

**RANCANG BANGUN *FLAMETHROWER* BERBASIS ARDUINO UNTUK
PEMBERSIH SAMPAH LAYANG-LAYANG PADA SALURAN UDARA
TEGANGAN TINGGI**



**ANGELA WIDIYA PRATAMA
NIM. 18034042/2018**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

**RANCANG BANGUN *FLAMETHROWER* BERBASIS ARDUINO UNTUK
PEMBERSIH SAMPAH LAYANG-LAYANG PADA SALURAN UDARA
TEGANGAN TINGGI**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains



ANGELA WIDIYA PRATAMA

NIM. 18034042/2018

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

RANCANG BANGUN *FLAMETHROWER* BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBERSIH SAMPAH LAYANG- LAYANG PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

Nama : Angela Widiya Pratama
NIM : 18034042
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

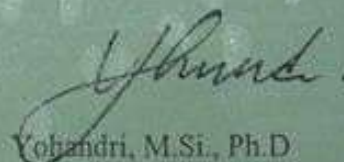
Padang, 03 Juni 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Yohandri, M.Si, Ph.D.
NIP. 197807252006041003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Angela Widiya Pratama
NIM : 18034042
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

RANCANG BANGUN *FLAMETHROWER* BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBERSIH SAMPAH LAYANG- LAYANG PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Departemen
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Padang.

Padang, 03 Juni 2022

Tim Penguji

	Nama
1. Ketua	: Yohandri, M.Si., Ph.D
2. Anggota	: Dr. Asrizal, M.Si
3. Anggota	: Krismadinata, M.T., Ph.D

Tanda Tangan

1.	
2.	
3.	

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Angela Widiya Pratama

NIM/TM : 18034042/2018

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul: "Rancang Bangun *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi" adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Angela Widiya Pratama

NIM. 18034042

**Rancang Bangun *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah
Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi
Angela Widiya Pratama**

ABSTRAK

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan listrik berkapasitas besar. SUTT banyak mengalami gangguan salah satunya akibat layang-layang yang tersangkut pada konduktor. Untuk membersihkan layang-layang dengan cara konvensional mengharuskan pekerja merayap di atas konduktor, pekerjaan yang dilakukan akan mengancam keselamatan dan memakan banyak waktu serta kerugian finansial. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dirancang *flamethrower* (penyembur api). Alat ini berguna untuk membakar sampah layang-layang pada SUTT yang pengendaliannya menggunakan dua *controller* yaitu *transmitter* dan *receiver* dengan Arduino sebagai pusat kontrol. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan spesifikasi performansi dan spesifikasi desain yang dihasilkan *flamethrower* berbasis arduino.

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa dimana dalam penelitian menjelaskan spesifikasi performansi yang menjabarkan kinerja alat dan spesifikasi desain yang menjelaskan pengaruh variasi diameter *nozzle* terhadap panjang semburan api serta akurasi dan ketelitian waktu yang dibutuhkan untuk membakar layang-layang yang dihasilkan oleh *flamethrower* berbasis arduino.

Berdasarkan tujuan pada penelitian didapatkan hasil spesifikasi desain *flamethrower* yaitu tingkat persentase ketepatan rata-rata waktu sebesar 99,663%. Sedangkan nilai ketelitian waktu sebesar 99,115%. Maka didapatkan kesimpulan untuk spesifikasi performansi alat bahwa komponen pembangun alat dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci: *Flamethrower*, SUTT, Arduino

**Rancang Bangun *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah
Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi
Angela Widiya Pratama**

ABSTRACT

High Voltage Transmission Line (HVTL) is part of the electric power transmission system that functions to distribute large capacity electricity. HVTL experienced many disturbances, one of which was due to the kite getting stuck in the conductor. To clean a kite in the conventional way requires workers to crawl over the conductors, the work being done will threaten safety and take a lot of time and financial loss. Therefore, in this study a flamethrower will be designed. This tool is useful for burning kite waste in HVTL which is controlled using two controllers, namely transmitter and receiver with Arduino as the control center. This study aims to explain the performance specifications and design specifications produced by Arduino based flamethrowers.

This research is an engineering research which describes performance specifications that describe tool performance as well as design specifications that explain the effect of nozzle diameter variations on the length of the flames as well as the accuracy and precision of the time required to burn a kite produced by an arduino based flamethrower.

The results of the flamethrower design specifications were obtained based on the study's objectives, namely a percentage level of average time accuracy of 99.663 %. While the time accuracy value is 99.115 %. The components of the tool builder can then be concluded to work well for the specification of tool performance.

Keyword: Flamethrower, HVTL, Arduino

KATA PENGANTAR



Dengan mengucapkan Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Judul dari Skripsi ini adalah **“Rancang Bangun *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi”**. Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan kepada peneliti, terutama kepada:

1. Bapak Yohandri, S.Si., M.Si., Ph.D sebagai Pembimbing atas segala bantuannya yang tulus ikhlas memberikan bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. H. Asrizal, M.Si dan Bapak Krismadinata, S.T., M.T., Ph.D sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
4. Ibu Syafriani, M.Si., Ph.D sebagai Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

6. Staf Administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Kedua orang tua, keluarga besar tercinta, dan miyawh yang telah memberikan motivasi, bantuan material, non material, serta kasih sayang dan dukungan kepada peneliti.
8. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.
9. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for just being me at all times.*

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berjasa dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Peneliti menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Peneliti berharap mudah-mudahan skripsi ini berguna bagi pembaca sebagai referensi serta sebagai sarana untuk menambah ilmu pengetahuan dan informasi.

Padang, 3 Juni 2022



Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI.....	6
A. Saluran Udara Tingkat Tinggi (SUTT)	6
B. Arduino	19
C. NRF24L01	24
D. <i>Flamethrower</i>	25
E. Prototipe.....	29
F. Gaya.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	32
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	32
B. Alat dan Bahan.....	32

C. Jenis Penelitian.....	32
D. Data dan Variabel Data	33
E. Prosedur Penelitian.....	34
F. Teknik Pengumpulan Data	39
G. Teknik Analisis Data	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
A. Hasil Penelitian	43
B. Pembahasan	54
BAB V PENUTUP	59
A. Kesimpulan.....	59
B. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konduktor ACSR	8
Gambar 2. Konduktor TACSR	9
Gambar 3. Konduktor ACCC	10
Gambar 4. Skema Gangguan Hubung Singkat	14
Gambar 5. Bentuk Fisik Arduino UNO	20
Gambar 6. Bagian-Bagian Pada Arduino UNO	21
Gambar 7. Arduino Nano	22
Gambar 8. Konfigurasi Pin Arduino Nano	22
Gambar 9. NRF24L01 Pinout	25
Gambar 10. Diagram Sistem Penyembur Api	27
Gambar 11. Model <i>Prototyping</i>	29
Gambar 12. Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 13. Susunan Sistem Rancang Bangun <i>Flamethrower</i> Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi	36
Gambar 14. Desain <i>Flamethrower</i> Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Tanpa <i>Drone</i>	37
Gambar 15. Desain <i>Flamethrower</i> Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Dengan <i>Drone</i>	38
Gambar 16. Desain <i>Flamethrower</i> Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Saat Menyemburkan Api	38
Gambar 17. Rangkaian <i>Transmitter</i>	44
Gambar 18. Rangkaian <i>Receiver</i>	45

Gambar 19. Mekanik Alat.....	46
Gambar 20. Bentuk Fisik <i>Flamethrower</i>	47
Gambar 21. UAV Matrice 600 Pro.....	48
Gambar 22. Grafik Pengaruh Variasi Diameter <i>Nozzle</i> Terhadap Panjang Semburan Api.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Arduino UNO.....	20
Tabel 2. Spesifikasi Arduino Nano.....	23
Tabel 3. Spesifikasi Komponen.....	47
Tabel 4. Spesifikasi UAV Matrice 600 Pro.....	48
Tabel 5. Pengaruh Variasi Diameter <i>Nozzle</i> Terhadap Panjang Semburan Api....	49
Tabel 6. Waktu yang Diperlukan untuk Membakar Layang-Layang	50
Tabel 7. Ketepatan Waktu.....	51
Tabel 8. Ketelitian Waktu Pada Alat	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengambilan data menggunakan software tracker video analysis	65
Lampiran 2. Flamethrower Tanpa UAV	66
Lampiran 3. Flamethrower Dengan UAV	67

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan listrik berkapasitas besar ($KHA \pm 1000 \text{ A}$) dari pembangkit tenaga listrik ke Gardu Induk (GI), melalui kawat fasa yang digantung pada isolator antar menara. SUTT berguna juga untuk menghubungkan satu GI dengan GI lainnya. Tanpa SUTT atau jaringan transmisi, listrik tidak mungkin menjangkau titik-titik penggunaanya dalam jarak jauh. Di Indonesia, SUTT dimanfaatkan untuk menyalurkan listrik bertegangan 70 kV dan 150 kV (Chandra, M. E. I., 2021).

Mengacu pada Peraturan Menteri ESDM No. 02 Tahun 2019 tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, membangun bangunan dan menanam tanaman yang memasuki ruang bebas minimum dilarang. Selain dari itu, dalam ruang bebas ini juga dilarang untuk melakukan aktivitas yang membahayakan seperti bermain layang-layang dengan menggunakan benang konduktif disekitar jalur transmisi, karena dapat membahayakan keselamatan jiwa dan dapat mengganggu kontinuitas penyaluran listrik kepada masyarakat. Aturan-aturan ini dibuat untuk menghindari terjadinya banyak gangguan pada SUTT.

SUTT banyak mengalami gangguan, seperti terkena sambaran petir, layang-layang yang tersangkut dan ranting pohon yang menyentuh kawat fasa konduktor. Jenis konduktor SUTT umumnya adalah *Aluminium Conductor Composite Core* (ACCC), *Aluminium Conductor Steel Reinforced* (ACSR) dan *Thermal Aluminium*

Conductor Steel Reinforced (TACSR) (Tobing, L., 2012). Diantara gangguan yang paling banyak menyebabkan terjadinya pemadaman listrik tak terencana yaitu gangguan yang disebabkan oleh layang-layang. Gangguan di saluran transmisi ini dapat menyebabkan terjadinya gangguan hubungan singkat 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah, ataupun 1 fasa ke tanah, bahkan dapat merusak dan membuat penghantar putus.

Salah satu gangguan akibat layang-layang yaitu pada tahun 2020 terjadi gangguan SUTT Ombilin-Indarung sehingga menyebabkan pemadaman dalam rentang waktu yang lama, dimana menurut penelitian Irsyam dan Rizal (2020) panjang kabel listrik jaringan transmisi Ombilin-Indarung yaitu 63,81 kms. Dikarenakan medannya yang sulit dan posisi layang-layang yang bisa berada di tengah span, untuk membersihkan layang-layang dengan cara konvensional mengharuskan pekerja untuk meraih atau memindahkan layang-layang yang tersangkut dengan cara merayap di atas konduktor, pekerjaan yang dilakukan akan mengancam keselamatan dan memakan banyak waktu serta kerugian finansial.

Selain menggunakan cara konvensional atau manual, untuk membersihkan SUTT dapat menggunakan inspeksi robot, inspeksi helikopter, dan inspeksi *drone*. Namun, ketika robot digunakan untuk inspeksi saluran tegangan tinggi, jangkauan aplikasinya terbatas karena dengan kecepatan robot yang lambat dan kemampuan yang tidak memadai untuk mengatasi rintangan (Qi, Shuaitao, 2020). Inspeksi helikopter menggunakan kamera cahaya tampak dan kamera inframerah mengambil gambar tegangan tinggi saluran transmisi, hal ini lebih efisien daripada manual inspeksi dan inspeksi robot untuk pemeliharaan dan perbaikan. Namun, karena investasi besar dalam pembentukan armada helikopter,

pengembangan teknologi khusus juga membutuhkan banyak sumber daya manusia, manajemen dan persiapan teknis yang sangat kompleks dan biaya yang diperlukan untuk inspeksi helikopter menyebabkan kinerja penggunaan helikopter untuk inspeksi jalur terlalu rendah (Fang, Shang, et al, 2020). Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *drone* untuk inspeksi saluran transmisi secara bertahap muncul. Dibandingkan dengan inspeksi helikopter berawak, inspeksi *drone* tidak perlu membawa fotografer, hal ini menghemat biaya dan sederhana dalam operasi.

Berdasarkan permasalahan di atas, dalam penelitian ini telah dirancang alat *flamethrower* (penyembur api) yang akan memudahkan pekerja dalam membersihkan sampah layang-layang yang tersangkut pada SUTT. Alat ini berguna untuk membakar sampah layang-layang pada SUTT yang pengendaliannya menggunakan dua *controller* yaitu *transmitter* dan *receiver*, dengan Arduino sebagai pusat kontrol. Arduino akan terhubung dengan modul NRF24L01 sehingga dapat melakukan komunikasi jarak jauh. Selain menggunakan Arduino UNO, Arduino Nano dan modul NRF24L01, alat ini juga menggunakan *lighter* (pematik api), *oli pump*, *oil tank*, serta *sprayer* sebagai *output*. Api dapat keluar dari *sprayer* ketika *push button* pada *transmitter* ditekan dan modul NRF24L01 akan mengirimkan sinyal perintah ke *receiver* sehingga alat akan menyemburkan api. Untuk menyemburkan api alat memerlukan minyak tanah atau bensin sebagai bahan bakar, selain itu diperlukan juga *drone* sebagai perangkat tambahan untuk menerbangkan alat, sehingga mencapai SUTT. Ketika alat sudah berada pada jarak tertentu dari layang-layang yang tersangkut pada SUTT, pekerja dapat menekan *push button* pada *transmitter* dan alat akan menyemburkan api, sehingga sampah layang-layang yang tersangkut akan

terbakar dari saluran transmisi. Hal ini sangat menghemat waktu pekerjaan, meringankan resiko kecelakaan kerja dan sangat mempermudah pekerja dalam membersihkan sampah layang-layang pada SUTT.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka penulis telah melakukan penelitian dengan judul **“Rancang Bangun *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana spesifikasi performansi *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Prototipe SUTT tanpa arus dan tegangan listrik?
2. Bagaimana spesifikasi desain dari *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Prototipe SUTT tanpa arus dan tegangan listrik?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi untuk merancang suatu alat yang dapat menyemburkan api selama 60 detik.
2. Alat *flamethrower* (penyembur api) diuji coba pada *prototype* SUTT tanpa arus dan tegangan listrik.

3. Alat *flamethrower* (penyembur api) dibatasi mengangkut 1 liter bahan bakar untuk membersihkan 10 sampah layang-layang berukuran 47x50 cm pada *prototype* SUTT tanpa arus dan tegangan listrik.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis spesifikasi performansi *Flamethrower* Berbasis Arduino untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Prototipe SUTT tanpa arus dan tegangan listrik.
2. Menganalisis spesifikasi desain *Flamethrower* Berbasis Arduino untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Prototipe SUTT tanpa arus dan tegangan listrik.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mempermudah pekerjaan dalam pembersihan layang-layang yang tersangkut di SUTT, mengurangi resiko kecelakaan kerja akibat pembersihan layang-layang secara konvensional dan meningkatkan kinerja SUTT.
2. Bidang kajian elektronika dan instrumentasi ataupun jurusan fisika, berguna untuk mengembangkan instrumen berbasis elektronika serta, sebagai acuan pengembangan ilmu dan teknologi.
3. Peneliti lain, sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II KAJIAN TEORI

A. Saluran Udara Tingkat Tinggi (SUTT)

SUTT merupakan saluran yang terbentang di udara guna menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke Gardu Induk. Tenaga listrik yang disalurkan melewati sebuah konduktor yang direntangkan antara *tower* satu dengan *tower* lainnya dengan sumber tegangan tinggi sebesar 150 kV (Alrasyid, 2020). Fungsi SUTT secara umum yaitu untuk menyalurkan daya listrik dari pembangkit ke Gardu Induk melalui konduktor telanjang dengan aman dan daya rugi yang kecil (PLN, 2014). Pada SUTT terdapat beberapa sub sistem diantaranya yaitu, Pembawa Arus (*Current Carrying*), Isolasi (*Insulation*), Struktur *Tower*, Penghubung (*Junctions*), *Monitoring*, dan *Protection*. Pembawa Arus (*Current Carrying*) berfungsi sebagai media pembawa arus pada saluran transmisi SUTT. Pembawa arus ini terbagi lagi menjadi:

1. Konduktor

Konduktor pada SUTT biasanya adalah konduktor berkas atau serabut yang dipilin, guna mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding konduktor pejal dan mempermudah dalam penanganannya. Sifat-sifat bahan konduktor yang digunakan untuk saluran energi listrik yaitu konduktivitas yang tinggi, kekuatan tarik menarik tinggi, berat jenis yang rendah, ekonomis, dan lentur atau tidak mudah patah. Konduktor berguna untuk media pembawa arus pada SUTT dengan kapasitas arus sesuai spesifikasi yang direntangkan lewat tiang-tiang SUTT melalui isolator-isolator sebagai penyekat induktor dengan tiang (PLN, 2014). Bila konduktor telah dipasang pada lokasi transmisi, maka

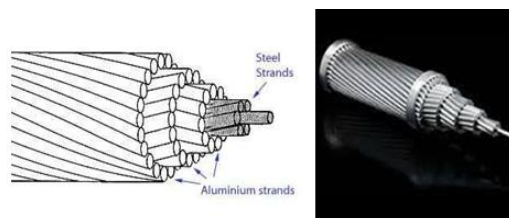
sesuai dengan kondisi lingkungan akan mengalami perubahan suhu. Penyebab kenaikan suhu selain suhu lingkungan adalah arus yang mengalir di dalam konduktor (Aslimer, 1999).

Jika konduktor dialiri arus listrik maka pada konduktor akan timbul panas akibat rugi-rugi daya, di mana hal ini membuat suhu konduktor naik. Selain itu, suhu konduktor juga dapat naik karena adanya pemanasan yang berasal dari sumber panas di sekitarnya, misalnya panas matahari, panas dari mesin-mesin, dan lain-lain (Tobing, L., 2003). Agar sifat fisis bahan konduktor tidak berubah, maka kenaikan suhu konduktor dibatasi sampai suhu maksimum tergantung jenis konduktornya. Oleh karena itu, arus kontinu yang mengalir pada konduktor harus dibatasi hingga pada suhu maksimumnya. Arus tertinggi yang dapat dialirkan secara kontinu oleh suatu konduktor di mana arus tersebut tidak menimbulkan kenaikan suhu konduktor lebih dari suhu maksimum disebut daya hantar arus (*current carrying capacity*).

Jenis-jenis konduktor berdasarkan bahannya terbagi dua yaitu konduktor jenis tembaga (*Bare Copper*) dan aluminium. Konduktor jenis tembaga merupakan penghantar yang baik karena memiliki konduktivitas yang tinggi dan kekuatan mekanik yang cukup baik. Konduktor jenis aluminium, lebih ringan dibanding dengan konduktor jenis tembaga, konduktivitas dan kekuatan mekaniknya lebih rendah. Konduktor aluminium terbagi lagi menjadi beberapa jenis diantaranya:

a. Konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Konduktor ACSR mempunyai kekuatan tarik yang tinggi, tetapi daya hantar listriknya rendah (Aslimer, 1999). Bagian dalam konduktor jenis ACSR berupa *steel* yang mempunyai kekuatan mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Pada sebagian besar SUTT menggunakan konduktor jenis ACSR karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor dari pada bagian dalam konduktor (PLN, 2014). ACSR tidak cocok untuk digunakan di lingkungan bersuhu tinggi. Karena pada suhu tinggi di atas 100°C , kekuatan ACSR berkurang, *sag* meningkat, dan keamanannya sangat menurun. Suhu maksimum ACSR yang diperbolehkan adalah 50°C - 90°C (Qiao, K., Zhu, A., Dkk., 2020). Konduktor ACSR dapat dilihat pada Gambar 1.

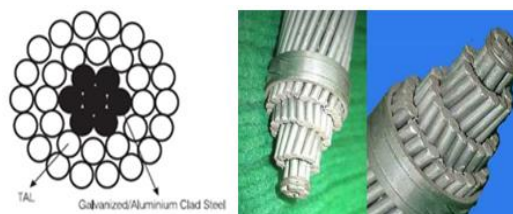


Gambar 1. Konduktor ACSR
(Sumber: PLN, 2014)

b. Konduktor TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Gambar 2 merupakan Konduktor TACSR, konduktor jenis ini memiliki kapasitas lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, pada saluran transmisi yang mempunyai kapasitas penyaluran atau beban sistem tinggi maka dipasang konduktor jenis ini (PLN, 2014). Konduktor TACSR memiliki kemampuan kerja dengan suhu sampai 150°C , sehingga memungkinkan untuk memompa lebih

banyak arus melalui konduktor (Tambunan, J. M., & Mulyono, H., 2019). Jenis konduktor TACSR dikenal sebagai *Thermal Resistance Aluminium* yang merupakan paduan dari konduktor baja penguat, dimana inti terdiri dari baja galvanis dan lapisan luar terdiri dari konduktor aluminium tahan panas. Di dalam penghantar TACSR terdapat sebuah celah kecil antara inti baja dan lapisan aluminium terdalam, dan celah tersebut diisi dengan pelumas tahan panas untuk mengurangi gesekan antara inti baja dan lapisan aluminium serta mencegah masuknya air yang meningkatkan resistansi korosi (Kumar dan Roshi, 2018).



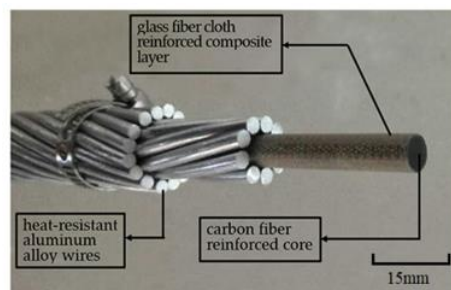
Gambar 2. Konduktor TACSR
(Sumber: PLN, 2014)

c. Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*)

Bagian dalam konduktor jenis ACCC berupa *composite* yang mempunyai kuat mekanik tinggi, karena tidak dari bahan konduktif, oleh karena itu bahan ini tidak mengalami pemuaian saat dibebani arus maupun tegangan. Bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi (PLN, 2014).

ACCC dengan kekuatan spesifik yang lebih tinggi, kepadatan yang lebih ringan, dan kekuatan tarik yang lebih tinggi lebih cocok untuk konduktor *overhead*. Karena material komposit yang diperkuat serat karbon memiliki karakteristik bobot yang ringan, kekuatan tinggi, dan ketahanan korosi. ACCC memiliki sifat mekanik, ketahanan panas, dan

daya dukung arus yang lebih baik jika dibandingkan dengan ACSR, karena ACSR menggunakan inti baja dan kabel paduan aluminium, dengan ukuran yang sama, sedangkan ACCC dapat mengambil lebih banyak kabel paduan aluminium. Suhu maksimum yang diijinkan untuk ACCC adalah 120°C dan 160°C. Pada suhu lingkungan 40°C, daya dukung ACCC adalah 816 A pada suhu operasi 120°C dan 997 A pada suhu operasi 160°C (Qiao, K., Zhu, A., Dkk., 2020). Konduktor ACCC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konduktor ACCC
(Sumber: Qiao, K., Zhu, A., Dkk., 2020)

2. Sambungan konduktor (*Midspan Joint & Jumper Joint*)

Sambungan pada konduktor didefinisikan sebagai perangkat untuk menghubungkan konduktor ke terminal peralatan atau untuk menghubungkan dua atau lebih konduktor satu sama lain. Untuk keperluan saluran udara, konektor cabang digunakan untuk menghubungkan dua panjang konduktor yang berurutan dan konektor cabang digunakan untuk menghubungkan konduktor cabang ke konduktor utama. Sebagian besar *midspan joint* yang digunakan pada konduktor *overhead* listrik telanjang adalah jenis klem kompresi dan jenis baji. Sambungan baut digunakan dalam jumper dan sebagai konektor cabang (Refsnæ, S. S., & Jensvold, H., 2003).

Sambungan konduktor (*Midspan Joint*) merupakan material untuk menyambungkan konduktor penghantar dengan menggunakan alat *press* tekanan tinggi. Sambungan harus memenuhi syarat seperti konduktivitas listrik yang baik dan kekuatan mekanik yang besar. Teknik penyambungan konduktor penghantar ACSR, TACSR dan ACCC yaitu dengan teknik sambungan dengan puntiran dan sambungan dengan *press*. Sambungan konduktor penghantar dengan *press* terdiri dari, selongsong *steel* yang berguna untuk menyambungkan *steel* atau bagian dalam konduktor penghantar ACSR dan TACSR, selongsong aluminium berguna untuk menyambung aluminium atau bagian luar konduktor penghantar ACSR dan TACSR, selongsong *steel* berguna untuk menyambung *Composite Carbon* dalam konduktor penghantar ACCC, dan selongsong aluminium berguna untuk menyambungkan aluminium atau bagian luar konduktor penghantar ACCC (PLN, 2014).

Konduktor penghubung (*Jumper Joint*) digunakan untuk penghubung konduktor pada tiang *tension*. Besar penampang, jenis bahan, dan jumlah konduktor pada konduktor penghubung disesuaikan dengan konduktor yang terpasang pada SUTT. Jarak konduktor penghubung dengan tiang diatur sesuai tegangan operasi dari SUTT konduktor pada tiang *tension* SUTT umumnya dipasang *counter weight* sebagai pemberat agar posisi dan bentuk konduktor penghubung tidak berubah (PLN, 2014). Untuk menghitung panjang pemasangan konduktor *jumper* secara akurat, meningkatkan tingkat penampilan konduktor *jumper*, mengurangi kekuatan konstruksi, mengurangi biaya konstruksi saluran, perlu untuk menetapkan model matematis yang

wajar dari konduktor *jumper* dan mengembangkan perangkat lunak konduktor *jumper* untuk teknik transmisi tenaga (Niu, H. J., Dkk., 2013).

Sub sistem selanjutnya yaitu Isolasi yang berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau *ground*, baik saat normal *continous operation* dan saat terjadi surja di dalam saluran transmisi. Isolasi pada SUTT terbagi menjadi tiga yaitu *Ceramic Insulator*, *Non Ceramic Insulator* dan Isolasi udara di sekitar kawat penghantar (PLN, 2014). Isolasi yang baik harus memenuhi sifat diantaranya Karakteristik Elektrik dan Karakteristik Mekanik. Karakteristik Elektrik yaitu isolasi memiliki ketahanan tegangan impuls petir pengenalan dan tegangan kerja, tegangan tembus minimum sesuai tegangan kerja dan bahan isolasi yang diapit oleh logam merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembapan udara dipermukaannya. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun kerusakan pada isolator, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan gangguan. Karakteristik Mekanik yaitu isolasi harus memiliki kuat mekanik untuk menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat isolasi dan konduktor penghantar (Hadi, F. R., 2017).

Selanjutnya sub sistem Struktur *Tower* yang berfungsi menjaga dan merentangkan kawat penghantar agar berada pada jarak *ground clearance* tertentu sehingga proses transmisi daya berlangsung kontinu. Komponen utama pada struktur *system* transmisi SUTT yaitu Tiang. Tiang merupakan konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga atau merentangkan konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dengan sekat isolasi. Struktur terbagi 3 bagian yaitu *Bracing Tower*,

Mur dan Baut *Tower*, dan Pondasi. *Bracing Tower* berfungsi untuk menjaga dan mempertahankan kawat penghantar pada jarak *ground clearance* tertentu sehingga proses transmisi daya berlangsung kontinu. Mur dan Baut *Tower*, berfungsi untuk menyatukan *bracing* sehingga membentuk suatu konstruksi *tower* (PLN, 2014). Pondasi yaitu konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki *tower (stub)* dengan bumi. Jenis pondasi *tower* beragam menurut kondisi tanah tempat tapak *tower* berada dan beban yang akan ditanggung oleh *tower*. Pondasi *tower* yang menanggung beban tarik (*tension*) dirancang lebih kuat/besar daripada *tower* tipe *suspension* (Hadi, F. R., 2017).

Berikutnya Sub Sistem *Junction* pada sistem transmisi SUTT, *junction* berfungsi untuk menghubungkan pembawa arus, isolasi dan struktur. Komponen atau sub sistem yang berfungsi untuk *monitoring* adalah Plat Informasi *Tower* dan Tangga Panjat. Plat Informasi *Tower* berfungsi untuk memberikan informasi kepada petugas pemeliharaan tentang saluran transmisi yang akan dipelihara dan Tangga Panjat, berfungsi untuk memudahkan petugas untuk melakukan pemanjatan *tower*. Selanjutnya sub sistem *Protection* SUTT merupakan pengaman instalasi dari gangguan yang akan mengganggu kinerja sistem transmisi seperti gangguan petir, getaran atau stres mekanis yang ditimbulkan oleh angin, gangguan dari luar seperti tertabrak pesawat, layang-layang yang tersangkut pada SUTT, dan lain-lain. (PLN, 2014). Gangguan pada sistem transmisi:

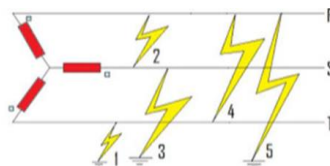
a. Gangguan Beban Lebih

Beban lebih dapat terjadi pada trafo atau pada saluran dikarenakan beban yang dipasoknya terus meningkat, atau karena adanya *maneuver* atau perubahan aliran beban di jaringan setelah adanya gangguan. Beban lebih

dapat mengakibatkan pemanasan yang berlebihan itu dapat mempercepat proses penuaan atau memperpendek umur peralatan listrik (Roza, dkk., 2021).

b. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang sangat berbahaya karena dapat menyebabkan arus yang mengalir menjadi sangat besar di sekitar titik gangguan. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua macam yaitu gangguan hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan hubung singkat simetri terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa dan tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat tidak simetri terdiri dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan antar fasa (Haskara, H., 2016). Skema gangguan hubung singkat dapat dilihat pada Gambar 4, dimana terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat 2 fasa (antar fasa), hubung singkat 2 fasa ke tanah, hubung singkat 3 fasa dan 3 fasa ke tanah, gangguan dapat bersifat *temporary* atau permanen. Gangguan *temporary* contohnya *flashover* karena sambaran petir, pohon atau tertiuip angin dan tersangkutnya layang-layang. Gangguan permanen contohnya hubung singkat yang terjadi pada kabel, belitan trafo atau belitan generator karena tembusnya isolasi padat. Gangguan hubung singkat dapat merusak peralatan secara termis dan mekanis. Kerusakan termis tergantung besar atau lama arus gangguan, sedangkan kerusakan mekanis terjadi akibat gaya tarik-menarik atau tolak menolak (Roza, dkk., 2021).



Gambar 4. Skema Gangguan Hubung Singkat
(Sumber: Roza, dkk., 2021).

c. Gangguan Tegangan Lebih

Tegangan lebih dibedakan sebagai berikut Tegangan lebih dengan *power frequency* dan Tegangan lebih *transient*. Tegangan lebih dengan *power frequency* dapat terjadi karena kehilangan atau penurunan beban di jaringan akibat *switching* karena gangguan atau *maneuver*, gangguan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*) pada generator atau pada *on load tap charger* dari trafo, serta karena *over speed* pada generator karena kehilangan beban. Tegangan lebih *transient*, tegangan ini dibedakan menjadi surja petir (*lightning surge*) dan surja hubung (*switching surge*). Gangguan surja petir dan surja hubung yang memiliki arus yang melebihi kemampuan tahan proteksi SUTT akan menimbulkan kerusakan isolator yang digunakan pada SUTT tersebut (Roza, dkk., 2021).

d. Gangguan Kurang Daya

Kekurangan daya dapat terjadi akibat gangguan di *prime mover* atau di generator atau gangguan hubung singkat di jaringan yang menyebabkan kerjanya relai dan sirkuit *breaker* yang berakibat terlepasnya suatu pusat pembangkit dari sistem. Jika tingkat pembebanan pusat melampaui *spinning reserve system*, maka pusat-pusat pembangkit akan mengalami pembebanan yang berlebihan sehingga frekuensi akan merosot terus, yang akan mengakibatkan runtuhnya sistem (pemadaman total) (Roza, dkk., 2021).

Berdasarkan uraian di atas terdapat banyak gangguan yang bisa terjadi pada SUTT, maka perlu adanya sebuah pengaman yang dapat meminimalisir atau bahkan mencegah terjadinya kerusakan pada SUTT. Berikut beberapa pengaman (*protection*) pada SUTT:

a. Pengaman dari Gangguan Petir

Sambaran petir pada SUTT merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT, sehingga pada SUTT timbul tegangan lebih berbentuk gelombang *impuls* dan merambat ke ujung-ujung SUTT (Hadi, F. R., 2017). Tegangan lebih akibat sambaran petir disebut surja petir. Jika tegangan lebih surja petir tiba di GI, maka tegangan lebih akan merusak isolasi peralatan GI. Oleh karena itu, terdapat komponen-komponen yang termasuk dalam fungsi proteksi petir yaitu Kawat *Ground Steel Wire* (GSW)/*Optic Ground Wire* (OPGW), *Jumper GSW*, *Arcing Horn*, *Transmission Line Arrester* (TLA), Konduktor penghubung dan Pentanahan *tower* (*Grounding*). Kawat GSW/OPGW merupakan media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. *Jumper GSW*, berfungsi untuk menjaga hubungan kawat GSW dan OPGW dengan *tower*. *Arcing Horn*, berfungsi untuk memotong tegangan impuls petir secara pasif (PLN, 2014). TLA, berfungsi untuk meningkatkan *reliability* sistem, TLA harus mampu bertindak sebagai *insulator*, mengalirkan beberapa *miliampere* arus bocor ke tanah pada tegangan sistem dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan *ampere* arus surja ke tanah, memiliki tegangan yang lebih rendah daripada tegangan *withstand string insulator* ketika terjadi tegangan lebih, dan menghilangkan arus susulan mengalir dari sistem melalui TLA setelah surja petir berhasil didisipasikan (Hadi, F. R., 2017).

Konduktor penghubung, berfungsi sebagai media berjalannya surja petir dengan nilai induktansi yang lebih rendah dari induktansi *tower* agar arus petir yang menyambar kawat GSW/OPGW maupun *tower* SUTT dapat langsung

disalurkan ke tanah. Pentanahan merupakan perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berguna untuk meneruskan arus listrik dari *tower* SUTT ke tanah dan menghindari terjadinya *back flashover* pada isolasi saat *grounding* sistem terkena sambaran petir (PLN, 2014). Pentanahan terdiri dari konduktor tembaga/konduktor baja yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium/tembaga di sekitar pondasi *tower* yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir (Hadi, F. R., 2017).

b. Pengaman dari Getaran atau Stres Mekanis yang ditimbulkan Angin

Komponen-komponen yang termasuk dalam pengaman dari getaran atau stres mekanis yang ditimbulkan akibat angin diantaranya yaitu *Spacer*, *Armour Rod*, *Counter Weight* dan *Vibration damper*. *Spacer* berguna sebagai pemisah atau perentang dan peredam getaran pada konduktor serta menjaga konduktor agar pada satu *bundle* fasa bergerak seirama. *Armour Rod*, berguna untuk melindungi aluminium konduktor dari stres mekanis dititik *junction* dengan isolasi pada *tower suspension*. *Counter Weight*, berguna untuk menjaga *jumper* konduktor agar stabil diposisinya sehingga tidak bersentuhan dengan *tower* saat tertiuap angin atau terjadi goncangan. *Vibration damper*, berguna untuk peredam getaran pada titik-titik terminasi antara konduktor dan *insulator* (PLN, 2014).

c. Pengaman dari Gangguan Akibat Manusia

Komponen yang termasuk dalam pengaman gangguan akibat manusia yaitu Anti *Climbing Device* (ACD) atau Penghalang Panjat dan Rambu tanda bahaya. ACD berfungsi untuk menghalangi orang yang tidak berkepentingan

untuk naik ke *tower*, ACD dibuat runcing berjarak 10 cm dengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki *tower* di bawah rambu tanda bahaya. Rambu tanda bahaya, berfungsi untuk memberi peringatan bahwa instalasi SUTT mempunyai resiko bahaya. Rambu ini bergambar petir dan tulisan “AWAS BERBAHAYA TEGANGAN TINGGI”. Rambu ini dipasang di kaki *tower* lebih kurang 5 meter di atas tanah (Sianturi, H. S. Y., 2018).

d. Pengaman dari Gangguan Luar

Komponen yang termasuk dalam pengaman dari gangguan luar seperti pesawat udara, terjun payung, dan lain-lain, yaitu Bola Rambu dan *Aviation Lamp*. Bola Rambu berfungsi untuk memberi tanda bagi pilot pesawat tentang keberadaan saluran transmisi SUTT (PLN, 2014). Bola rambu dipasang pada kawat GSW/OPGW. Selain itu, terdapat pula *Aviation Lamp* (lampu penerbangan) yaitu rambu peringatan berupa lampu terhadap lalu lintas udara, berfungsi untuk memberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat konduktor saluran transmisi (Hadi, F. R., 2017).

e. Pengaman dari Urat Konduktor Putus

Komponen-komponen yang termasuk dalam pengaman dari urat konduktor putus diantaranya yaitu *Repair Sleeve* dan *Amour Rod Span*. *Repair Sleeve* berfungsi untuk melindungi aluminium konduktor dari putus urat aluminium konduktor yang dipasang pada kondisi urat aluminium konduktor putus maksimal 4 urat. *Amour Rod Span*, berfungsi untuk melindungi aluminium konduktor dari putus urat aluminium konduktor yang dipasang pada kondisi urat aluminium konduktor putus maksimal 3 urat (PLN, 2014).

B. Arduino

Mikrokontroler merupakan komponen elektronika yang dapat diprogram dan mempunyai kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram. Mikrokontroler dapat dengan mudah berkomunikasi dengan berbagai perangkat lain seperti sensor, motor, saklar, *keypad*, *display*, memori, dan bahkan dengan mikrokontroler lainnya. Mikrokontroler telah dilengkapi dengan *peripheral* pendukung sehingga membentuk suatu *computer* lengkap dalam level *chip*, secara sederhana mikrokontroler merupakan sebuah IC yang terdiri dari RAM, ROM, *parallel I/O*, *counter*, dan *clock circuit* (Yohandri, 2021).

Arduino adalah *board* mikrokontroler yang terdiri dari *hardware* dan *software* yang bersifat *open source*. *Hardware* pada arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* nya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Pada *board* arduino menggunakan IC mikrokontroler yaitu ATmega8 untuk arduino NG (Severino) dan ATmega 328 untuk arduino mega, nano dan uno. *Software* arduino IDE digunakan untuk membuat program, mengkompilasi dan mengupload program ke dalam IC ATmega. *Software* arduino IDE menghasilkan *file hex* dari baris kode instruksi program yang menggunakan bahasa C dinamakan *sketch* setelah dilakukan *compile* dengan perintah *verify/compile* (Widyo, Jati Leksono, dkk., 2019). Jenis Arduino yang sering digunakan yaitu:

1. Arduino UNO

Arduino UNO memiliki 14 pin input atau *output* dimana 6 pin dapat digunakan sebagai *output PWM (Pulse Width Modulation)*, 6 analog input, kepala ICSP, 16 MHz osilator Kristal, koneksi USB, *jack power*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler, dengan menghubungkan *board* Arduino UNO

ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya. Aduino memiliki kelebihan dibandingkan *board* mikrokontroler lain, yaitu mempunyai bahasa pemrograman sendiri berupa bahasa C. Selain itu, dalam *board* arduino terdapat loader yang berupa USB sehingga memudahkan untuk mentransfer program dari Arduino IDE ke Arduino UNO (Widyo, Jati Leksono, dkk., 2019). Bentuk fisik dari Arduino UNO dapat dilihat pada Gambar 5 dan spesifikasi Arduino UNO dapat dilihat pada Tabel 1.



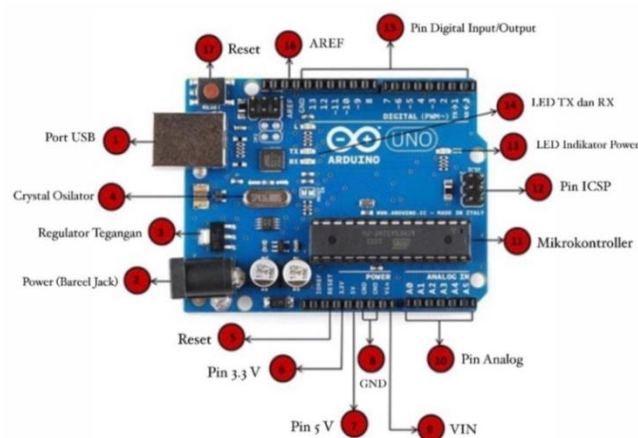
Gambar 5. Bentuk Fisik Arduino UNO
(Sumber: Widyo, Jati Leksono, dkk., 2019)

Tabel 1. Spesifikasi Arduino UNO

No	Karakteristik	Keterangan
1.	Mikrokontroler	ATMega 328
2.	Tegangan Operasi	5 V
3.	Tegangan <i>Input (recommended)</i>	7 – 12 V
4.	Tegangan <i>Input (limit)</i>	6 – 20 V
5.	Pin Digital I/O	14 (6 pin PWM)
6.	Pin Analog <i>Input</i>	6
7.	Arus DC per pin I/O	40 Ma
8.	Arus DC untuk pin 3.3 V	150 Ma
9.	<i>Flash Memory</i>	32 KB dengan 0.5 KB untuk <i>bootloader</i>
10.	EEPROM	1 KB
11.	SRAM	2 KB
12.	Kecepatan	16 Mhz

(Sumber: Widyo, Jati Leksono, dkk., 2019)

Pada *board* Arduino UNO terdapat mikrokontroler dan sejumlah I/O yang memudahkan pemakai dalam menggunakannya. Arduino UNO memiliki 6 pin input analog, dari A0 sampai A5, digunakan untuk membaca sinyal dari sensor analog dan mengubahnya ke digital sehingga terbaca mikroprosesor. Terdapat pula Pin ICSP yang berfungsi untuk memprogram mikrokontroler tanpa melalui *bootloader*. Selanjutnya, LED TX dan RX pada papan yang digunakan, terdapat dua label yaitu TX (*transmit*) dan RX (*receive*). Label muncul di dua tempat, pertama di pin digital 0 dan 1 yang berguna untuk komunikasi serial, kedua TX dan RX LED. TX LED akan berkedip dengan kecepatan yang berbeda ketika mengirimkan data serial. Kecepatan berkedipnya tergantung *baud rate* yang digunakan. RX LED berkedip ketika proses penerimaan. Selanjutnya, Pin Digital I/O, *Board* arduino mempunyai 14 pin I/O digital, 6 diantaranya digunakan sebagai PWM *output*. Pin ini dapat dikonfigurasi agar bekerja sebagai pin *input* digital untuk membaca nilai logika 0 dan 1 atau sebagai *output* digital untuk menjalankan beberapa komponen LED, *relay*, dan lain-lain. Pin yang berlabel “~” adalah pin yang dapat digunakan sebagai PWM (Tutorialspoint, 2016). Bagian-bagian pada Arduino UNO dapat dilihat pada Gambar 6.



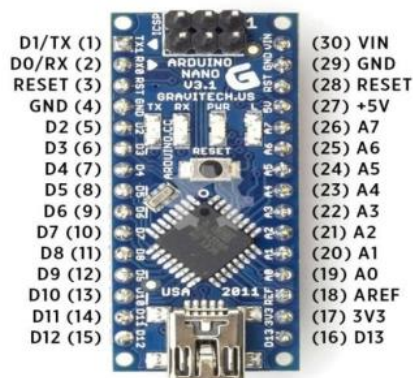
Gambar 6. Bagian-Bagian Pada Arduino UNO
(Sumber: Tutorialspoint, 2016)

2. Arduino Nano

Arduino Nano merupakan sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino Nano mempunyai 14 pin digital *input/output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset*. Arduino Nano memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya (Muchtar, 2017). Pada Gambar 7 merupakan bentuk fisik Arduino Nano dan konfigurasi pin pada Arduino Nano dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Arduino Nano
(Sumber: Muchtar, 2017).



Gambar 8. Konfigurasi Pin Arduino Nano
(Sumber: Wicaksana, 2017).

Pada Gambar 8 terlihat 30 Pin pada Arduino Nano dimana VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya digital. GND merupakan pin *ground* untuk catu daya digital. AREF merupakan referensi tegangan untuk *input* analog, digunakan dengan fungsi *analog Reference()*. *RESET* merupakan Jalur *LOW* ini digunakan untuk *reset* (menghidupkan ulang) mikrokontroler, biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* pada *shield* yang menghalangi papan utama Arduino. Serial RX (0) merupakan pin sebagai penerima TTL data serial dan Serial TX (1) merupakan pin sebagai pengirim TT data serial. *External Interrupt (Interupsi Eksternal)* merupakan pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai. *Output PWM 8 Bit* merupakan pin yang berfungsi untuk data *analogWrite()*. SPI merupakan pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi. LED merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang diset bernilai *HIGH*, maka LED akan menyala, ketika pin diset bernilai *LOW* maka LED padam. LED tersedia secara *built-in* pada papan Arduino Nano. *Input* analog (A0-A7) merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang dapat diukur atau diatur dari *Ground* sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan fungsi *analogReference()* (Wicaksana, 2018). Spesifikasi Arduino Nano dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Arduino Nano

No	Karakteristik	Keterangan
1.	Mikrokontroler	ATMega 168 atau ATMega 328
2.	Tegangan Operasi	5 V
3.	Tegangan <i>Input (recommended)</i>	7 – 12 V
4.	Tegangan <i>Input (limit)</i>	6 – 20 V
5.	Pin Digital I/O	14 (6 pin PWM)

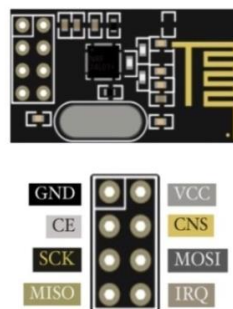
6.	Pin Analog <i>Input</i>	8
7.	Arus DC per pin I/O	40 Ma
9.	<i>Flash Memory</i>	16 KB (ATMega 168) atau 32 KB (ATMega 328)
10.	EEPROM	512 Bytes (ATMega 168) atau 1 KB (ATMega 328)
11.	SRAM	1 KB (ATMega 168) atau 2 KB (ATMega 328)
12.	Kecepatan	16 Mhz

(Sumber: Sadewo, A. D. B., Widasari, E. R., & Muttaqin, A., 2017).

C. NRF24L01

NRF24L01 merupakan modul komunikasi jarak jauh yang bekerja pada gelombang RF 2,4 – 2,5 GHz, yang menggunakan *Serial Peripheral Interface* (SPI) untuk berkomunikasi. Tegangan kerja modul NRF24L01 sebesar 5 Vdc dengan konsumsi arus yang sangat rendah yaitu 9 mA pada *power output* -6 dBm dan 12,3 mA pada Rx mode. Modul NRF24L01 bisa menggunakan 125 saluran yang berbeda dan dapat menciptakan 125 *network* pada satu area. Setiap saluran pada modul bisa memiliki sampai 6 alamat atau modul bisa berkomunikasi dengan 6 modul lainnya dalam waktu bersamaan. Modul ini memiliki *Ultra Low Power (ULP) solution*, yang memungkinkan modul bisa bertahan jangka panjang seperti berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dengan hanya menggunakan baterai AA atau AAA (Septiano, A., & Gozali, T., 2020). Beberapa fitur pada modul NRF24L01 diantaranya yaitu beroperasi pada pita ISM 2,4 GHz, data *rate* hingga 2 Mbps, *ultra low power*, penanganan paket data otomatis dan penanganan transaksi paket otomatis (Effendi, R., Ali, S., & Usmardi, U., 2020).

Modul NRF24L01 memiliki 8 buah pin, yang dapat dilihat pada Gambar 9. Pin GND atau *ground* pada modul berfungsi untuk menghubungkan modul ke *ground* pada *system*. Pin VCC pada modul berfungsi untuk input tegangan sebesar 3,3 V. Pin CE (*Chip Enable*) pada modul berfungsi untuk mengaktifkan komunikasi *Serial Peripheral Interface* (SPI) atau mengaktifkan mode RX atau TX. Pin CSN (*Chip Serial Not*) pada modul berfungsi untuk mengaktifkan input *high* atau mematikan SPI pada keadaan selain *high*. Pin SCK (*Seial Clock*) pada modul berfungsi untuk memasukkan *input clock* pada komunikasi SPI. Pin MOSI yaitu *Master Output, Slave Input*. Pin MISO yaitu *Master Input, Slave Output*. Pin IRQ pada modul merupakan permintaan interupsi di bawah komunikasi nirkabel dan komunikasi MCU dengan modul oleh IRQ (Effendi, R., Ali, S., & Usmardi, U., 2020).



Gambar 9. NRF24L01 Pinout

D. *Flamethrower*

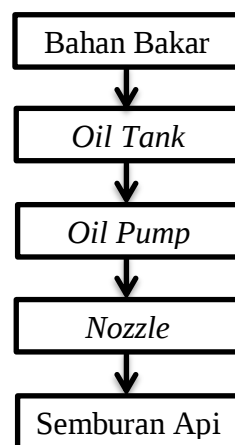
Sebagai saluran utama untuk mentransmisikan energi listrik, saluran listrik bertegangan tinggi harus diperiksa dan dipelihara secara teratur. Adapun metode pemeriksaan dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu inspeksi manual, inspeksi robot, inspeksi helikopter, dan inspeksi *drone*. Inspeksi manual sulit dilakukan karena memerlukan waktu yang lama, biaya tenaga kerja yang tinggi, mengancam keamanan dan keselamatan pekerja. Oleh karena itu, inspeksi robot muncul

seiring waktu yang dibutuhkan. Inspeksi robot adalah perangkat inspeksi otomatis yang digunakan untuk memeriksa apakah kabel transmisi rusak dan apakah palu anti getaran longgar. Sejak robot inspeksi dapat bekerja dalam keadaan terisi daya, dapat menggantikan metode inspeksi manual dan meningkatkan akurasi pemeriksaan. Namun, ketika robot digunakan untuk inspeksi saluran tegangan tinggi, jangkauan aplikasinya terbatas karena dengan kecepatan robot yang lambat dan kemampuan yang tidak memadai untuk mengatasi rintangan (Qi, Shuaitao, 2020).

Mode inspeksi helikopter mengambil gambar jalur transmisi dengan helikopter yang dilengkapi dengan peralatan pencitraan sinar tampak dan inframerah, yang sangat meningkatkan efisiensi pemeliharaan dan perbaikan daya dibandingkan dengan inspeksi manual dan inspeksi robot. Kamera cahaya tampak dan kamera inframerah dipasang di helikopter dan kemudian mengambil gambar tegangan tinggi saluran transmisi, hal ini lebih efisien daripada manual inspeksi dan inspeksi robot untuk pemeliharaan dan perbaikan. Namun, karena investasi besar dalam pembentukan armada helikopter, pengembangan teknologi khusus juga membutuhkan banyak sumber daya manusia, manajemen dan persiapan teknis yang sangat kompleks dan biaya yang diperlukan untuk inspeksi helikopter menyebabkan kinerja penggunaan helikopter untuk inspeksi jalur terlalu rendah (Fang, Shang, et al, 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *drone* untuk inspeksi saluran transmisi secara bertahap muncul. Dibandingkan dengan inspeksi helikopter berawak, inspeksi *drone* tidak perlu membawa fotografer, hal ini menghemat biaya dan sederhana dalam operasi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan

mengembangkan dan memanfaatkan teknologi *drone* untuk melakukan pemeliharaan terhadap SUTT, dimana dalam hal ini akan dirancang bangun sebuah alat penyembur api. Konsep dasar penyembur api (*flamethrower*) adalah menyemburkan api dengan meluncurkan bahan bakar. Penyembur api ini memiliki sebuah tanki untuk menampung bahan bakar cair yang berisikan minyak yang mudah terbakar. Tanki tersebut memiliki tutup sekrup, sehingga dapat diisi ulang dengan mudah. Bahan bakar dalam tanki digerakkan oleh *oil pump* sehingga dapat mengalir pada pipa. Dengan daya pemompaan yang lebih besar, penyembur api akan memiliki jangkauan yang lebih baik dan dengan lebih banyak ruang tangki bahan bakar, akan memiliki amunisi yang lebih banyak. Bahan bakar yang dipompa akan mengalir pada pipa menuju ke *nozzle* atau *sprayer*, sehingga dapat menyemburkan api. Diagram sistem *flamethrower* atau alat penyembur api secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Sistem Penyembur Api

Api merupakan reaksi kimia eksotermik yang menghasilkan kalor, cahaya (nyala), asap dan gas dari bahan yang terbakar sedangkan pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan bakar yang dapat terbakar, serta menimbulkan cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran dikatakan sempurna

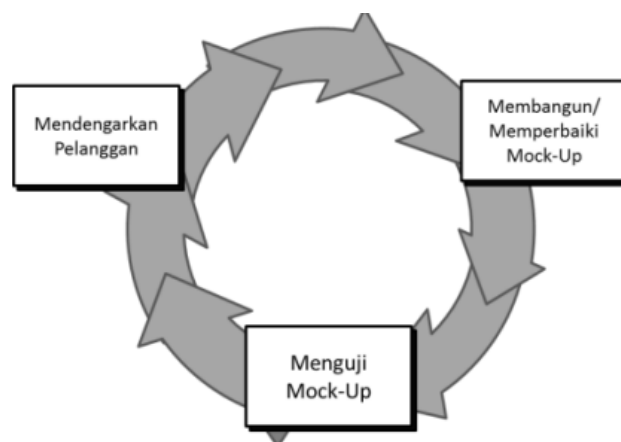
jika campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat. Perbandingan jumlah udara dengan jumlah bahan bakar disebut dengan *Air-Fuel Ratio (AFR)*, perbandingan ini dapat dibandingkan dalam jumlah massa ataupun dalam jumlah volume. Pada proses pembakaran dapat terjadi dalam dua cara, yaitu *premixed* dan *non-premixed*. Api *premixed* terjadi saat bahan bakar dan udara sudah tercampur terlebih dahulu sebelum terjadi reaksi pembakaran, contohnya pada busur nyala api las dan motor pembakaran dalam. Sedangkan api *non-premixed* merupakan api yang berasal dari bahan bakar dengan mengambil udara secara difusi dari lingkungannya, contohnya pada kebakaran rumah, gedung dan kebakaran pada ruangan terbuka lainnya (Rezky, 2008).

Berdasarkan hasil penelitian Efendi (2019) menyatakan bahwa tekanan dan jenis bahan bakar dapat mempengaruhi panjang api pembakaran. Setiap peningkatan tekanan bahan bakar terjadi pula peningkatan panjang api. Selain itu, diameter *nozzle* juga berpengaruh terhadap panjang api, semakin besar diameter maka semakin besar panjang api yang dihasilkan (Rozaqi, M. F., 2019). Rapat massa dan viskositas/kekentalan juga berpengaruh dalam pelontaran api. Rapat massa adalah perbandingan antara massa bahan bakar dengan volume bahan bakar. Viskositas/kekentalan merupakan gaya yang diperlukan untuk menggerakkan suatu bidang dengan luas tertentu pada jarak tertentu dan dalam waktu tertentu pula. Kekentalan suatu bahan bakar menunjukkan sifat menghambat terhadap aliran, dan menunjukkan sifat pelumasnya pada permukaan benda yang dilumasi. Kekentalan bahan bakar berpengaruh besar terhadap terhadap bentuk semprotan bahan bakar (Wibawa, dkk., 2015).

E. Prototipe

Prototype merupakan versi awal dari sistem perangkat lunak yang dipakai untuk mendemonstrasikan konsep, mencoba pilihan desain dan secara umum menemukan lebih banyak permasalahan dan solusi (Sommerville, 2003). *Prototype* menurut Pressman (2002), dimulai dengan mengumpulkan kebutuhan. Pengembang dan pemakai bertemu guna mendefinisikan obyektif keseluruhan dari perangkat lunak, mengidentifikasikan segala kebutuhan dari segi input dan format output serta gambaran interface, kemudian dilakukan perancangan cepat. Dari hasil tersebut nantinya akan dilakukan pengujian dan evaluasi.

Menurut Shalahuddin dan Rosa (2011) model *prototype* digunakan untuk menjabarkan kebutuhan pengguna secara lebih detail. *Prototyping* adalah proses pembuatan model sederhana software yang memungkinkan pengguna memiliki gambaran dasar tentang program serta melakukan pengujian awal. *Prototyping* memberikan fasilitas bagi pengembang dan pemakai untuk saling berinteraksi selama proses pembuatan, sehingga pengembang dapat dengan mudah mendesain perangkat lunak yang akan dibuat. Model *prototyping* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Model *Prototyping*
(Sumber: Shalahuddin dan Rosa, 2011)

Pada Gambar 11 perancangan dilakukan cepat dan rancangan mewakili semua aspek *software* yang diketahui, dan rancangan menjadi dasar dalam pembuatan *prototype*. Tahap selanjutnya yakni menguji *MockUp/prototype* sekaligus mengevaluasi *prototype* yang dibuat dan digunakan untuk memperjelas kebutuhan *software*.

F. Gaya

Gaya adalah sebagai sebuah dorongan atau tarikan terhadap suatu benda (Giancoli, 2001). Gaya adalah besaran yang mempunyai besar dan arah sehingga digolongkan sebagai besaran vektor. Satuan gaya yaitu Newton (N), satu N adalah besarnya gaya yang diperlukan untuk menimbulkan percepatan 1m/s^2 pada benda bermassa 1 kg. Selain Newton, satuan gaya biasa ditulis dalam bentuk kg m/s^2 (Tipler, 1998).

Newton menemukan bahwa persoalan gerak di alam semesta dapat dijelaskan dalam tiga hukum sederhana yang dikenal sebagai Hukum I, II dan III Newton. Hukum I Newton mengartikan adanya sifat kelembaman benda yaitu keberadaan besaran yang dinamai massa. Sifat kelembaman menyebabkan benda cenderung mempertahankan keadaan geraknya. Semua benda cenderung mempertahankan keadaannya, benda diam akan tetap diam dan benda yang bergerak tetap bergerak dengan kecepatan konstan (Abdullah, 2016). Hukum I Newton dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

Hukum II Newton menjelaskan tentang perubahan keadaan gerak benda, benda dapat diubah geraknya jika ada gaya yang bekerja. Besarnya perubahan keadaan gerak benda sama dengan gaya yang diberikan pada benda. Ketika gaya

total $\sum F$ bekerja pada sebuah benda bermassa m maka besar kecepatan berbanding lurus dengan besar gaya total yang bekerja dan berbanding terbalik dengan massa benda. Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja (Cutnell dan Johnson, 2012). Hukum kedua Newton erat kaitannya dengan momentum partikel. Momentum partikel didefinisikan pada Persamaan (2).

$$P = m v \quad (2)$$

Hukum II Newton dapat ditulis dalam kaitannya dengan momentum partikel dengan mendeferensialkan Persamaan (2), maka didapatkan.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} = ma$$

Sehingga, Hukum II Newton dapat dilihat pada Persamaan (3)

$$\sum F = m a \quad (3)$$

Persamaan (3) menyatakan bahwa a adalah percepatan (m/s^2), m (kg) adalah massa, dan $\sum F$ ($kg.m/s^2$ atau Newton) adalah gaya. Berdasarkan hukum II Newton kita dapat mengartikan bahwa gaya sebagai aksi yang dapat mempercepat sebuah benda.

Hukum III Newton menjelaskan keberadaan gaya reaksi sama besar dengan gaya aksi, tetapi berlawanan arah. Jika benda pertama melakukan aksi, maka benda kedua melakukan gaya yang sama besar pada benda pertama tetapi arahnya berlawanan (gaya reaksi) (Abdullah, 2016). Hukum III Newton dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$F_{aksi} = -F_{reaksi} \quad (4)$$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan *Flamethrower* Berbasis Arduino Untuk Pembersih Sampah Layang-Layang Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi didapatkan beberapa kesimpulan:

1. Hasil spesifikasi performansi sistem *flamethrower* berbasis Arduino dilihat dari fungsi dan jalannya rangkaian *transmitter* dan *receiver* yang saling mengirim dan menerima sinyal perintah untuk menyemburkan api, sehingga dapat menghitung panjang semburan api dan waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran layang-layang. Modul NRF24L01 pada rangkaian *transmitter* dan *receiver* dapat berkomunikasi dengan jarak 40 m. Untuk mekanik *flamethrower* sudah menggunakan komponen yang sesuai spesifikasi sehingga menghasilkan alat yang baik.
2. Hasil spesifikasi desain *flamethrower* berbasis Arduino yaitu panjang semburan api, waktu pembakaran, ketepatan dan ketelitian serta gaya. Untuk panjang semburan api, semakin besar diameter maka panjang semburan api akan semakin besar dengan panjang maksimal 6,555 meter. Waktu yang diperlukan untuk pembakaran yaitu 5 detik. Ketepatan waktu pada alat didapatkan dari hasil perbandingan waktu pada *flamethrower* berbasis Arduino dengan alat standar *stopwatch* diperoleh persentasi ketepatan waktu sebesar 99,663%. Ketelitian didapatkan dengan cara menekan *push button* secara berulang sebanyak 10 kali, untuk ketelitian waktu adalah 99,115%. Gaya yang dibutuhkan alat yaitu sebesar 4,05 Newton.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan maka sebagai saran untuk tindak lanjut dan pengembangan penelitian yaitu:

1. Pompa yang digunakan bukan khusus untuk minyak sehingga ketika bahan bakar habis harus dicuci dengan sabun terlebih dahulu agar tidak merusak pompa. Jika menggunakan pompa khusus minyak akan mengurangi pekerjaan untuk mencuci ulang pompa yang digunakan.
2. Melakukan validasi terhadap alat asli buatan pabrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alrasyid, Hidayatullah. 2020. *Upaya Pendeteksian Suhu Hotspot Dengan Pengukuran Suhu Klem Konduktor Pada SUTT 150 kV GI Tangerang Lama dan Taman Semanan Indah Menggunakan Alat Thermovision*. Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Amrullah, S., Jayana, R., Fadhilah, G., & Puspita, A. D. 2021. Perbandingan Kualitas Minyak Pirolisis, Minyak Tanah, dan Solar. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 3(2), 51-57.
- Aslimer. 1999. *Transmisi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Chandra, M. E. L. 2021. *Analisis Pengaturan Tegangan Pada Sistem Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV*. Semarang: Universitas Semarang.
- Cooper, WD. 1999. *Instrumentasi Elektronika dan Teknik Pengukuran*. Jakarta: Erlangga.
- Cutnell, J. D dan K. W. Jognson. 2012. *Physics 9th Edition*. USA: RR. Donneley
- Deb, Dipankar., Dkk. 2019. *Engineering Research Methodology*. Singapore: Springer.
- Djuandi, Feri. 2011. *Pengenalan Arduino*. Jakarta: Penerbit Elexmedia.
- Efendi, A. D. 2019. Analisa Pengaruh Variasi Tekanan Dan Jenis Bahan Bakar Terhadap Sudut Spray Dan Pembakaran Bahan Bakar Yang Disemprotkan Injektor Honda Beat. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, 2(1), 39-48.
- Effendi, R., Ali, S., & Usardi, U. 2020. Kendali Senapan Menggunakan Joystick Berbasis Mikrokontroler ATmega32 Dengan Modul NRF24L01. *Jurnal Litek: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 17(2), 61-68.
- Fang, S., Haiyang, C., Sheng, L., & Xiaoyu, W. (2020, June). A framework of power pylon detection for UAV-based power line inspection. In *2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)* (pp. 350-357). IEEE.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid 1*. Jakarta: Erlangga

- Hadi, F. R. 2017. *Pemetaan Nilai Pentanahan Sutt Sirkuit Ganda 150 Kv Jalur Transmisi Gardu Induk Segoromadu–Gardu Induk Petrokimia* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Gresik).
- Hariwijaya. M. 2017. *Metodologi dan Teknik Penulisan Skripsi, Tesis & Disertasi*. Yogyakarta: Elmatara.
- Haskara, H. 2016. *Koordinasi Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi pada Gardu Induk Mliwang–Tuban Akibat Penambahan Penghantar Pltu Tanjung Awar-Awar* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Hokil, M. F. P. 2019. Peranan Variasi Tekanan Pembakaran Difusi Terhadap Karakteristik Spray Dengan Bahan Bakar Minyak Kapuk. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, 2(1), 49-56.
- Irsyam, N., & Rizal, Y. 2020. Analisis Keoptimalan Jaringan Transmisi Nasional Provinsi Sumatera Barat dengan Algoritma Prim. *UNP Journal of Mathematics*, 3(2).
- Kumar manish, & Roshni Rehangdale. 2018. Comparative Analysis of ACSR and HTLS Conductor. *International Jurnal on Future Revolution In computer Science & Communication Engineering*. 4(5), 29 – 35.
- Muchtar, H., & Hidayat, A. 2017. Implementasi Wavecom Dalam Monitoring Beban Listrik Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi*, 9(1), 1-5.
- Niu, H. J., Wang, J. C., Dong, Y. M., Zhou, L. X., & Li, X. M. 2013. Research on Calculation Method of Jumper Conductor in Overhead Power Transmission Line. In *Advanced Materials Research* (Vol. 614, pp. 1600-1605). Trans Tech Publications Ltd.
- PLN. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi No. 0520-1.K/DIR*. Jakarta.
- Pressman, Roger, S. 2012. *Rekayasa Perangkat Lunak. Pendekatan Praktisi*. Edisi 7. Yogyakarta : Andi
- Qi, S. (2020, September). Cleaning system based on autonomous patrol of UAV and intelligent detection of foreign matters. In *2020 7th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA)* (pp. 675-678). IEEE.

- Qiao, K., Zhu, A., Wang, B., Di, C., Yu, J., & Zhu, B. 2020. Characteristics of heat resistant aluminum alloy composite core conductor used in overhead power transmission lines. *Materials*, 13(7), 1592.
- Refsn , S. S., & Jensvold, H. 2003. Condition monitoring and lifetime assessment of electrical joints for overhead lines. In *17 th International Conference on Electricity Distribution Barcelona* (Vol. 53).
- Rezky, D. P. 2008. Pemadaman Api Bahan Bakar Cair Dan Padat Menggunakan Sistem Kabut Air Multi Nosel Dengan Jarak Antara 4 cm. *Skripsi.*, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Roza, I., Ananda, Y., Siregar, L. A., & Nasution, A. A. 2021. Analisa Energi Terselamatkan SUTT 150 kV Tanpa Pemadaman Di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Medan. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 77-84.
- Rozaqi, M. F. 2019. Pengaruh Variasi Diameter Lubang Nozzle Terhadap Dimensi Droplet, Sudut Spray, Jarak Spray, Dan Bentuk Nyala Api Bahan Bakar Minyak Biji Kapuk. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, 2(1), 17-24.
- Sadewo, A. D. B., Widasari, E. R., & Muttaqin, A. 2017. Perancangan Pengendali Rumah Menggunakan Smartphone Android Dengan Konektivitas Bluetooth. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer E-Issn*, 2548, 964x.
- Septiano, A., & Gozali, T. 2020. NRF24l01 Sebagai Pemancar/Penerima Untuk Wireless Sensor Network. *Jurnal Tekno*, 17(1), 26-34.
- Shalahudin, M., Rosa A. S. 2011. *Modul Pembelajaran Rekayasa Perangkat Lunak*. Bandung. Modula.
- Sianturi, H. S. Y. 2018. *Analisa Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Kuat Tarik Dan Andongan Pada SUTT 150 kV* (Studi Transmisi Sibolga Tarutung).
- Sommerville, Ian. 2003. *Software Engineering*. Edisi 6 Jilid 1. Jakarta. Penerbit Erlangga.

- Tambunan, J. M., & Mulyono, H. 2019. Reposisi dan Penggantian Menara Transmisi 150 kV. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 21(2), 87-99.
- Tipler, P.A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga
- Tobing, L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Tobing, L. 2012. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT Erlangga.
- Tutorialspoint. 2016. Arduino tutorial. *E-book*. www.tutorialspoint.com.
- Wibawa, I. W. S., Kusuma, I. G. B. W., & Budiarsa, I. N. 2015. Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel. *Jurnal METTEK*, 1(2), 35-44.
- Wicaksana, A. S. 2017. *Perancangan Alat Ukur Kekeruhan Pada Air Kolam Menggunakan Optocoupler (Sensor Turbidity) Berbasis Arduino* (Doctoral Dissertation, Universitas 17 Agustus 1945).
- Widyatmika, I. P. A. W., Indrawati, N. P. A. W., Prastya, I. W. W. A., Darminta, I. K., Sangka, I. G. N., & Sapteka, A. A. N. G. (2021). Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 13(1), 35-47.
- Widyo, Jati Leksono., Dkk. 2019. *Modul Belajar Arduino Uno*. Jombang: Universitas Hasyim Asy'ari.
- Wieringa, R., & Heerkens, H. 2007. Designing requirements engineering research. In *2007 Fifth International Workshop on Comparative Evaluation in Requirements Engineering* (pp. 36-48). IEEE.
- Yohandri. 2021. *Mirokontroler dan Pemograman*. Depok: PT RajaGrafindo Persada.