

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN PENCETUS
SEISMIK**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

CHRISYULIUS ANGGA BUDIWAN

NIM. 0510632005

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2009**

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN PENCETUS SEISMIK

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

CHRISYULIUS ANGGA BUDIWAN
NIM. 0510632005

Telah diperiksa dan disetujui oleh
DOSEN PEMBIMBING:

Drs. Ir. Moch.Dhofir, MT
NIP. 19600701 199002 1 001

Ir. Chairuzzaini
NIP. 19500627 197803 1 001

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN PENCETUS SEISMIK

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

CHRISYULIUS ANGGA BUDIWAN
NIM. 0510632005

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 7 Agustus 2009

DOSEN PENGUJI

Ir. Soeprapto, MT
NIP. 19561020 198903 1 001

Ir. Hari Santoso, MS
NIP. 19531205 198503 1 001

Ir. Teguh Utomo, MT
NIP. 19650913 199103 1 003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 19650402 199002 1 001

PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah menyertakan berkat dan kasih-Nya, sehingga skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengaman Pencetus Seismik” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Untuk itu diucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Rudy Yuwono, ST., MSc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, perhatian, waktu, masukan serta nasehatnya.
4. Bapak Ir. Chairuzzaini selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, perhatian, waktu, masukan serta nasehatnya.
5. Bapak M. Endry Lestari selaku koordinator Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi.
6. Papa dan Mamaku yang terkasih atas segala bentuk cinta kasihnya kepadaku yang terwujud dalam bentuk materiil, doa dan semuanya.
7. Rekan-rekan asisten Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu disini sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca terutama mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang. Kritik dan saran sangat diperlukan untuk penyempurnaan skripsi ini.

Malang, 7 Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
ABSTRAK	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Tujuan.....	2
1.6. Manfaat.....	2
1.7. Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Petir	4
2.2 Tegangan Lebih Pada Pencetus Seismik.....	4
2.3 Sistem Pengaman Pada Pencetus Seismik	6
2.4 Penempatan Elektroda Pengaman	7
2.5 Pengaruh Jumlah Elektroda Terhadap Probabilitas Tembus.....	9
2.6 Pencetus.....	10
2.7 Mekanisme Peledakan Pencetus Seismik.....	11
2.8 Pemasangan Pencetus Seismik.....	12
2.9 Penyimpan Energi Kapasitif.....	13
2.10 Pembangkitan dan Pengukuran Tegangan Impuls	14
2.11 Kurva tegangan waktu (V-t curve).....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Studi Literatur	17
3.2 Data Perancangan.....	17
3.3 Perancangan dan Elektroda Pengaman	17



3.4	Pengujian Pencetus Seismik.....	19
3.4.1	Tempat dan Waktu Pengujian	19
3.4.2	Benda Uji.....	19
3.4.3	Peralatan Uji.....	19
3.4.4	Model Rangkaian Pengujian	20
3.4.5	Analisis Data Pengujian	20
3.5	Penarikan Kesimpulan dan saran	20
3.6	Diagram Alir Penelitian	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		22
4.1	Energi Penyalaan	22
4.2	Pembangkitan Tegangan Impuls.....	23
4.3	Pengujian Pencetus Seismik	25
4.4	Lokasi Penempatan Elektroda Pengaman	29
4.4.1	Elektroda Pengaman Tipe A	30
4.4.2	Elektroda Pengaman Tipe B.....	31
4.4.3	Elektroda Pengaman Tipe C.....	33
4.5	Kurva Tegangan-Waktu (V-t curve).....	35
4.5.1	Kurva Tegangan-Waktu Sistem Pengaman Rancangan Awal	35
4.5.2	Kurva Tegangan-Waktu Elektroda Pengaman Tipe A.....	36
4.5.3	Kurva Tegangan-Waktu Elektroda Pengaman Tipe B	37
4.5.4	Kurva Tegangan-Waktu Elektroda Pengaman Tipe C.....	37
BAB V PENUTUP		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....		40
LAMPIRAN		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sambaran petir pada eksplorasi seismik	4
Gambar 2.2	Pencetus seismik tanpa sistem pengaman	5
Gambar 2.3	Elektroda pengaman pada pencetus seismik	6
Gambar 2.4	Kinerja elektroda pengaman pada pencetus	7
Gambar 2.5	Penentuan kisar proteksi suatu arester surja pada penerapan gelombang berbentuk baji	8
Gambar 2.6	Pemasangan elektroda pengaman yang disusun paralel	10
Gambar 2.7	Pencetus seismik listrik	11
Gambar 2.8	Peledakan pencetus seismik	11
Gambar 2.9	Pemasangan pencetus seismik dalam tanah	12
Gambar 2.10	Formasi pemasangan pencetus seismik	13
Gambar 2.11	Bentuk umum gelombang impuls	14
Gambar 2.12	Rangkaian b untuk pembangkitan tegangan impuls	15
Gambar 2.13	Karakteristik lengkung tegangan-waktu	16
Gambar 3.1	Konstruksi elektroda pengaman A	18
Gambar 3.2	Konstruksi elektroda pengaman B	18
Gambar 3.3	Konstruksi elektroda pengaman C	18
Gambar 3.4	Pengujian pencetus seismik dalam tong peredam yang diisi tanah pasir	20
Gambar 3.5	Diagram alir penyelesaian skripsi	21
Gambar 4.1	Karakteristik potong alat pengaman dengan tegangan uji 70 kV	28
Gambar 4.2	Karakteristik kurva tegangan-waktu sistem pengaman rancangan awal	36
Gambar 4.3	Karakteristik kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe A	36
Gambar 4.4	Karakteristik kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe B	37
Gambar 4.5	Karakteristik kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe C	38



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Pencetus seismik tanpa sistem pengaman.....	22
Tabel 4.2	Energi hasil pemotongan pada elektroda pengaman	23
Tabel 4.3	Puncak tegangan impuls	25
Tabel 4.4	Pengujian pengaman rancangan awal.....	26
Tabel 4.5	Pengujian elektroda pengaman tipe A	26
Tabel 4.6	Pengujian elektroda pengaman tipe B	27
Tabel 4.7	Pengujian elektroda pengaman tipe C	28
Tabel 4.8	Hasil perhitungan kemiringan gelombang pada elektroda pengaman tipe A.....	30
Tabel 4.9	Hasil perhitungan tegangan impuls pada elektroda pengaman tipe A...	31
Tabel 4.10	Hasil perhitungan kemiringan gelombang pada elektroda pengaman tipe B.....	32
Tabel 4.11	Hasil perhitungan tegangan impuls pada elektroda pengaman tipe B...	33
Tabel 4.12	Hasil perhitungan kemiringan gelombang pada elektroda pengaman tipe C.....	34
Tabel 4.13	Hasil perhitungan tegangan impuls pada elektroda pengaman tipe C...	35



ABSTRAK

CHRISYULIUS ANGGA BUDIWAN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, 7 Agustus 2009, *Rancang Bangun Sistem Pengaman Pencetus Seismik*, Dosen Pembimbing : Moch. Dhofir dan Chairuzzaini

Metode seismik merupakan metode geofisika aktif karena dalam proses melakukan eksplorasi digunakan sumber getaran buatan. Sumber getaran buatan dapat dihasilkan dari peledakan *main charge* yang dipicu oleh pencetus seismik. Pencetus seismik adalah alat peledak aktif yang berfungsi sebagai pemicu ledakan bagi *main charge*.

Pada saat pemasangan pencetus seismik di daerah eksplorasi dapat terjadi penyalaan sendiri yang disebabkan oleh sambaran petir tidak langsung atau induksi. Akibatnya aktifitas eksplorasi yang sudah direncanakan menjadi terganggu dan juga dapat membahayakan manusia yang berada disekitar area eksplorasi. Untuk itu dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan dan pembuatan sistem pengaman untuk pencetus seismik.

Perancangan sistem pengaman ini mengacu pada konstruksi pencetus seismik hasil rancangan awal dari Perusahaan pembuat pencetus seismik yang kemudian dimodifikasi dengan memasang elektroda pengaman. Elektroda pengaman dipasang sebelum filamen yang terhubung dengan peledak utamanya. Ada dua rancangan utama, yang pertama dengan satu elektroda pengaman dan yang kedua dengan dua elektroda pengaman yang dipasang secara paralel. Untuk pemasangan satu elektroda pengaman akan dikaji tentang pengaruh titik letak elektroda sepanjang ruang yang tersedia dalam pencetus seismik yaitu sebesar 10 mm.

Dari hasil pengujian pada tegangan uji tertinggi yaitu 70 kV diperoleh nilai pemotongan tegangan impuls dan waktu pemotongannya. Untuk elektroda pengaman tipe A tegangan potongnya 9,8 kV dengan waktu pemotongannya 47,5 ns. Kemudian untuk elektroda pengaman tipe B tegangan potongnya 9,6 kV dengan waktu pemotongannya 46,4 ns. Dan yang terakhir untuk elektroda pengaman tipe C tegangan potongnya 7,6 kV dengan waktu pemotongannya 36,1 ns. Berdasarkan hasil pengujian elektroda pengaman tipe C memiliki kinerja yang lebih baik daripada elektroda pengaman pada tipe A dan tipe B karena tegangan potongnya lebih kecil dan waktu pemotongannya lebih singkat. Ditinjau dari karakteristik kurva tegangan-waktu (*v-t curve*) rancangan sistem pengaman dengan dua elektroda paralel mempunyai kemiringan tegangan potong dari gelombang impuls yang lebih datar dibandingkan rancangan dengan satu elektroda. Dengan demikian rancangan sistem pengaman dengan dua elektroda paralel lebih baik dipasang untuk sistem pengaman pencetus seismik.

Kata kunci : Pencetus seismik, Elektroda Pengaman, Kurva tegangan-waktu (*v-t curve*).

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam dunia pertambangan para ahli geofisika selama ini menggunakan metode seismik untuk melakukan eksplorasi minyak bumi, gas alam, batubara, pencarian air tanah (*ground water*) dan pemetaan struktur geologi dibawah permukaan bumi. Metode seismik ini merupakan metode geofisika aktif karena dalam proses melakukan eksplorasi digunakan sumber getaran buatan. Sumber getaran buatan dalam metode seismik dapat dihasilkan dari peledakan *main charge* yang dipicu oleh pencetus seismik. Pencetus seismik adalah alat peledak aktif yang berfungsi sebagai pemicu ledakan bagi *main charge*.

Dalam aplikasinya pencetus seismik ini ditanam dalam lubang dengan kedalaman tertentu pada area eksplorasi yang luas. Setelah proses penanaman selesai pencetus seismik dapat dihubungkan ke alat pemicu utamanya. Dari setiap pencetus seismik ke alat pemicu utamanya dihubungkan dengan kabel yang panjangnya hingga mencapai ratusan meter. Mengingat di Indonesia memiliki jumlah hari guruh yang relatif tinggi yaitu berada pada angka 70 hingga 200 hari per tahun dengan kerapatan sambaran petir ke tanah sampai 25 sambaran/km², sehingga membuat alat ini sangat rentan terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir tidak langsung atau induksi. Akibat yang ditimbulkan pada alat ini adalah terjadinya penyalan sendiri yang tidak dikehendaki sehingga akan mengganggu aktifitas eksplorasi yang sudah direncanakan dan juga dapat membahayakan manusia yang berada disekitar area yang dieksplorasi. Mengingat besarnya bahaya yang ditimbulkan, maka perlu dirancang suatu sistem pengaman untuk pencetus seismik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas rumusan masalah dalam skripsi ini adalah :

1. Bagaimana rancang bangun sistem pengaman pencetus seismik yang memenuhi persyaratan keamanan.
2. Bagaimana karakteristik kurva tegangan-waktu sistem pengaman pencetus seismik.

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pembahasan dalam skripsi ini adalah :

1. Perancangan konstruksi sistem pengaman untuk pencetus seismik.
2. Pembuatan sistem pengaman.
3. Pengujian sistem pengaman.
4. Perbaikan sistem pengaman berdasarkan hasil pengujian.
5. Penentuan karakteristik kurva tegangan-waktu sistem pengaman.

1.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan konstruksi dasar pencetus seismik.
2. Bahan elektroda pengaman dari plat tembaga yang ada dipasaran memiliki panjang 6.5 mm dan lebar 3.0 mm dengan ketebalan 0.3 mm..
3. Pengujian dengan tegangan impuls 1,2/50 μ s dengan variasi tegangan 15 kV hingga 70 kV.
4. Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

1.5. Tujuan

Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah merancang dan merealisasikan konstruksi sistem pengaman pada pencetus seismik.

1.6. Manfaat

Manfaat dari penyusunan skripsi ini adalah memberikan suatu bentuk alternatif atau pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan teknologi sistem pengaman pada pencetus seismik.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun dengan urutan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSAKA

Membahas tentang bahaya sambaran petir terhadap pemasangan instalasi pencetus seismik, sistem pengaman pada pencetus seismik, pembangkitan dan pengukuran tegangan impuls petir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam pengambilan data, prosedur dalam pengujian serta metode analisis data hasil pengujian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi data hasil pengujian kinerja elektroda pengaman pada pencetus seismik dengan tegangan uji impuls. Membandingkan kinerja elektroda pengaman tipe A, tipe B dan tipe C. Membandingkan bentuk kurva tegangan-waktu tiap-tiap elektroda pengaman.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran.



BAB II

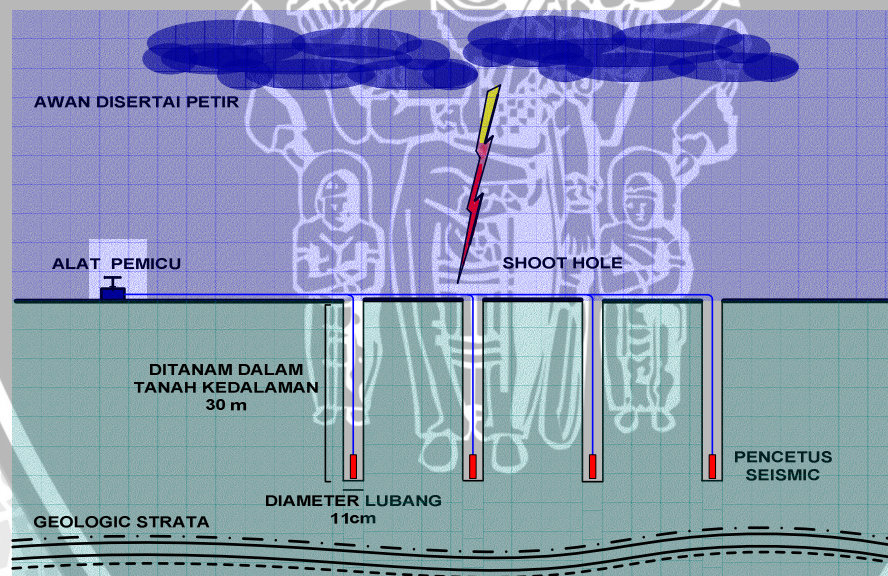
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Petir

Petir adalah suatu fenomena alam yang sering terjadi dipermukaan bumi sebagai akibat dari adanya pelepasan muatan listrik yang bergerak dengan kecepatan cahaya dari awan ke tanah atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Karena Indonesia terletak didaerah khatulistiwa dengan temperatur udara diatas permukaan tanah yang relatif tinggi, sehingga akan mempermudah proses pembentukan awan bermuatan yang mampu menghasilkan jumlah sambaran petir pertahun yang tinggi.

2.2. Tegangan Lebih Pada Pencetus Seismik

Dalam aktifitas eksplorasi seismik gangguan alam seperti sambaran petir merupakan bahaya yang tak dapat dihindari oleh pencetus seismik. Gangguan ini sering terjadi pada saat pemasangan instalasi pencetus seismik di daerah eksplorasi.



Gambar 2.1 Sambaran petir pada eksplorasi seismik

Sumber: Ulla, 2008

Dalam aplikasinya pemasangan instalasi pencetus seismik membutuhkan waktu yang cukup lama hingga berbulan-bulan dan dilakukan didaerah eksplorasi yang luas seperti didaerah perbukitan, pegunungan, hutan maupun tanah lapang. Dari setiap pencetus seismik ke alat pemacu utamanya dihubungkan secara terpisah dengan kabel penghubung yang diletakkan diatas permukaan tanah dan panjangnya hingga mencapai

ratusan meter, sehingga membuat alat ini sangat rentan terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh bahaya sambaran petir.

Tegangan lebih pada pencetus seismik timbul karena petir yang menyambar tidak mengenai langsung pada saluran kabel, tetapi masuk ke saluran kabel secara induksi. Sambaran petir pada saluran kabel pencetus seismik diasumsikan sebagai injeksi (suntikan) energi listrik secara tiba-tiba. Suntikan energi ini menimbulkan kenaikan tegangan pada saluran kabel, sehingga timbul tegangan lebih berbentuk gelombang surja. Gelombang surja akan merambat sepanjang saluran konduktor kabel yang dilaluinya.



Gambar 2.2 Pencetus seismik tanpa sistem pengamanan

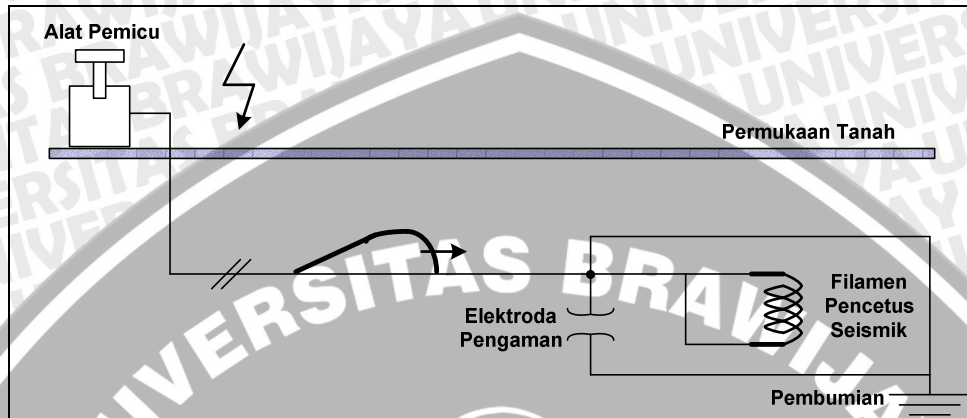
Sumber: Hutaaruk, 1989 : 112

Apabila energi gelombang surja yang merambat pada saluran kabel penghubung dapat mencapai kawat filamen pencetus seismik, maka akan menyebabkan terjadinya penyalan sendiri yang tidak dikehendaki. Penyalan yang dimaksud adalah pencetus seismik akan meledak sendiri tanpa harus dipicu dengan alat pemicu utamanya.

Kerugian besar yang ditimbulkan akibat dari penyalan sendiri adalah biaya pengganti yang dikeluarkan untuk membeli peralatan baru yang relatif mahal. Selain itu dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk penentuan titik peledakan dan pemasangan peralatan yang baru. Alasan lain adalah adanya kenyataan dilapangan bahwa kejadian ini dapat terjadi tanpa bisa diamati atau direkam secara langsung, sehingga sangat sulit dilakukan proses rekonstruksi untuk menganalisa hal-hal yang menyebabkan kerusakan tersebut karena biaya yang diperlukan juga sangat tinggi. Kejadian ini juga menyebabkan terganggunya aktifitas eksplorasi yang sudah direncanakan dari awal dan dapat membahayakan manusia yang berada didaerah yang akan dieksplorasi.

2.3. Sistem Pengaman Pada Pencetus Seismik

Mengingat besarnya kerugian dan bahaya yang ditimbulkan, maka perlu direncanakan suatu sistem pengaman yang dapat mengamankan pencetus seismik dari bahaya sambaran petir.



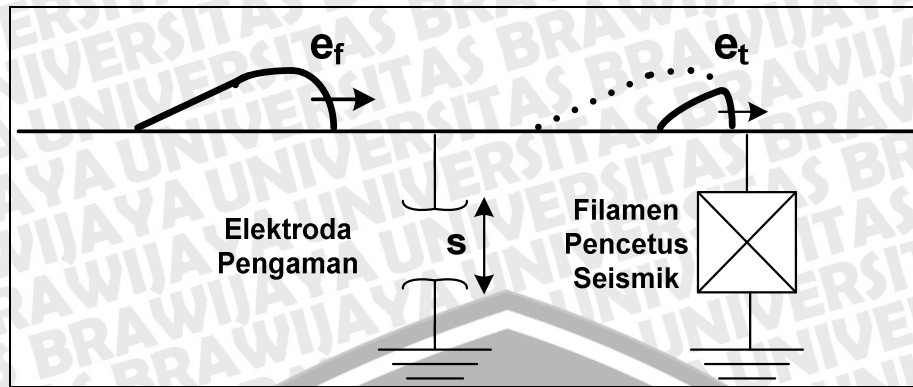
Gambar 2.3 Elektroda pengaman pada pencetus seismik

Sumber: Hutaaruk, 1989 : 112

Sistem pengaman pada pencetus seismik dirancang dengan cara mengubah konstruksi rancangan awal pencetus seismik, kemudian dimodifikasi untuk pemasangan konstruksi sistem pengaman baru yang dilengkapi dengan elektroda pengaman. Elektroda pengaman dipasang sebelum filamen pencetus seismik yang terhubung langsung dengan peledak utamanya. Pemasangan elektroda pengaman disesuaikan dengan dimensi pada konstruksi dasar rancangan awal pencetus seismik.

Fungsi dari pemasangan elektroda pengaman pada pencetus seismik yaitu:

1. Membatasi besarnya surja tegangan lebih yang akan masuk filamen pencetus seismik sehingga tidak timbul tegangan lebih pada pencetus seismik dan mengalirkannya ke tanah.
2. Melandaikan atau memotong muka gelombang surja tegangan lebih.
3. Mengamankan titik sambungan pada filamen pencetus seismik yang terhubung dengan peledak utamanya.



Gambar 2.4 Kinerja elektroda pengaman pada pencetus seismik

Sumber: Bonggas, 2003 : 78

Keterangan :

e_f = gelombang datang

e_t = gelombang terpotong

Suatu gelombang tegangan (e_f) merambat menuju filamen pencetus seismik dan ketika gelombang tiba di elektroda pengaman, elektroda pengaman bekerja sehingga gelombang yang diteruskan ke filamen pencetus seismik adalah gelombang tegangan terpotong (e_t) dengan amplitudo yang lebih kecil dan energi sisanya dibuang ke sistem pembumian.

Pemotongan gelombang tegangan oleh pencetus seismik ini juga dipengaruhi oleh jarak sela (s) yang sudah diatur pada elektroda pengaman. Jika beda tegangan antar sela melebihi tegangan tembus sela, maka terjadi percikan pada sela dan membuat sela terhubung singkat, sehingga terjadi tegangan tembus. Untuk memperoleh tingkat pemotongan gelombang tegangan yang lebih baik maka dibuat jarak sela yang lebih kecil. Pengaruh pengaturan jarak sela terhadap tegangan tembus mengacu pada rumus berikut (Dhofir, 1997 : 8) :

$$U_d = E_d \cdot s \quad (2-1)$$

Keterangan :

U_d = tegangan tembus (volt)

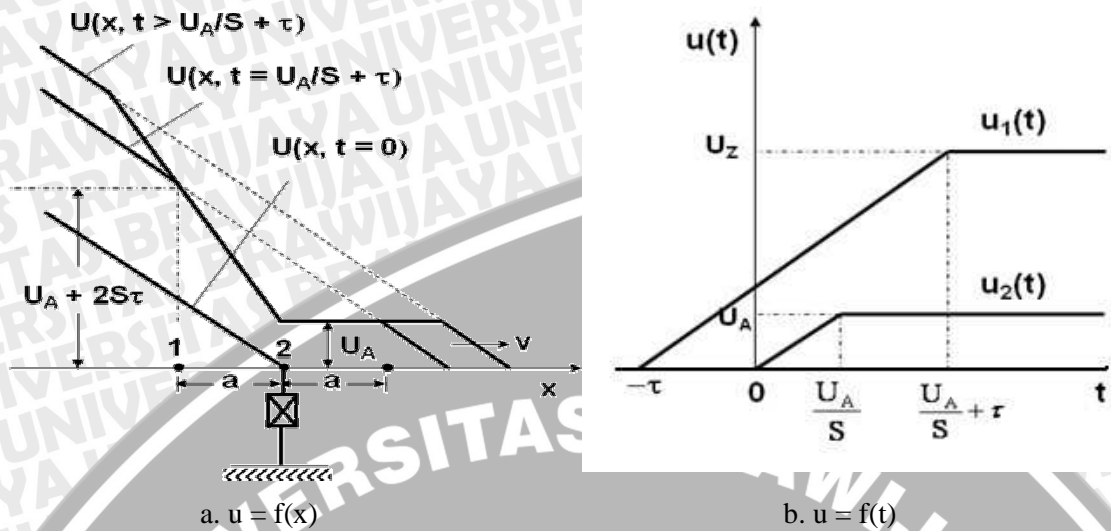
E_d = kuat medan listrik udara (30 kV/cm)

s = jarak sela (cm)

2.4. Penempatan Elektroda Pengaman

Penempatan elektroda pengaman terhadap titik sambungan filamen yang dilindungi mengacu pada teori dasar penentuan kisar proteksi pada suatu arester surja terhadap peralatan yang dilindungi. Arester surja hanya menjamin keandalan dalam

membatasi tegangan sebesar U_A pada terminal arester surja. Ilustrasi kisar proteksi pada suatu arester surja dapat diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penentuan kisar proteksi suatu arester surja pada penerapan gelombang berbentuk baji

Sumber: Kind, 1993 : 213

Keterangan:

S = kemiringan gelombang datang

$2S$ = kemiringan dari 1 ke 2

Misalkan arester surja dipasang pada titik 2 pada saat $t = 0$ puncak gelombang tiba pada titik tersebut. Jarak antara titik 1 dan 2 ditempuh dalam waktu $t = a/v$. Pada saat $t = U_A/S$ maka gelombang pantul pada titik 2 akan berbentuk baji dengan kemiringan $-S$. Pembatasan tegangan pada titik 1 baru berlangsung setelah selang waktu berikutnya, yakni pada saat $t = U_A/S + \tau$. Maka nilai tegangan U_1 dirumuskan oleh (Kind, 1993 : 214) sebesar :

$$U_1 = U_A + 2S\tau \tag{2-2}$$

Apabila tegangan lebih yang diijinkan di titik 1 adalah sebesar U_{zul} , maka kisar proteksi pada arester surja adalah :

$$a = \frac{U_{zul} - U_A}{2S} v \tag{2-3}$$

Keterangan:

a = daerah proteksi (m)

τ = waktu untuk menempuh jarak a (μs)

U_{zul} = BIL peralatan (kV)

U_A = tegangan impuls yang datang (kV)

S = kemiringan gelombang datang (kV/ μs)

v = kecepatan rambat gelombang (300 m/ μs)

Dalam praktek, untuk menentukan kemiringan gelombang datang S adalah :

$$S = \frac{U_0}{T_s} \quad (2-4)$$

Keterangan:

- S = kemiringan gelombang datang (kV/μs)
- U₀ = tegangan pemuatan (kV)
- T_s = waktu dahi/muka tegangan impuls (1,2 μs)

Tegangan impuls yang datang (U_A) adalah :

$$U_A = U_{zul} - \frac{2Sa}{v} \quad (2-5)$$

2.5. Pengaruh Jumlah Elektroda Terhadap Probabilitas Tembus

Kejadian tembus pada suatu susunan elektroda adalah kejadian yang bersifat probabilitas-statistik. Probabilitas terjadinya tembus pada susunan paralel merupakan bentuk perbesaran diskrit dari sebuah susunan elektroda yang dalam pemasangannya disusun secara paralel. Bentuk umum hukum perbesaran untuk susunan diskrit yang dirumuskan oleh (Kind, 1993 : 216) adalah :

$$P_m(U) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_{1i}) \quad (2-6)$$

Keterangan:

- $\prod_{i=1}^m (1 - P_{1i})$ = probabilitas tidak terjadi tembus pada m susunan elektroda paralel
- $(1 - P_{1i})$ = probabilitas tidak terjadi tembus pada susunan elektroda tunggal ke m
- P_{1m} = probabilitas terjadi tembus masing-masing elemen susunan elektroda ke m
- m = jumlah susunan elektroda

Bila probabilitas pada masing-masing elemen dari susunan paralel elektroda sama, maka probabilitas tembus untuk elektroda susunan paralel tersebut adalah :

$$P_m(U) = 1 - (1 - P_1)^m \quad (2-7)$$

Mengacu pada Persamaan 2-7 probabilitas terjadinya tembus untuk jumlah susunan elektroda tunggal (m=1) dimisalkan nilai P_{m=1} adalah :

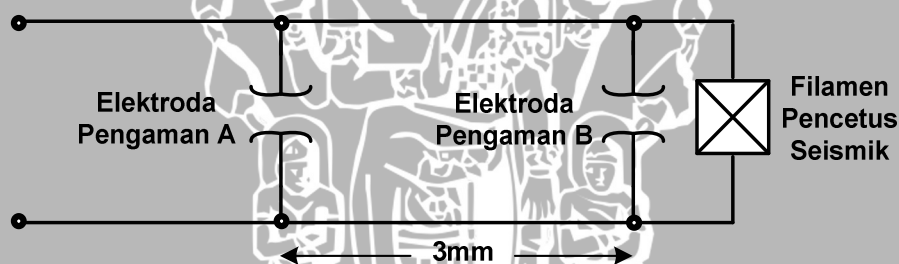
$$P_1(U) = 0.3$$

Berdasarkan hasil perhitungan $P_{m=1}$, maka probabilitas terjadinya tembus untuk dua elektroda yang disusun paralel ($m=2$) maka nilai $P_{m=2}$ adalah :

$$\begin{aligned} P_2(U) &= 1 - (1 - 0.3)^2 \\ &= 1 - (0.7)^2 \\ &= 1 - 0.49 \\ &= 0.51 \end{aligned}$$

Apabila hasil dari perhitungan dimasukkan dalam prosentase maka probabilitas terjadinya tembus pada susunan elektroda tunggal ($P_{m=1}$) yaitu sebesar 30% dan probabilitas terjadinya tembus pada dua elektroda yang disusun paralel ($P_{m=2}$) yaitu sebesar 51%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memasang dua buah elektroda secara paralel maka probabilitas terjadinya tembus lebih besar daripada hanya memasang satu buah elektroda. Dengan demikian apabila dipasang lebih banyak elektroda maka probabilitas terjadinya tembus juga semakin besar pula.

Dalam merancang sistem pengaman untuk pencetus seismik, pada konstruksi elektroda pengaman tipe C dipasang dua buah elektroda pengaman yang disusun secara paralel. Jarak penempatan antara elektroda A dan elektroda B sebesar 3 mm.



Gambar 2.6 Pemasangan elektroda pengaman yang disusun paralel

Sumber: penulis

Dengan memasang dua elektroda pengaman yang disusun paralel pada pencetus seismik, diharapkan tingkat pemotongan tegangannya lebih tinggi karena probabilitas proses terjadinya tembus lebih besar daripada hanya memasang satu buah elektroda pengaman.

2.6. Pencetus

Pencetus adalah alat peledak aktif yang berfungsi sebagai pemacu mekanisme ledakan. Terdapat dua jenis pencetus yaitu yang dipicu oleh tegangan listrik (*pencetus listrik*) dan oleh pukulan (*pencetus seismik listrik*).



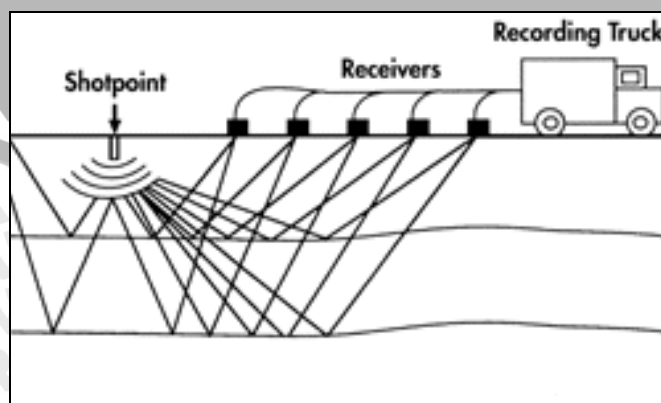
Gambar 2.7 Pencetus seismik listrik

Sumber: Orica

Perbedaan mendasar antara pencetus seismik listrik dengan pencetus listrik adalah pada aplikasinya. Pencetus seismik listrik sering digunakan dalam eksplorasi minyak bumi, gas alam, batubara, pencarian air tanah (*ground water*) dan pemetaan struktur geologi dibawah permukaan bumi. Sedangkan untuk pencetus listrik digunakan untuk meledakkan gedung-gedung yang akan dibangun ulang dan untuk meledakkan batu-batuan dipermukaan bukit untuk membangun aktifitas pertambangan yang baru.

2.7. Mekanisme Peledakan Pencetus Seismik

Pencetus seismik ini dihubungkan dengan *main charge* dalam satu rangkaian. Pencetus seismik berfungsi sebagai pemicu sumber ledakan pertama (*primary explosive*) dan *main charge* sebagai sumber ledakan kedua (*secondary explosive*) dengan daya ledak yang lebih besar.



Gambar 2.8 Peledakan pencetus seismik

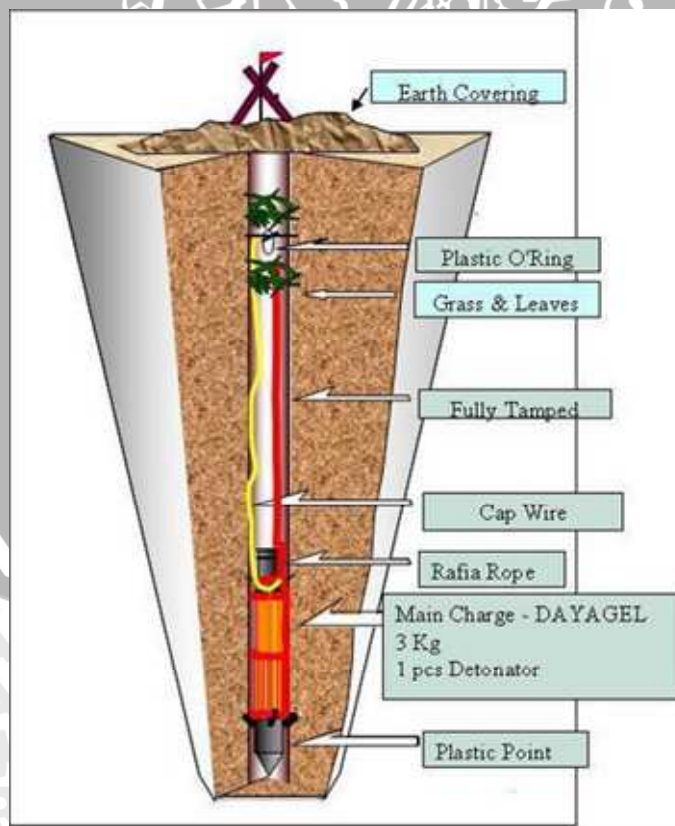
Sumber: Santoso, 2003 : 98

Setelah pencetus seismik dan *main charge* dirangkai kemudian dimasukkan dalam tiap-tiap lubang peledakan (*shoot point*) yang sudah disiapkan. Proses peledakan dapat dilakukan setelah kabel pencetus seismik dihubungkan dengan alat pemicu utamanya.

Hasil dari peledakan yaitu berupa gelombang seismik (suara) yang digunakan sebagai sumber getaran yang ditransmisikan ke dalam lapisan geologi dibawah permukaan bumi, selanjutnya getaran akan diterima balik oleh sensor (*receivers*) yang telah dipasang dipermukaan. Getaran yang diterima oleh sensor berupa data rekaman gelombang seismik yang kemudian akan diproses di laboratorium pengolahan data (*recording truck*). Hasil akhir dari pengolahan data yaitu berupa gambar pemetaan struktur geologi dibawah permukaan bumi.

2.8. Pemasangan Pencetus Seismik

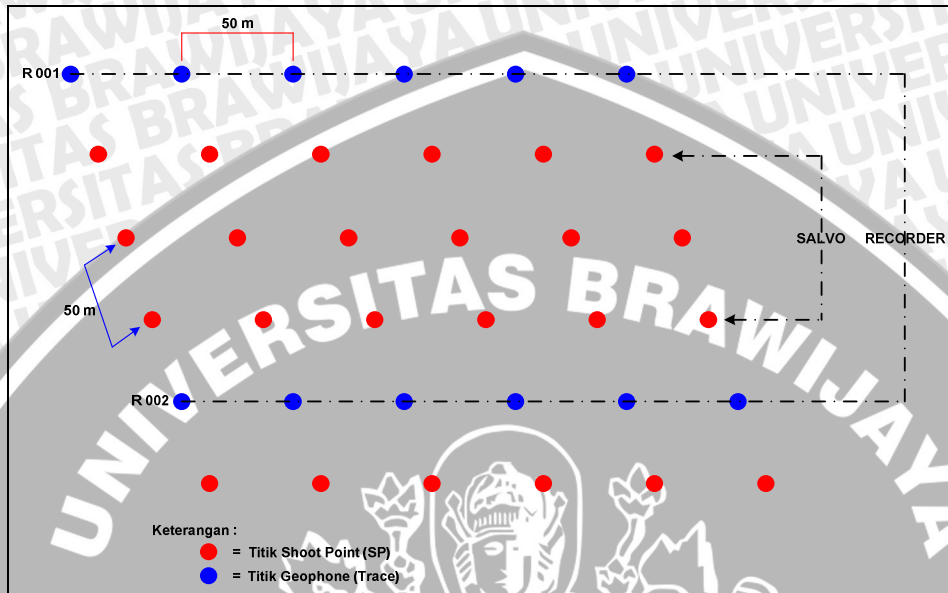
Pemasangan pencetus seismik dapat dilakukan dengan terlebih dahulu membuat lubang pemboran dangkal di dalam tanah. Kedalaman lubang pemboran biasanya mencapai 30 m dengan diameter lubang 11 cm.



Gambar 2.9 Pemasangan pencetus seismik dalam tanah

Sumber: Ulla, 2008

Setelah proses pembuatan lubang selesai, pencetus seismik harus segera dimasukkan kedalam lubang dengan tujuan untuk menghindari efek pendangkalan dan runtuhannya di dalam lubang. Setelah proses penanaman selesai maka kabel penghubung (*cap wire*) dapat dihubungkan langsung ke alat pemacu utamanya.



Gambar 2.10 Formasi pemasangan pencetus seismik

Sumber: Santoso, 2003 : 142

Aktivitas eksplorasi dengan menggunakan metode seismik bertujuan untuk memperoleh hasil gambar pemetaan struktur geologi dibawah permukaan bumi. Untuk memperoleh hasil pemetaan struktur geologi yang lebih baik dibutuhkan area eksplorasi yang luas dan lebih banyak titik lubang pemboran (*shoot point*).

Jarak yang dibutuhkan untuk menentukan titik lubang pemboran (*shoot point*) diperoleh dari data hasil pengukuran dan peninjauan topografi didaerah yang akan dilakukan eksplorasi. Jarak antar titik lubang pengeboran yang satu dengan titik yang lain antara 40 sampai 50 meter. Waktu yang dibutuhkan untuk membuat sebuah lubang dan memasang pencetus seismik serta peralatan pendukungnya ke dalam lubang tersebut kurang lebih satu hari, hal ini juga bergantung pada kondisi area yang akan dieksplorasi.

2.9. Penyimpan Energi Kapasitif

Kapasitor merupakan piranti penyimpan energi kapasitif yang sangat baik dan sangat cocok untuk penguatan daya. Piranti ini mampu menyimpan energi untuk jangka waktu yang panjang. Energi yang tersimpan dalam kapasitor dengan kapasitansi (C) pada tegangan U_0 dirumuskan oleh (Kind, 1993 : 55) dengan persamaan berikut :

$$W = \frac{1}{2} CU_0^2 \quad (2-8)$$

Keterangan:

W = energi (joule)

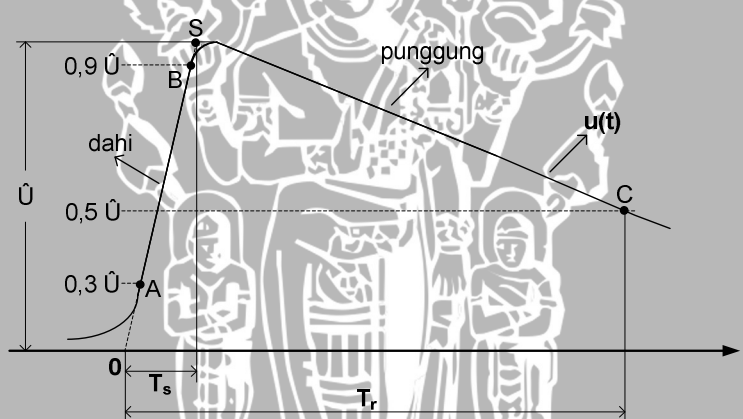
C = kapasitor (f)

U_0 = tegangan pemuatan (kV)

2.10. Pembangkitan dan Pengukuran Tegangan Impuls

Tegangan impuls adalah suatu tegangan berarah sama (*unidirectional*) yang menaik dengan cepat ke nilai maksimumnya dan menurun dengan lambat ke titik nol. Bentuk gelombang tersebut umumnya dinyatakan dengan waktu dahi T_s dan waktu punggung T_r dalam mikrodetik.

Tegangan impuls diperlukan dalam pengujian untuk mensimulasikan terpaan akibat tegangan surja hubung dan surja petir. Secara umum tegangan impuls petir mempunyai bentuk $1,2/50 \mu s$ yang berarti suatu tegangan impuls dengan waktu dahi, $T_s = 1,2 \mu s \pm 30\%$ dan waktu paruh punggung, $T_r = 50 \mu s \pm 20\%$.



Gambar 2.11 Bentuk umum gelombang tegangan impuls

Sumber : Kind,1993 : 34

Keterangan :

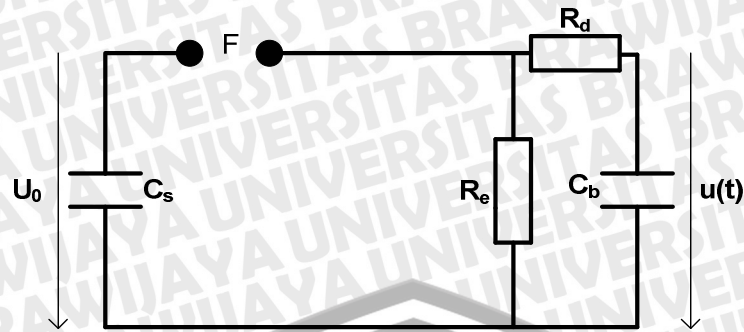
T_s = waktu dahi/muka tegangan impuls

T_r = waktu punggung tegangan impuls

A = titik pada saat gelombang tegangan impuls naik mencapai 30% tegangan puncak

B = titik pada saat gelombang tegangan impuls naik mencapai 90% tegangan puncak

C = titik pada saat gelombang tegangan impuls turun mencapai 50% tegangan puncak



Gambar 2.12 Rangkaian b untuk pembangkitan tegangan impuls

Sumber : Kind,1993 : 35

Rangkaian b sebagai dasar pembangkitan tegangan tinggi impuls petir. Prinsip kerja rangkaian b di atas dimana kapasitor impuls C_s dimuati melalui dengan tegangan searah U_0 dan kemudian diluahkan dengan menyalakan sela F. Terjadi puluahan muatan mengisi kapasitor beban (C_b), kemudian meluruh melalui tahanan pelepasan (R_e), dan tegangan impuls $u(t)$ diperoleh dari terminal kapasitor ukur (C_b).

Nilai elemen rangkaian menentukan bentuk kurva tegangan impuls. Waktu dahi yang singkat membutuhkan pengisian muatan yang cepat pada kapasitor beban (C_b) hingga nilai puncak U_0 , sedangkan waktu punggung yang panjang berarti peluahan yang lambat dan ini dicapai dengan $R_e \gg R_d$. Segera setelah penyalaan F pada $t = 0$ maka hampir seluruh tegangan U_0 akan muncul pada rangkaian seri $R_d C_b$ dalam rangkaian. Semakin kecil nilai $R_d C_b$ maka semakin cepat tegangan $u(t)$ mencapai nilai puncak. Untuk mendapatkan tegangan puncak impuls \hat{U} yang setinggi mungkin (untuk U_0 tertentu) maka harus dipilih $C_s \gg C_b$. Kurva tegangan impuls dirumuskan oleh (Kind, 1993 : 36) dengan persamaan berikut :

$$u(t) = \frac{U_0}{R_d C_b} \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} (e^{-t/T_1} - e^{-t/T_2}) \quad (2-9)$$

Nampak bahwa tegangan impuls merupakan selisih dari dua fungsi eksponensial yang meluruh dengan konstanta waktu T_1 dan T_2 . Dengan pendekatan $R_e C_s \gg R_d C_b$ dihasilkan persamaan T_1 dan T_2 berikut ini.

$$T_1 \approx R_e (C_s + C_b) \quad (2-10)$$

$$T_2 \approx R_d \frac{C_s C_b}{C_s + C_b} \quad (2-11)$$

Nilai T_1 dan T_2 menentukan bentuk impuls. Konstanta waktu T_1 dan T_2 terkait dengan karakteristik tegangan impuls petir melalui faktor yang bergantung pada perbandingan T_s/T_r berikut :

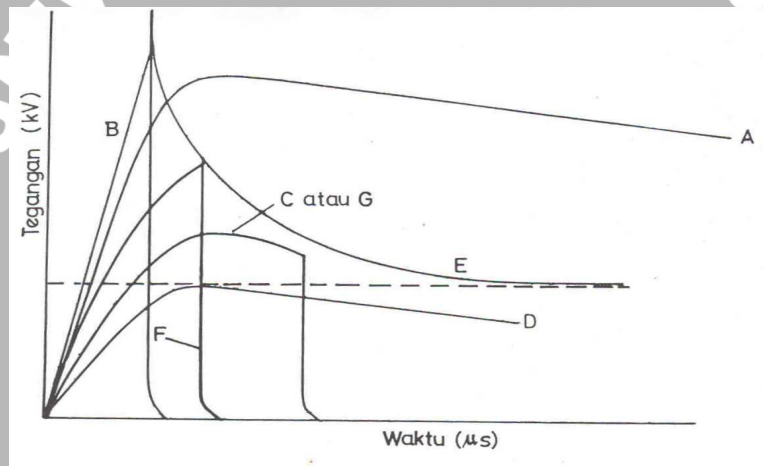
$$T_s = K_2 T_2 \tag{2-12}$$

$$T_r = K_1 T_1 \tag{2-13}$$

Faktor skala untuk bentuk impuls $1,2/50 \mu s$ adalah $K_1 = 0,73$ dan $K_2 = 2,96$.

2.11. Kurva Tegangan-Waktu (V-t curve)

Kurva tegangan-waktu (V-t) menyatakan karakteristik hubungan tegangan potong dan waktu potong, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 karakteristik ini dibutuhkan untuk melihat keberhasilan alat pengaman sebagai fungsinya untuk melindungi peralatan terhadap bahaya gelombang surja petir.



Gambar 2.13 Karakteristik lengkung tegangan-waktu

Sumber : Arismunandar, 2001 : 115

Keterangan:

- A = gelombang impuls yang datang
- B = gelombang cepat, terpotong pada muka
- C = gelombang terpotong pada ekor
- D = gelombang penuh
- E = lengkung volt-waktu
- F = gelombang terpotong pada puncak
- G = gelombang terpotong pada ekor dengan kemungkinan lompatan 50%

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium, data yang diperoleh dari hasil pengujian adalah data primer. Data yang diambil berupa tingkat pemotongan tegangan oleh elektroda pengaman yang dipasang pada pencetus seismik. Selanjutnya membandingkan tingkat pemotongan tegangan konstruksi elektroda pengaman tipe A, tipe B dan tipe C.

3.1. Studi Literatur

Mempelajari dari berbagai sumber buku referensi yang ada yang berkaitan dengan penulisan skripsi, yang meliputi :

1. Mempelajari tentang metode seismik.
2. Mempelajari pencetus seismik dan bagian-bagiannya.
3. Mempelajari tentang pembangkitan tegangan tinggi impuls.

3.2. Data Perancangan

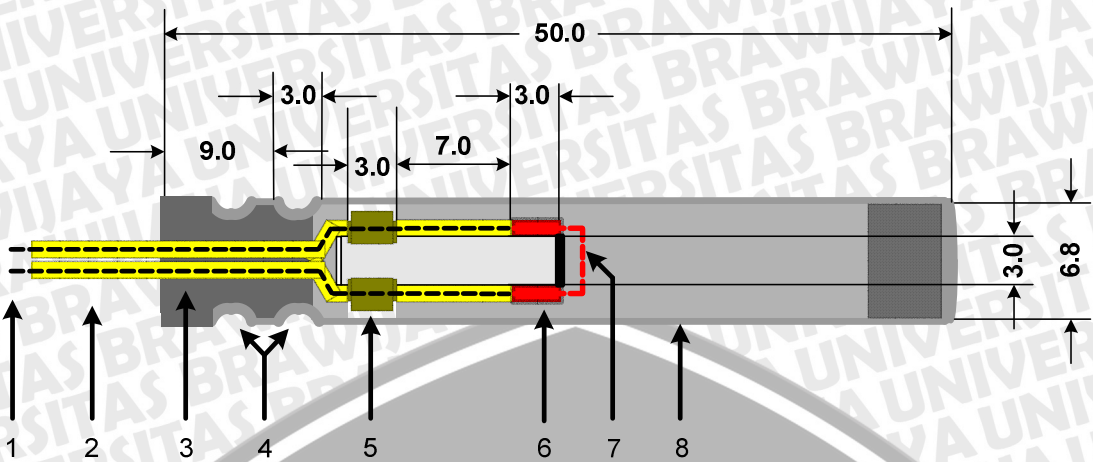
Mengumpulkan data-data pendukung yang diperoleh yaitu :

1. Data dimensi konstruksi dasar pencetus seismik.
2. Data spesifikasi pencetus seismik.
3. Data komponen dan rangkaian percobaan sistem pembangkitan tegangan tinggi impuls petir di laboratorium tegangan tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.

3.3. Perancangan dan Pembuatan Elektroda Pengaman

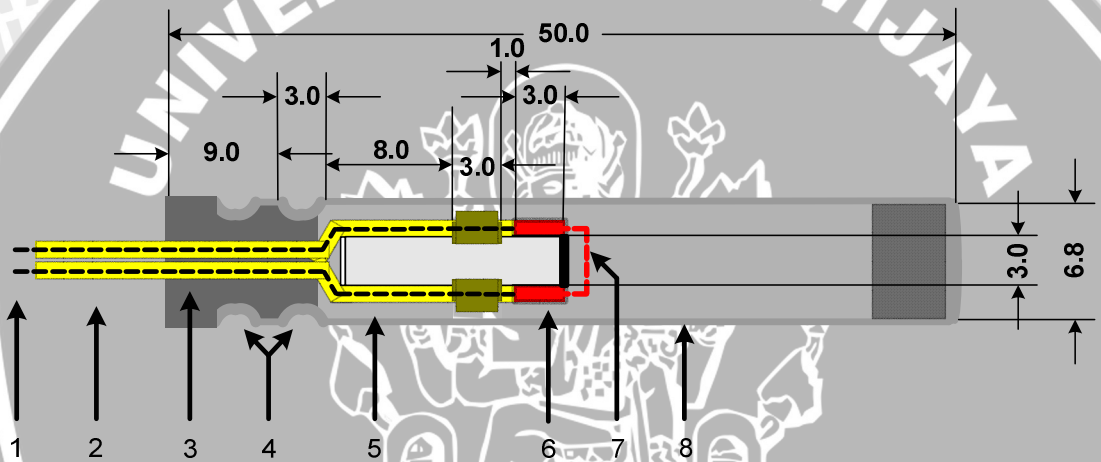
Langkah perancangan dan pembuatan elektroda pengaman pada pencetus seismik meliputi :

1. Menentukan nilai tegangan impuls yang akan diujikan pada pencetus seismik. Nilai tegangan impuls yang akan diujikan antara 15 kV hingga 70 kV dengan tipe 1,2/50 μ s. Pengaturan variasi tegangan sebesar 5 kV untuk tiap-tiap kenaikan tegangan.
2. Menentukan bahan untuk perancangan elektroda pengaman.
3. Menentukan penempatan elektroda pengaman pada pencetus seismik.
4. Merancang dan membuat elektroda pengaman.



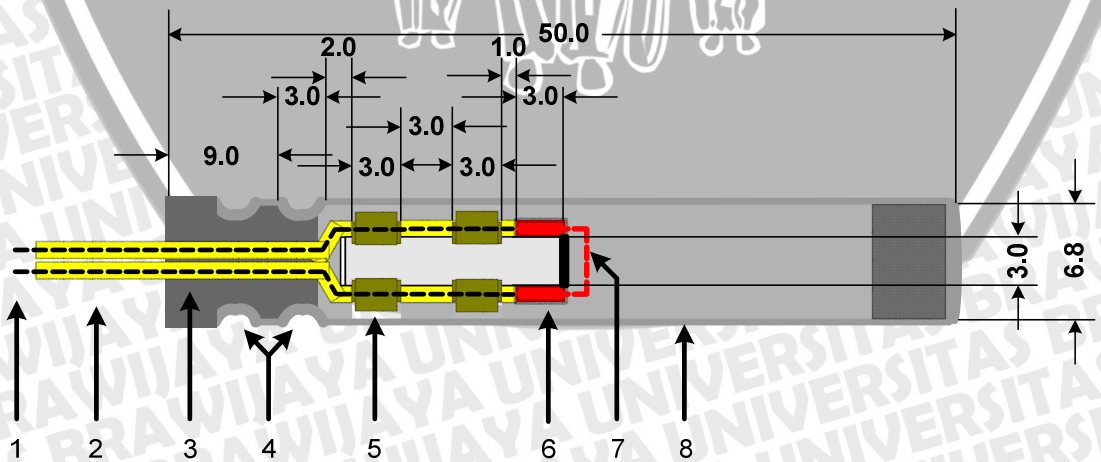
Gambar 3.1 Konstruksi elektroda pengaman tipe A

Sumber: Hasil perancangan



Gambar 3.2 Konstruksi elektroda pengaman tipe B

Sumber: Hasil perancangan



Gambar 3.3 Konstruksi elektroda pengaman tipe C

Sumber: Hasil perancangan

Keterangan :

- 1 = kawat konduktor
- 2 = insulator kawat konduktor
- 3 = selubung karet
- 4 = selubung aluminium di cramping
- 5 = elektroda silinder dari bahan tembaga
- 6 = insulator plastik
- 7 = kawat filamen
- 8 = selubung aluminium

3.4. Pengujian Pencetus Seismik

3.4.1. Tempat dan Waktu Pengujian

Tempat dan waktu pengujian dalam penelitian ini adalah:

1. Pengujian dengan menggunakan rangkaian pembangkitan tegangan impuls.
2. Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.4.2. Benda Uji

Benda uji, benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

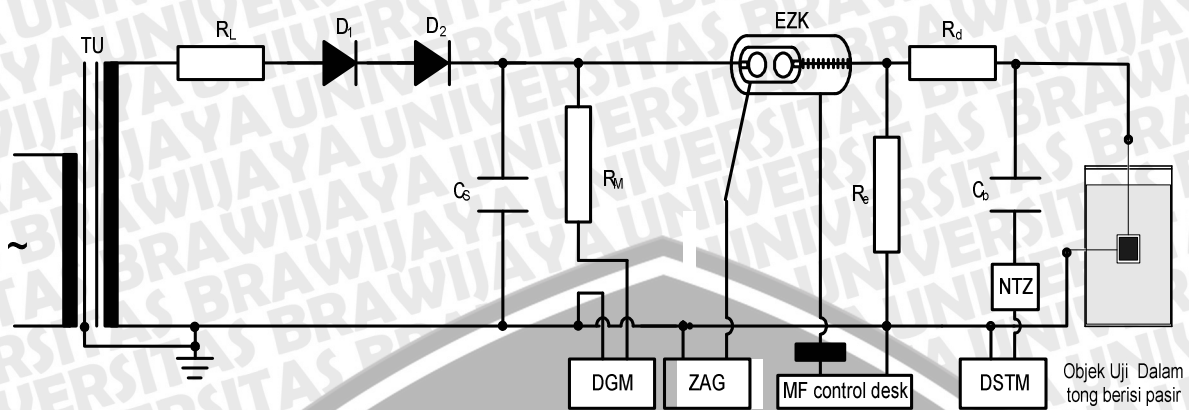
1. Pencetus seismik.
2. Tanah pasir.
3. Tong peredam.
4. Kotak timah hitam.

3.4.3. Peralatan Uji

Peralatan uji, peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

1. Transformator uji tegangan tinggi 220 V/ 100 kV, 5 kVA.
2. Rangkaian penyearah 140 kV, 20 mA, 10 M Ω .
3. Resistor 10 M Ω (R_L), 260 M Ω (R_d), 6100 M Ω (R_e).
4. Kapasitor 1200 pF (C_b), 10000 pF (C_s).
5. Rangkaian ZAG trigger.
6. MF kontrol desk.
7. Sela Bola.
8. DGM alat ukur tegangan tinggi DC.
9. DSTM alat ukur tegangan impuls.
10. Kabel hubung.

3.4.4. Model Rangkaian Pengujian



Gambar 3.4 Pengujian pencetus seismik dalam tong peredam yang diisi pasir

Sumber: Modul Praktikum Tegangan Tinggi, Universitas Brawijaya

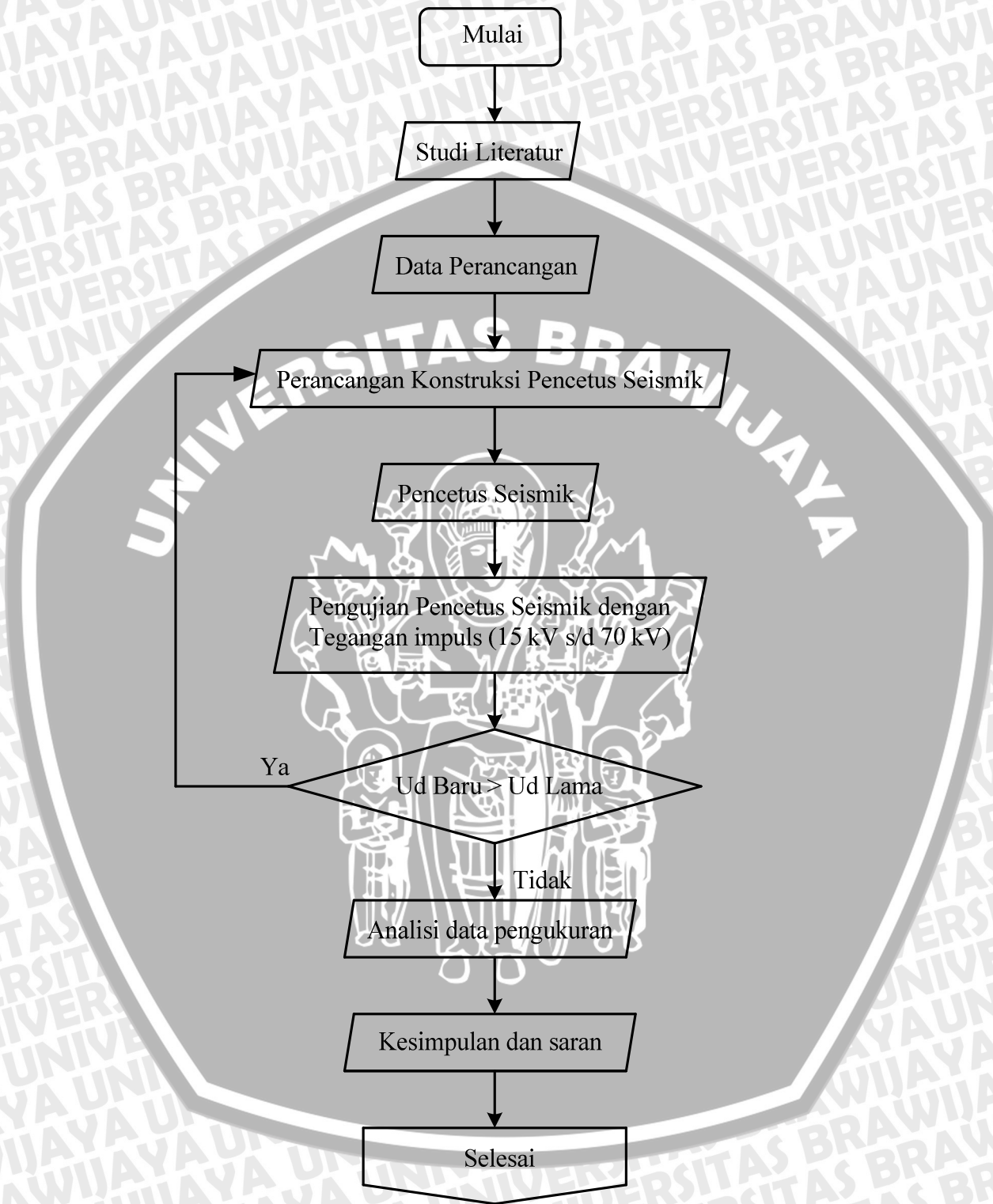
3.4.5. Analisis Data Pengujian

Analisis data-data dari hasil pengujian yaitu pengaruh variasi tegangan uji impuls terhadap kinerja sistem pengaman yang sudah terpasang pada pencetus seismik dimana tegangan pemuatan yang diujikan mulai dari 15 kV hingga 70 kV dengan selisih tiap-tiap kenaikan tegangan sebesar 5 kV. Hasil pengukuran tegangan pemuatan dapat diamati pada alat ukur DGM. Berikutnya dicatat hasil pemotongan tegangan pada elektroda pengaman tipe A, tipe B dan tipe C, hal ini juga dapat diamati pada alat ukur DSTM.

3.5. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran dari hasil perancangan dan pengujian.

3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir penyelesaian skripsi

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Perancangan elektroda pengaman mengacu pada konstruksi rancangan awal pencetus seismik yang sudah dirancang dan diuji sebelumnya. Dari hasil perancangan dan pengujian dapat ditentukan konstruksi sistem pengaman baru dengan kinerja yang lebih baik.

4.1. Energi Penyalaan

Energi penyalaan adalah energi minimum dari gelombang surja yang mampu menyalakan (memicu) ledakan pada pencetus seismik. Mengacu pada Tabel 4.1 untuk pengujian pada pencetus seismik tanpa sistem pengaman, energi gelombang surja yang diluahkan secara langsung dapat memicu ledakan pada pencetus seismik.

Energi penyalaan untuk memicu ledakan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-6. Berdasarkan rangkaian pengujian pada Gambar 3.4 nilai kapasitor ukur (C_b) sebesar 1200 pF. Hasil perhitungan energi penyalaan dapat diamati pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pencetus seismik tanpa sistem pengaman

U_0 (kV)	U_d (kV)	Keterangan
13,1	11,4	Meledak

Sumber : Hasil pengujian

Keterangan :

U_0 = tegangan pemuatan (kV)

U_d = tegangan dari gelombang yang terpotong (kV)

$$W = \frac{1}{2} C U_d^2 \text{ W.s}$$

$$W = \frac{1}{2} C U_d^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1200 \cdot 10^{-12} \times 11400^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.5595 \cdot 10^{-1}$$

$$= 77.98 \text{ mW.s}$$

Energi penyalaan minimum gelombang surja dijadikan acuan untuk merancang sistem pengaman yang baru. Sistem pengaman yang dirancang berfungsi sebagai



pemotong energi gelombang surja sehingga energi sisa yang merambat menuju filamen menjadi lebih kecil.

Tabel 4.2 Energi hasil pemotongan pada elektroda pengaman

No.	Tipe A			Tipe B			Tipe C		
	U ₀ (kV)	U _d (kV)	W _d (mW.s)	U ₀ (kV)	U _d (kV)	W _d (mW.s)	U ₀ (kV)	U _d (kV)	W _d (mW.s)
1.	15.1	2.2	2.904	15.0	2.1	2.646	15.1	1.7	1.734
2.	20.0	2.9	5.046	20.1	2.8	4.704	20.1	2.2	2.904
3.	25.1	3.7	8.214	25.1	3.5	7.35	25.0	2.8	4.704
4.	30.0	4.2	10.58	30.0	4.1	10.09	30.0	3.3	6.534
5.	35.0	5.0	15.00	35.0	4.8	13.82	35.0	3.8	8.664
6.	40.1	5.8	20.18	40.0	5.4	17.50	40.0	4.1	10.09
7.	45.1	6.5	25.35	45.1	6.2	23.06	45.2	4.7	13.25
8.	50.0	7.1	30.25	50.0	6.9	28.57	50.0	5.3	16.85
9.	55.0	7.7	35.57	55.1	7.6	34.66	55.0	5.8	20.18
10.	60.0	8.4	42.34	60.0	8.3	41.33	60.1	6.4	24.58
11.	65.1	9.2	50.78	65.0	8.8	46.46	65.0	7.0	29.40
12.	70.2	9.8	57.62	70.1	9.6	55.30	70.2	7.6	34.66

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Keterangan :

U₀ = tegangan pemuatan (kV)

U_d = tegangan dari gelombang yang terpotong (kV)

W_d = energi dari gelombang yang terpotong (mW.s)

Berdasarkan Tabel 4.2 dengan rangkaian pengujian pada Gambar 3.4 energi gelombang surja yang terpotong pada elektroda pengaman tipe C lebih kecil dibandingkan pada elektroda pengaman tipe A dan tipe B. Pemotongan energi selalu terjadi pada muka gelombang dan membuang lebih banyak energi pada bagian ekor gelombang.

4.2. Pembangkitan Tegangan Impuls

Tegangan impuls yang dibangkitkan mengacu pada rangkaian pada Gambar 3.4. Secara perhitungan tegangan impuls dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2-7, 2-8 dan 2-9. Hasil perhitungan puncak tegangan impuls adalah sebagai berikut:

$$T_1 \approx R_e (C_s + C_b)$$

$$\approx 6100(10000 \times 10^{-12} + 1200 \times 10^{-12}) \approx 6.83 \times 10^{-5}$$

$$T_2 \approx R_d \frac{C_s C_b}{C_s + C_b}$$

$$\approx 260 \frac{10000x10^{-12} \cdot x1200x10^{-12}}{10000x10^{-12} + 1200x10^{-12}} \approx 2.79x10^{-7}$$

Dihitung nilai puncak tegangan impuls yang dicapai ketika $\frac{\partial u(t)}{\partial t} = 0$

$$\frac{\partial u(t)}{\partial t} = \frac{U_0}{R_d C_b} \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \left(-\frac{1}{T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right) = 0$$

Sehingga : $\left(-\frac{1}{T_1} e^{-t/T_1} + \frac{1}{T_2} e^{-t/T_2} \right) = 0$

$$\frac{1}{T_1} e^{-t/T_1} = \frac{1}{T_2} e^{-t/T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) t}$$

$$\ln \left| \frac{T_2}{T_1} \right| = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) t$$

Waktu untuk mencapai tegangan puncak impuls adalah :

$$t = \frac{\ln \left| \frac{T_2}{T_1} \right|}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{6.83x10^{-5}} = 1.46x10^4$$

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{2.79x10^{-7}} = 3.59x10^6$$

$$t = \frac{\ln \left| \frac{2.79x10^{-7}}{6.83x10^{-5}} \right|}{1.46x10^4 - 3.59x10^6}$$

$$t = 1.54x10^{-6} \text{ detik}$$

Dihitung tegangan puncak impuls dengan tegangan pemuatan U_0 sebesar 15000 volt:

$$u(t) = \frac{U_0}{R_d C_b} \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \left(e^{-t/T_1} - e^{-t/T_2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{15000}{260 \times 1200 \times 10^{-12}} \times \frac{6.83 \times 10^{-5} \times 2.79 \times 10^{-7}}{6.83 \times 10^{-5} - 2.79 \times 10^{-7}} \left(\frac{-t}{e^{6.83 \times 10^{-5}} - e^{2.79 \times 10^{-7}}} \right) \\
 &= 1.35 \times 10^4 \left(\frac{-t}{e^{6.83 \times 10^{-5}} - e^{2.79 \times 10^{-7}}} \right) \text{ volt} \\
 &= 1.35 \times 10^4 \left(\frac{-1.54 \times 10^{-6}}{e^{6.83 \times 10^{-5}} - e^{2.79 \times 10^{-7}}} \right) \\
 &= 13145.98 \text{ volt}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai-nilai puncak tegangan impuls $u(t)$ yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Puncak tegangan impuls

No.	U_0 (volt)	$u(t)$ (volt)
1.	15000	13145.98
2.	20000	17430.94
3.	25000	21812.58
4.	30000	26194.59
5.	35000	30576.58
6.	40000	34958.58
7.	45000	39243.19
8.	50000	43625.19
9.	55000	48007.18
10.	60000	52389.17
11.	65000	56771.17
12.	70000	61153.16

Sumber : Hasil analisis

Berdasarkan hasil perhitungan nilai puncak tegangan impuls yang terukur lebih kecil daripada tegangan pemuatan U_0 . Artinya terjadi penurunan puncak tegangan impuls, hal ini disebabkan karena rugi-rugi pada rangkaian seperti jatuh tegangan pada resistor R_d .

4.3. Pengujian Pencetus Seismik

Pengujian sistem pengamanan pencetus seismik menggunakan data primer hasil pengujian konstruksi sistem pengamanan rancangan awal yang sudah dibuat sebelumnya.



Data primer dari hasil pengujian dijadikan acuan untuk merancang sistem pengaman baru dengan kinerja yang lebih baik.

Data hasil pengujian untuk konstruksi sistem pengaman rancangan awal dapat diamati pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengujian pengaman rancangan awal

No.	U_0 (kV)	U_d (kV)	T_d (ns)
1	15.1	5.5	146.5
2	20.0	6.7	131.2
3	25.4	7.6	113.9
4	30.2	8.4	104.1
5	35.3	9.8	103.9
6	40.1	10.3	94.6
7	45.4	11.6	93.1
8	50.1	12.2	88.8
9	55.3	13.5	88.3
10	60.3	14.4	86.8
11	65.3	15.2	84.3
12	70.1	15.6	79.9

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.4 dengan rangkaian pengujian pada Gambar 3.4 semakin besar tegangan ujinya tingkat pemotongan tegangannya juga semakin besar dan waktu potongnya lebih singkat. Pada tegangan uji tertinggi sebesar 70 kV tegangan potongnya sebesar 15,6 kV dengan waktu potongnya 79,9 ns. Tegangan kerja rata-rata sistem pengaman rancangan awal (U_d) sebesar 10,9 kV.

Data hasil pengujian untuk elektroda pengaman tipe A dapat diamati pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengujian elektroda pengaman tipe A

No.	U_0 (kV)	U_d (kV)	T_d (ns)
1	15.1	2.2	49.7
2	20.0	2.9	49.4
3	25.1	3.7	49.6
4	30.0	4.2	47.2
5	35.0	5.0	48.2
6	40.1	5.8	49.3
7	45.1	6.5	48.3
8	50.0	7.1	48.2
9	55.0	7.7	46.9
10	60.0	8.4	47.3
11	65.1	9.2	47.9
12	70.2	9.8	47.5

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.5 dengan rangkaian pengujian pada Gambar 3.4 untuk pengujian pada elektroda pengaman tipe A, semakin besar tegangan ujinya tingkat pemotongan tegangannya juga semakin besar. Pada tegangan uji tertinggi sebesar 70 kV tegangan potongnya sebesar 9,8 kV dan waktu potongnya lebih singkat 47,5 ns. Tegangan kerja rata-rata elektroda pengaman tipe A (U_d) sebesar 6,0 kV.

Data hasil pengujian untuk elektroda pengaman tipe B dapat diamati pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengujian elektroda pengaman tipe B

No.	U_0 (kV)	U_d (kV)	T_d (ns)
1	15.0	2.1	47.2
2	20.1	2.8	47.5
3	25.1	3.5	46.7
4	30.0	4.1	45.9
5	35.0	4.8	46.0
6	40.0	5.4	45.6
7	45.1	6.2	45.9
8	50.0	6.9	46.7
9	55.1	7.6	46.3
10	60.0	8.3	46.7
11	65.0	8.8	45.6
12	70.1	9.6	46.4

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.6 dengan rangkaian pengujian pada Gambar 3.4 untuk pengujian pada elektroda pengaman tipe B, semakin besar tegangan ujinya tingkat pemotongan tegangannya juga semakin besar. Pada tegangan uji tertinggi sebesar 70 kV tegangan potongnya sebesar 9,6 kV dan waktu potongnya lebih singkat 46,4 ns. Tegangan kerja rata-rata elektroda pengaman tipe B (U_d) sebesar 6,0 kV.

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.5 dan 4.6 untuk elektroda pengaman tipe A dan tipe B tegangan potong dan waktu potongnya relatif sama. Ini menunjukkan sistem pengaman yang dirancang kinerjanya konsisten. Artinya alat ini memotong pada tegangan kerja yang relatif sama.

Data hasil pengujian untuk elektroda pengaman tipe C dapat diamati pada Tabel 4.7.

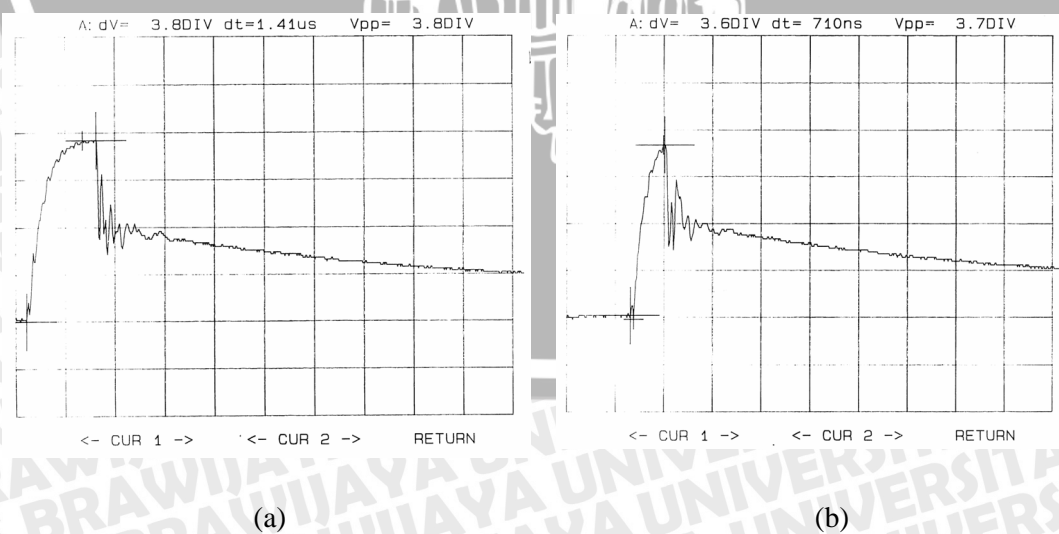
Tabel 4.7 Pengujian elektroda pengaman tipe C

No.	U_0 (kV)	U_d (kV)	T_d (ns)
1	15.1	1.7	37.6
2	20.1	2.2	36.7
3	25.0	2.8	36.8
4	30.0	3.3	36.4
5	35.0	3.8	35.8
6	40.0	4.1	33.9
7	45.2	4.7	34.0
8	50.0	5.3	35.1
9	55.0	5.8	34.6
10	60.1	6.4	35.3
11	65.0	7.0	35.6
12	70.2	7.6	36.1

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.7 dengan rangkaian pengujian pada Gambar 3.4 untuk pengujian pada elektroda pengaman tipe C, semakin besar tegangan ujinya tingkat pemotongan tegangannya juga semakin besar. Pada tegangan uji tertinggi sebesar 70 kV tegangan potongnya sebesar 7,6 kV dan waktu potongnya lebih singkat 36,1 ns. Tegangan kerja rata-rata elektroda pengaman tipe C (U_d) sebesar 4,5 kV.

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.5 dan 4.6 apabila dibandingkan dengan data hasil pengujian pada Tabel 4.7 untuk elektroda pengaman tipe C memiliki tingkat pemotongan tegangan yang lebih tinggi dan waktu potongnya lebih singkat. Ini menunjukkan kinerja elektroda pengaman tipe C lebih baik daripada elektroda pengaman tipe A dan tipe B.



Gambar 4.1 Karakteristik potong alat pengaman dengan tegangan uji 70 kV (a) Pemotongan pada punggung gelombang, (b) Pemotongan pada muka gelombang

Sumber: Data pengujian

Pada Gambar 4.1 menunjukkan karakteristik potong alat pengaman pada tegangan uji yang sama yaitu sebesar 70 kV. Pada gambar a menunjukkan karakteristik potong pada punggung gelombang dengan waktu potong $1.41 \mu s$. Pada gambar b menunjukkan karakteristik potong pada muka gelombang dengan waktu potong yang lebih singkat 710 ns.

4.4.Lokasi Penempatan Elektroda Pengaman

Dalam merancang sistem pengaman untuk pencetus seismik, perlu mempertimbangkan lokasi penempatan elektroda pengaman terhadap filamen yang dilindungi. Untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka elektroda pengaman ditempatkan pada jarak tertentu dari filamen.

Ada dua rancangan utama, yang pertama menggunakan satu elektroda pengaman dan yang kedua menggunakan dua elektroda pengaman yang dipasang secara paralel. Untuk pemasangan satu elektroda pengaman akan dikaji tentang pengaruh titik letak elektroda sepanjang ruang yang tersedia dalam pencetus seismik yaitu sebesar 10 mm. Rancangan pertama dapat diamati pada Gambar 3.1 dan 3.2. dan rancangan kedua dapat diamati pada Gambar 3.3.

4.4.1. Elektroda Pengaman Tipe A

Penempatan elektroda pengaman tipe A mengacu pada dimensi konstruksi dasar pencetus seismik. Pada pencetus seismik tersedia ruang untuk peletakan elektroda pengaman sebesar 10 mm. Untuk perancangan elektroda pengaman tipe A peletakan elektroda pengaman terhadap filamen sebesar 7 mm.

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.5 dapat dihitung kemiringan muka gelombang S dengan menggunakan Persamaan 2-4. Untuk data no. 1 pada tabel 4.5 nilai (U_0) sebesar 15.1 kV dan waktu dahi (T_s) sebesar $1.2 \mu s$. Dengan menerapkan nilai-nilai ke dalam Persamaan 2-4 diperoleh perhitungan kemiringan gelombang datang S yaitu :

$$\begin{aligned} S &= \frac{U_0}{T_s} \\ &= \frac{15.1}{1.2} \\ &= 12.58 \text{ kV}/\mu s \end{aligned}$$

Untuk data-data pengujian yang lain dari Tabel 4.5, nilai-nilai kemiringan gelombang datang S yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan kemiringan gelombang pada elektroda pengaman tipe A

No.	U_0 (kV)	T_s (μ s)	S (kV/ μ s)
1	15.1	1.2	12.58
2	20.1	1.2	16.67
3	25.0	1.2	20.92
4	30.0	1.2	25.00
5	35.0	1.2	29.17
6	40.0	1.2	33.42
7	45.2	1.2	37.58
8	50.0	1.2	41.67
9	55.0	1.2	45.83
10	60.1	1.2	50.00
11	65.0	1.2	54.25
12	70.2	1.2	58.50

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Mengacu pada pendekatan perhitungan pada sub bab 4.4.1 diketahui nilai kemiringan muka gelombang S, sehingga bisa diperoleh nilai tegangan impuls (U_A). Untuk data no. 1 pada Tabel 4.5 nilai tegangan lebih impuls yang diijinkan ($U_{zul} = U_d$) sebesar 2.2 kV dan nilai kemiringan gelombang datang S sebesar 12.58 kV/ μ s. Dengan menerapkan nilai ini ke dalam Persamaan 2-5 diperoleh nilai tegangan impuls menurut perhitungan yaitu :

$$\begin{aligned}
 U_A &= U_{zul} - \frac{2Sa}{v} \\
 &= 2.2 - \frac{2 \times 12.58 \times 0.007}{300} \\
 &= 2.1994 \text{ kV} \\
 &= 2.2 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai-nilai tegangan impuls (U_A) yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan tegangan impuls pada elektroda pengaman tipe A

No.	U_{zul} (kV)	a (m)	v (m/ μ s)	2S (kV/ μ s)	U_A (kV)
1	2.2	0.007	300	25.17	2.1994
2	2.2	0.007	300	33.33	2.1992
3	2.2	0.007	300	41.83	2.1990
4	2.2	0.007	300	50.00	2.1988
5	2.2	0.007	300	58.33	2.1986
6	2.2	0.007	300	66.83	2.1984
7	2.2	0.007	300	75.17	2.1982
8	2.2	0.007	300	83.33	2.1981
9	2.2	0.007	300	91.67	2.1979
10	2.2	0.007	300	100.00	2.1977
11	2.2	0.007	300	108.50	2.1975
12	2.2	0.007	300	117.00	2.1973

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.9 diketahui nilai tegangan lebih impuls yang diizinkan (U_{zul}) sebesar 2.2 kV dengan tingkat kemiringan gelombang surja yang berbeda-beda sebesar 25.17 kV/ μ s hingga 117.00 kV/ μ s. Selisih tegangan impuls tertinggi dan terendah sebesar 0.0021 kV. Tegangan impuls rata-rata (U_A) sebesar 2.1984 kV.

4.4.2. Elektroda Pengaman Tipe B

Penempatan elektroda pengaman tipe B mengacu pada elektroda pengaman tipe A. Pada pencetus seismik tersedia ruang untuk peletakan elektroda pengaman sebesar 7 mm. Untuk perancangan elektroda pengaman tipe A peletakan elektroda pengaman terhadap filamen sebesar 1 mm dengan jarak pergeseran sebesar 3 mm.

Berdasarkan pada data hasil pengujian pada Tabel 4.6 maka dapat dihitung kemiringan gelombang datang S dengan menggunakan Persamaan 2-4. Untuk data no. 1 pada tabel 4.6 nilai (U_0) sebesar 15.0 kV dan waktu dahi tegangan impuls T_s sebesar 1.2 μ s. Dengan menerapkan nilai-nilai ke dalam Persamaan 2-4 diperoleh perhitungan kemiringan gelombang datang S yaitu:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{U_0}{T_s} \\
 &= \frac{15.0}{1.2} \\
 &= 12.50 \text{ kV}/\mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Untuk data-data pengujian yang lain dari Tabel 4.6, nilai-nilai kemiringan gelombang datang S yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan kemiringan gelombang pada elektroda pengaman tipe B

No.	U_0 (kV)	T_s (μ s)	S (kV/ μ s)
1	15.0	1.2	12.50
2	20.1	1.2	16.75
3	25.1	1.2	20.92
4	30.0	1.2	25.00
5	35.0	1.2	29.17
6	40.0	1.2	33.33
7	45.1	1.2	37.58
8	50.0	1.2	41.67
9	55.1	1.2	45.92
10	60.0	1.2	50.00
11	65.0	1.2	54.17
12	70.1	1.2	58.42

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Mengacu pada data hasil perhitungan pada sub bab 4.4.2 diketahui nilai kemiringan gelombang datang S, sehingga bisa diperoleh nilai tegangan impuls (U_A). Untuk data no. 1 pada Tabel 4.6 nilai tegangan lebih impuls yang diijinkan ($U_{zul} = U_d$) sebesar 2.1 kV dan nilai kemiringan gelombang datang S sebesar 12.50 kV/ μ s. Dengan menerapkan nilai ini ke dalam Persamaan 2-5 diperoleh nilai tegangan impuls menurut perhitungan yaitu :

$$\begin{aligned}
 U_A &= U_{zul} - \frac{2Sa}{v} \\
 &= 2.1 - \frac{2 \times 12.50 \times 0.001}{300} \\
 &= 2.0999 \text{ kV} \\
 &= 2.1 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai-nilai tegangan impuls (U_A) yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.11.



Tabel 4.11 Hasil perhitungan tegangan impuls pada elektroda pengaman tipe B

No.	U_{zul} (kV)	a (m)	v (m/ μ s)	2S (kV/ μ s)	U_A (kV)
1	2.1	0.007	300	25.00	2.0999
2	2.1	0.007	300	33.50	2.0999
3	2.1	0.007	300	41.83	2.0999
4	2.1	0.007	300	50.00	2.0998
5	2.1	0.007	300	58.33	2.0998
6	2.1	0.007	300	66.67	2.0998
7	2.1	0.007	300	75.17	2.0997
8	2.1	0.007	300	83.33	2.0997
9	2.1	0.007	300	91.83	2.0997
10	2.1	0.007	300	100.00	2.0997
11	2.1	0.007	300	108.33	2.0996
12	2.1	0.007	300	116.83	2.0996

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.11 diketahui nilai tegangan lebih impuls yang diizinkan (U_{zul}) sebesar 2.1 kV dengan tingkat kemiringan gelombang surja yang berbeda-beda sebesar 25.00 kV/ μ s hingga 116.83 kV/ μ s. Selisih tegangan impuls tertinggi dan terendah sebesar 0.0003 kV. Tegangan impuls rata-rata (U_A) sebesar 2.0997 kV.

Berdasarkan data hasil perhitungan pada Tabel 4.9 dan 4.11 untuk perancangan satu elektroda pengaman tidak dipengaruhi amplitudo atau kemiringan muka gelombang S.

Perbandingan hasil perhitungan nilai tegangan impuls (U_A) untuk elektroda pengaman tipe A dan tipe B adalah sama yaitu sebesar 2.1 kV. Ini menunjukkan bahwa tegangan impuls (U_A) tidak dipengaruhi oleh penempatan elektroda pengaman sepanjang ruang yang tersedia pada pencetus seismik yaitu sebesar 10 mm.

4.4.3. Elektroda Pengaman Tipe C

Elektroda pengaman tipe C merupakan perpaduan antara rancangan elektroda pengaman tipe A dan tipe B yang pemasangannya disusun secara paralel. Berdasarkan Gambar 2.7 jarak penempatan antara elektroda A dan elektroda B sebesar 3 mm.

Berdasarkan pada data hasil pengujian pada Tabel 4.7 maka dapat dihitung kemiringan gelombang datang S dengan menggunakan Persamaan 2-4. Untuk data no. 1 pada tabel 4.7 nilai (U_0) sebesar 15.0 kV dan waktu dahi tegangan impuls T_s sebesar 1.2 μ s. Dengan menerapkan nilai-nilai ke dalam Persamaan 2-4 diperoleh perhitungan kemiringan gelombang datang S yaitu :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{U_0}{T_s} \\
 &= \frac{15.1}{1.2} \\
 &= 12.58 \text{ kV}/\mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Untuk data-data pengujian yang lain dari Tabel 4.7, nilai-nilai kemiringan gelombang datang S yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan kemiringan gelombang pada elektroda pengaman tipe C

No.	U ₀ (kV)	T _s (μs)	S (kV/μs)
1	15.1	1.2	12.58
2	20.1	1.2	16.75
3	25.0	1.2	20.83
4	30.0	1.2	25.00
5	35.0	1.2	29.17
6	40.0	1.2	33.33
7	45.2	1.2	37.67
8	50.0	1.2	41.67
9	55.0	1.2	45.83
10	60.1	1.2	50.08
11	65.0	1.2	54.17
12	70.2	1.2	58.42

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dengan mengacu pada data hasil perhitungan pada sub bab 4.4.2 diketahui nilai kemiringan gelombang datang S, sehingga bisa diperoleh nilai tegangan impuls (U_A). Untuk data no. 1 pada Tabel 4.7 nilai tegangan lebih impuls yang diijinkan (U_{zul} = U_d) sebesar 1.7 kV dan nilai kemiringan gelombang datang S sebesar 12.58 kV/μs. Dengan menerapkan nilai ini ke dalam Persamaan 2-5 diperoleh nilai tegangan impuls menurut perhitungan yaitu :

$$\begin{aligned}
 U_A &= U_{zul} - \frac{2Sa}{v} \\
 &= 1.7 - \frac{2 \times 12.58 \times 0.001}{300} \\
 &= 1.6999 \text{ kV} \\
 &= 1.7 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Untuk nilai-nilai tegangan impuls (U_A) yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil perhitungan tegangan impuls pada elektroda pengaman tipe C

No.	U_{zul} (kV)	a (m)	v (m/ μ s)	2S (kV/ μ s)	U_A (kV)
1	1.7	0.007	300	25.17	1.6999
2	1.7	0.007	300	33.50	1.6999
3	1.7	0.007	300	41.67	1.6999
4	1.7	0.007	300	50.00	1.6998
5	1.7	0.007	300	58.33	1.6998
6	1.7	0.007	300	66.67	1.6998
7	1.7	0.007	300	75.33	1.6997
8	1.7	0.007	300	83.33	1.6997
9	1.7	0.007	300	91.67	1.6997
10	1.7	0.007	300	100.17	1.6997
11	1.7	0.007	300	108.33	1.6996
12	1.7	0.007	300	116.83	1.6996

Sumber : Hasil pengujian dan analisis

Dari Tabel 4.13 diketahui nilai tegangan lebih impuls yang diizinkan (U_{zul}) sebesar 1.7 kV dengan tingkat kemiringan gelombang surja yang berbeda-beda sebesar 25.17 kV/ μ s hingga 116.83 kV/ μ s. Selisih tegangan impuls tertinggi dan terendah sebesar 0.0003 kV. Tegangan impuls rata-rata (U_A) sebesar 1,6997 kV.

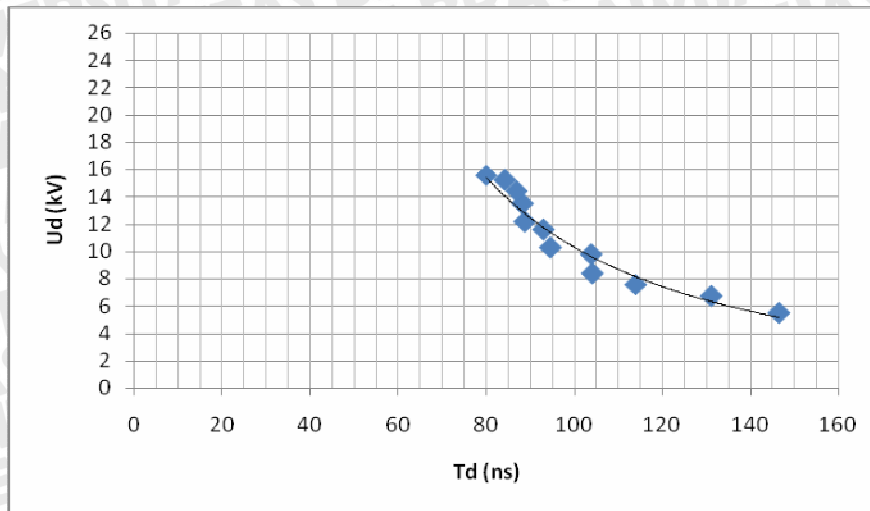
Berdasarkan data hasil perhitungan pada Tabel 4.9, 4.11 dan 4.13 dengan mengacu pada Persamaan 2-7, bila dipasang dua buah elektroda pengaman yang disusun paralel pada pencetus seismik diperoleh nilai tegangan potong yang lebih tinggi dan waktu potong yang lebih singkat, hal ini disebabkan karena probabilitas proses terjadinya tembus lebih besar.

4.5. Kurva Tegangan-Waktu (V-t curve)

Kurva tegangan-waktu digunakan untuk mengamati karakteristik sistem pengaman yang sudah dirancang. Kurva tegangan-waktu sistem pengaman dapat ditentukan berdasarkan tegangan impuls terpotong (U_d) dan waktu potongnya (T_d).

4.5.1. Kurva Tegangan-Waktu Sistem Pengaman Rancangan Awal

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.4 maka dapat diperoleh kurva tegangan-waktu untuk sistem pengaman rancangan awal yang diperlihatkan pada Gambar 4.2.



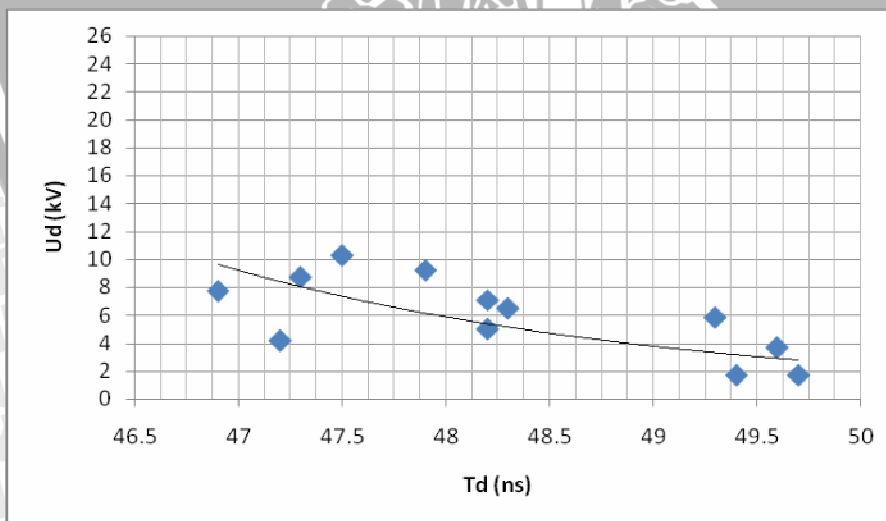
Gambar 4.2 Karakteristik kurva tegangan-waktu sistem pengaman rancangan pendahulu

Sumber: Hasil analisis

Pada Gambar 4.2 dapat diamati daerah pemotongan tegangan terletak pada tegangan 5.5 kV hingga 15.6 kV dan daerah waktu potongnya terletak pada 146.5 ns hingga 79.9 ns. Selisih tegangan potong tertinggi dan terendah sebesar 10,1 kV.

4.5.2. Kurva Tegangan-Waktu Elektroda Pengaman Tipe A

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.5 maka dapat diperoleh kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe A yang diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Karakteristik kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe A

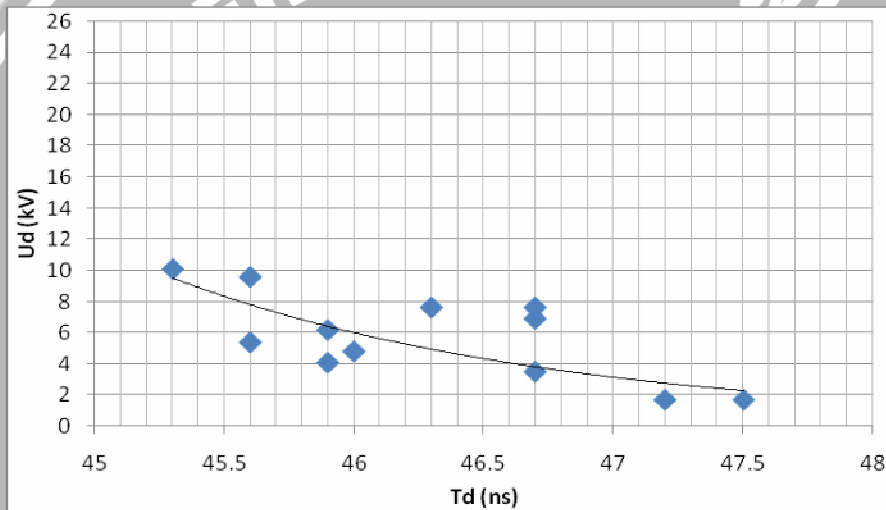
Sumber: Hasil analisis

Pada Gambar 4.3 dapat diamati daerah pemotongan tegangan terletak pada tegangan 2.2 kV hingga 9.8 kV dan daerah waktu potongnya terletak pada 49.7 ns hingga 47.2 ns. Selisih tegangan potong tertinggi dan terendah sebesar 7.6 kV.

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari Gambar 4.2 dan 4.3 Dibandingkan dengan konstruksi sistem pengaman rancangan awal, tegangan potongnya lebih kecil dan waktu potongnya lebih singkat.

4.5.3. Kurva Tegangan-Waktu Elektroda Pengaman Tipe B

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.6 maka dapat diperoleh kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe B yang diperlihatkan pada Gambar 4.4.



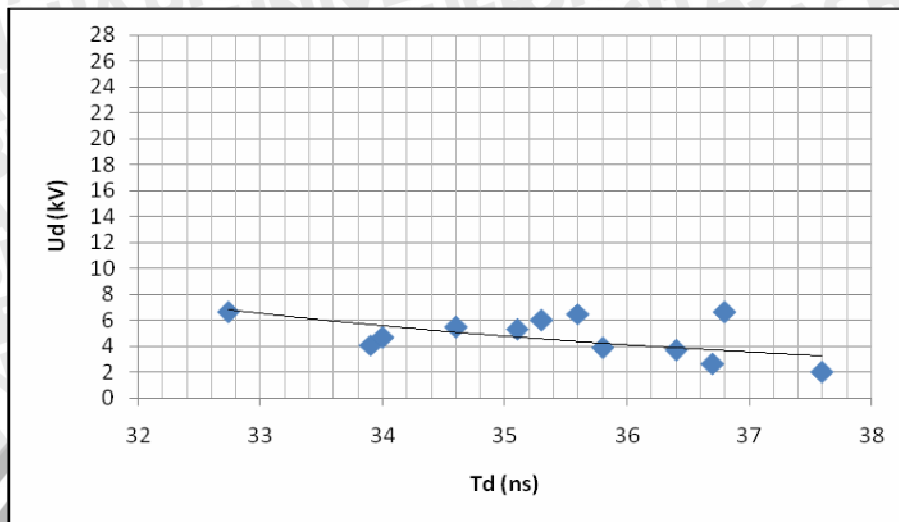
Gambar 4.4 Karakteristik kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe B
 Sumber: Hasil analisis

Pada Gambar 4.4 dapat diamati daerah pemotongan tegangan terletak pada tegangan 2.1 kV hingga 9.6 kV dan daerah waktu potongnya terletak pada 47.2 ns hingga 45.6 ns. Selisih tegangan potong tertinggi dan terendah sebesar 7.5 kV.

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari Gambar 4.3 dan 4.4 untuk elektroda pengaman tipe A dan tipe B tegangan potong dan waktu potongnya relatif sama. Ini menunjukkan sistem pengaman yang dirancang kinerjanya konsisten. Artinya alat ini memotong pada tegangan kerja yang relatif sama.

4.5.4. Kurva Tegangan-Waktu Elektroda Pengaman Tipe C

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.7 maka dapat diperoleh kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe C yang diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Karakteristik kurva tegangan-waktu elektroda pengaman tipe C

Sumber: Hasil analisis

Pada Gambar 4.5 dapat diamati daerah pemotongan tegangan terletak pada tegangan 1.7 kV hingga 7.6 kV dan daerah waktu potongnya terletak pada 37.6 ns hingga 33.9 ns. Selisih tegangan potong tertinggi dan terendah sebesar 5.9 kV.

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 untuk elektroda pengaman tipe C tegangan potong lebih kecil dan waktu potongnya lebih singkat. Namun tetap menunjukkan bahwa makin besar tegangan ujinya makin besar pula tingkat pemotongannya.

Elektroda pengaman tipe A dan tipe B memiliki kurva tegangan-waktu (V-t curve) yang relatif curam dibandingkan dengan elektroda pengaman C, ini berarti tingkat pemotongan tegangan untuk elektroda pengaman tipe A dan tipe B lebih dipengaruhi oleh amplitudo atau kemiringan muka gelombang S. Sedangkan elektroda pengaman C mempunyai tingkat pemotongan tegangan yang relatif datar ini berarti tegangan potongnya sedikit dipengaruhi oleh amplitudo atau kemiringan muka gelombang S.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. a) Sistem pengaman pencetus seismik terhadap bahaya sambaran petir hasil perancangan berupa susunan elektroda silinder dari bahan tembaga dengan panjang 3 mm yang konsentris dengan selubung luar aluminium.
b) Ada dua rancangan elektroda pengaman yang memenuhi persyaratan yaitu rancangan dengan satu elektroda dan rancangan dengan dua elektroda paralel.
c) Pada tegangan uji tertinggi untuk rancangan dengan satu elektroda tegangan potongnya sebesar 9.8 kV dan rancangan dengan dua elektroda paralel tegangan potongnya sebesar 7.6 kV.
2. Rancangan dengan satu elektroda memiliki kurva tegangan-waktu (*V-t curve*) yang lebih curam karena tegangan potongnya lebih dipengaruhi amplitudo atau kemiringan gelombang impuls. Sedangkan rancangan dengan dua elektroda paralel mempunyai kemiringan tegangan potong dari gelombang impuls yang lebih datar ini berarti tegangan potongnya sedikit dipengaruhi amplitudo atau kemiringan gelombang impuls. Dengan demikian rancangan dengan dua elektroda paralel lebih baik dipasang untuk sistem pengaman pencetus seismik.

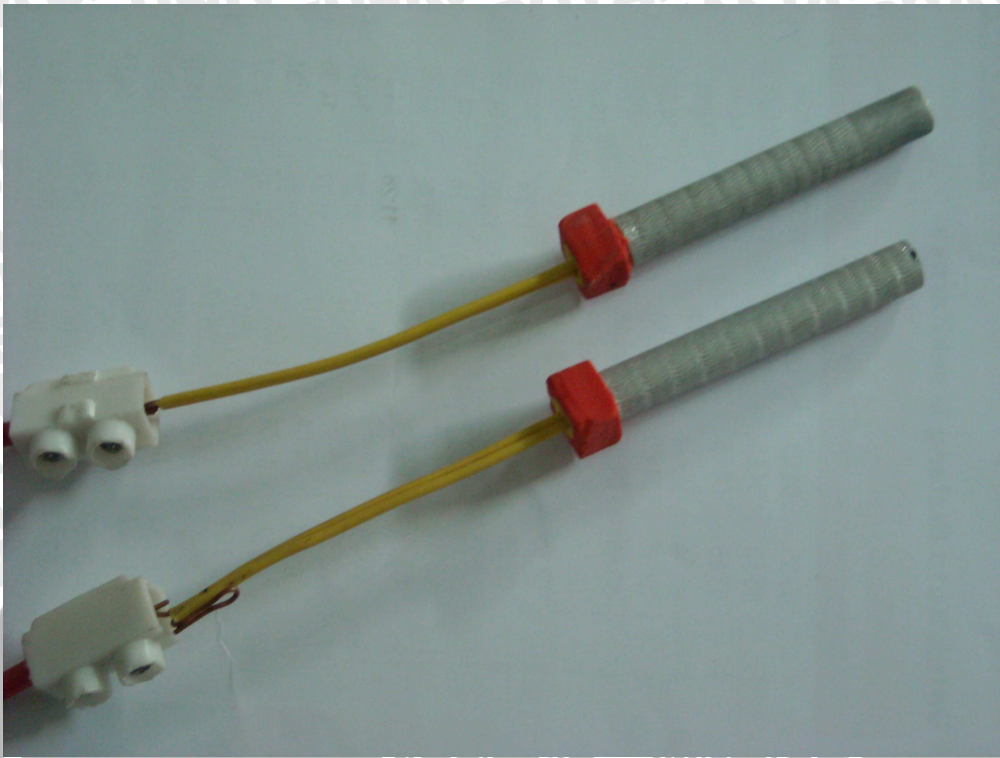
5.2. Saran

Dalam merancang dan membuat sistem pengaman yang dipasang pada pencetus seismik, perlu diperhatikan detail konstruksi dalam proses pembuatannya sehingga konsistensi hasil pengujian dapat dipertahankan.

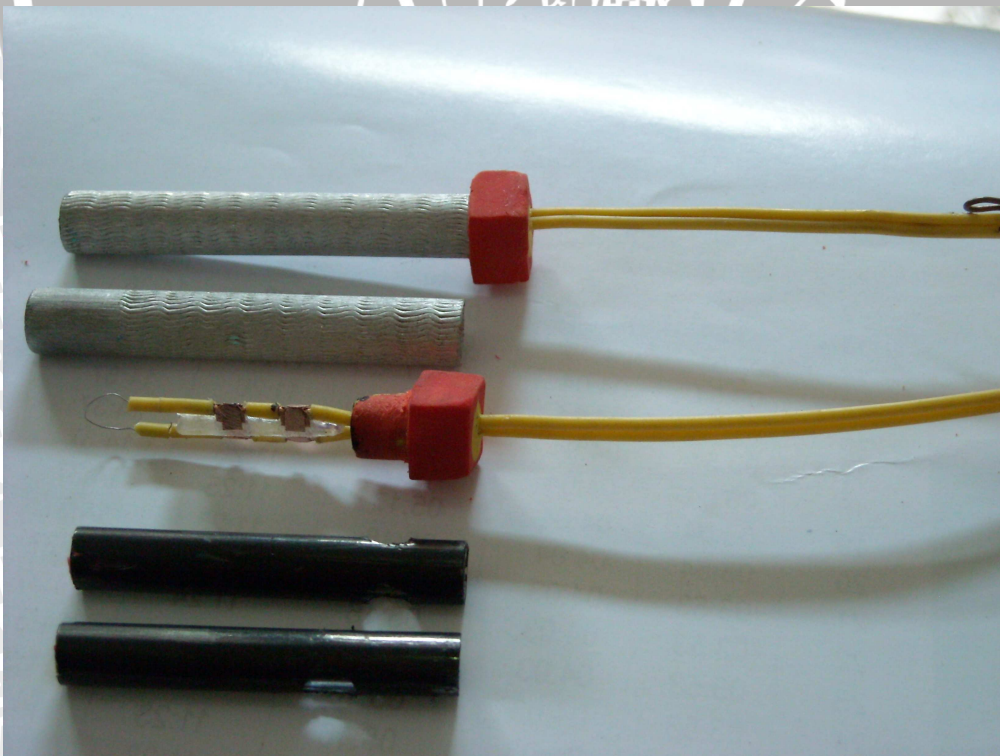
DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A., Prof. Dr., 1994, *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta
- Dhafir, Moch., MT. Ir. Drs., 1997, *Gejala Medan Tinggi*. Jilid kesatu, Malang.
- Hutauruk, T.S. 1991, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Edisi kedua, Jakarta: Erlangga.
- Kind, Dieter, 1993, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi, Terjemahan KT. Sirait*, Penerbit ITB Bandung
- Koesoemadinata., Prof. Dr., 2003, *Geologi Eksplorasi*, Penerbit ITB Bandung
- Modul Praktikum Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang.
- Santoso, Djoko., Prof. Dr. Ir. M.Sc., 2003, *Seismologi Eksplorasi*, Penerbit ITB Bandung
- Tobing, L, Bonggas. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustak Utama
- White, J.E. 1965, *Seismic Waves*, McGraw-Hill Inc, America
- Orica, 2008, *Orica Seismic Explosive Range*, <http://www.orica.mht/seismic>. diakses tanggal 26 desember 2008
- Ulla, 2008, *Seismologist*, PT. Daqing Citra Technology Services. <http://www.geofisikaunhas.mht/surveyseismik>. diakses tanggal 26 desember 2008

Lampiran 1



Gambar 1. Konstruksi pencetus seismik tampak luar



Gambar 2. Konstruksi bagian dalam pencetus seismik yang sudah dilengkapi dengan elektroda pengaman hasil perancangan

