd., London.
4. HUGHES FREDRICK W., 1990, *Panduan OP-AMP*, PT Gramedia Jakarta
5. ROBERT F. COUGHLIN., FREDERERIK F. DRISCOLL., 1982, *Penguat operasional dan rangkaian terpadu*, Institut Teknologi Wentworth, PT. Gelora Aksara Pratama, Erlangga, Jakarta.
6. ZUHAL, 1988, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, PT Gramedia, Jakarta

LAMPIRAN 1



Gambar 10. Perangkat Alat Uji Tegangan Dadal
Untuk Media Dielektrikum Zat Cair