

**RANCANG BANGUN SISTEM PERISAIAN INTERFERENSI
ELEKTROMAGNETIK TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
UNMANNED AERIAL VEHICLE**

(Skripsi)

Oleh

MENACHEM CRISTIAN GURNING



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRACT

THE DESIGN OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE SHIELDING SYSTEM DUE TO LIGHTNING STRIKES ON UNMANNED AERIAL VEHICLE

BY:

MENACHEM CRISTIAN GURNING

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) was an aircraft without human pilot aboard that had been developed rapidly. Hence, it was still susceptible due to lightning strikes that results in a direct effect (DE) and indirect effect (IDE) in UAV. This paper proposed a method to shield Electromagnetic Interference (EMI) by covering body of UAV with aluminium foil at the thickness of 0.15 mm. This method acted similar to a Faraday cage. The experiments were carried out using impulse generator. Two impulse voltage of 100kV and 150 kV was generated and was supplied to high voltage electrode with 1cm distance to UAV. DE was observed by investigating the surface of aluminium foil on UAV and IDE was observed by measuring the induced-voltage inside UAV compartment with electrostatic field meter. Those measurement done when flashover occurred between high voltage electrode and UAV with three striking points, such as: fuselage, nose and wings. The experiments carried out 10 times for each impulse-voltage in order to observe DE and IDE in UAV.

The results showed that UAV undergone DE and IDE. IDE was indicated by the highest average voltage of 1V when the impulse-voltage of 150kV supplied at wing zone. The induced-voltage of 1V was not harm on electronic equipment which was installed in UAV, such as: the 12V brushless DC motor that had the dielectric strength of 500V. It was still far below the dielectric strength and would not be damaged to the component. Furthermore, DE also occurred during the experiments. It was indicated by a damage on surface of aluminium foil. There were holes at the striking point of UAV with diameter of ± 0.1 cm and ± 0.3 cm if the *impulse-voltage* at 100kV and 150kV, respectively. DE could be eliminated by increasing the thickness of aluminium foil became 0.3 mm. Thus, the shielding method was successfully perform in UAV.

Keywords: *Unmanned aerial vehicle (UAV), lightning strike, direct effect (DE), indirect effect (IDE), shielding, induced-voltage, impulse-voltage*

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PERISAIAN INTERFERENSI ELEKTROMAGNETIK TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA UNMANNED AERIAL VEHICLE

Oleh

MENACHEM CRISTIAN GURNING

Pesawat tanpa awak (UAV) merupakan sebuah pesawat yang dikendalikan tanpa pilot di dalamnya dan telah berkembang dengan sangat pesat. Namun, UAV masih rentan terkena sambaran petir yang dapat menyebabkan efek langsung dan efek tidak langsung pada UAV. Penelitian ini menggunakan metode perisai interferensi elektromagnetik (EMI) dengan memasang lapisan aluminium pada ketebalan 0.15 mm pada permukaan luar UAV. Metode ini mirip dengan *sangkar faraday*. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan generator impuls. Tegangan impuls 100 kV dan 150 kV dibangkitkan dan di distribusikan ke elektroda tegangan tinggi yang berjarak 1cm dari UAV. Efek langsung diamati dengan menyelidiki permukaan UAV yang telah terpasang lapisan aluminium dan efek tidak langsung diamati dengan mengukur tegangan induksi di dalam kompartemen UAV dengan menggunakan alat ukur medan elektrostatis. Pengukuran dilakukan pada saat terjadi peristiwa lompatan api (*flashover*) antara elektroda tegangan tinggi dan UAV pada tiga titik sambaran, yaitu: *fuselage*, *nose* dan *wings*. Eksperimen pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap tegangan impuls untuk mengamati efek langsung dan efek tidak langsung pada UAV.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa UAV mengalami efek langsung dan tidak langsung. Efek tidak langsung ini diindikasikan oleh tegangan rata-rata maksimum sebesar 1V ketika tegangan impuls sebesar 150 kV dibangkitkan pada zona *wing*. Tegangan induksi 1V tidak berbahaya terhadap peralatan elektronik yang dipasang pada UAV, seperti: *motor brushless DC 12V* yang memiliki kekuatan dielektrik sebesar 500 V. Tegangan induksi yang terukur masih jauh berada di bawah kekuatan dielektriknya dan tidak berbahaya terhadap komponen. Selain itu, efek langsung terjadi selama pengujian. Hal ini diindikasikan dengan adanya kerusakan pada permukaan UAV dimana terdapat lubang yang berdiameter ± 0.1 cm dan ± 0.3 cm jika tegangan impuls masing-masing dibangkitkan sebesar 100kV dan 150kV pada titik sambar UAV. Efek langsung dapat dihilangkan dengan cara meningkatkan lapisan aluminium menjadi 0.3 mm. Dengan demikian, metode perisai berhasil bekerja pada UAV.

Kata kunci: Pesawat tanpa awak (UAV), sambaran petir, efek langsung, efek tidak langsung, perisai, tegangan induksi, tegangan impuls.

**RANCANG BANGUN SISTEM PERISAIAN INTERFERENSI
ELEKTROMAGNETIK TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
UNMANNED AERIAL VEHICLE**

Oleh

MENACHEM CRISTIAN GURNING

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

**: RANCANG BANGUN SISTEM PERISAIAAN
INTERFERENSI ELEKTROMAGNETIK
TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA
UNMANNED AERIAL VEHICLE**

Nama Mahasiswa

: Menachem Cristian Gurning

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031053

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.
NIP. 19700528 199803 2 003



Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T.
NIP. 19710716 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



10/10-18

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP. 19731128 199903 1 005

Disahkan Tanggal: September 2018

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.**



Sekretaris

: **Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 27 Juni 2018

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Menachem Cristian Gurning

NPM : 1315031053

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Adapun karya orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dicantumkan sumbernya pada daftar pustaka.

Apabila saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2018



Menachem Cristian Gurning

NPM. 1315031053

RIWAYAT HIDUP

Penulis terlahir pada tanggal 7 Mei 1995 dari pasangan Bapak German Gurning dan Ibu Marlina br. Sirait di Duri, Provinsi Riau. Penulis merupakan anak kedua dari lima bersaudara.

Pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar (SD) Swasta 078 Yudika periode tahun 2001-2007, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 4 Mandau selama periode tahun 2007-2010 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Mandau periode tahun 2010-2013 yang berlokasi di Provinsi Riau.

Pertengahan tahun 2013 penulis mencoba mengikuti ujian SBMPTN, hingga pada akhirnya pada bulan September penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mendapatkan beasiswa BBP-PPA periode tahun 2013-2015 dan beasiswa Karya Salemba Empat (KSE) periode tahun 2016-2018. Selain itu, penulis juga pernah menjabat sebagai Presiden UKM-U English Society (ESo) Unila periode tahun 2015-2016, Kepala Divisi Riset, Pendidikan dan Teknologi (Risdiktek) Paguyuban KSE Unila dan Mentor UKM-U English Society (ESo) pada periode tahun 2016-2017. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti kegiatan sosial dan organisasi. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktik di sektor kerja Perawatan Listrik PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. selama 1 bulan (19 September – 18 Oktober) pada tahun 2016.

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

*Bapak dan Emak Tersayang:
German Gurning dan Marlina br. Sirait*

Serta

Saudara /i saya:

*Ariel Sharon Gurning, Jonathan Simon Perez,
Silvia Christiana Gurning dan Deci Thamaria Gurning*

*Yang telah menjadi motivasi dan inspirasi serta tiada hentinya
memberikan dukungan dan doa-nya untuk-ku:*

Uwak 13 (Electrical Engineering '13)

English Society Family

Paguyuban KSE Unila

Unila Robotika & Otomasi

*Terima kasih atas kekeluargaan, doa dan dukungan yang tiada hentinya
mengiringi hingga aku merasa lebih baik dari hari ke hari.*

MOTO HIDUP

Janganslah menahan kebaikan dari pada orang-orang yang berhak menerimanya, padahal engkau mampu melakukannya.

(Amsal 3 : 27)

*Hati orang bepengertian memperoleh pengetahuan,
dan telinga orang bijak menuntut pengetahuan.*

(Amsal 18 : 15)

*Dalam hidup ini kita tidak bisa selalu melakukan hal-hal yang besar,
Tetapi, kita bisa melakukan hal-hal kecil dengan cinta yang besar.*

(Mother Teresa)

*SUKSES adalah meraih apa yang kita inginkan.
BAHAGIA adalah menerima dan menyukai apa yang telah diraih.
BERSYUKUR adalah menyisihkan yang dipunyai
untuk membantu sesama.*

(Andrie Wongso)

SANWACANA

Salam sejahtera, shalom.

Puji syukur selalu terucap dalam setiap nafas yang penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas rahmat dan berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Skripsi berjudul ‘Rancang bangun sistem perisai Interferensi Elektromagnetik terhadap sambaran petir pada Unmanned Aerial Vehicle’ telah berhasil diselesaikan. Dan merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis dengan bangga untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Wakil Rektor Bidang Kemahasiswaan dan Alumni.
3. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
5. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro dan sekaligus sebagai Dosen Penguji.
6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama.
7. Bapak Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping.

8. Bapak M. Komarudin, S.T., M.T. selaku Pembina UKM-U ESo Unila periode tahun 2015-2016 yang telah membantu dan membimbing penulis dalam membangun UKM-U ESo Unila, khususnya dalam memperluas relasi organisasi.
9. Bapak Dr. Ayi Ahadiat, S.E., M.Ba., selaku Pembina UKM-U ESo Unila periode 2015-2016 yang telah membantu dan membimbing penulis dalam membangun UKM-U ESo Unila, khususnya dalam manajemen organisasi dan penguatan internal organisasi.
10. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T. selaku Pembina Unila Robotika dan Otomasi yang telah memberikan fasilitas kepada penulis untuk mempelajari ilmu robotika dan membantu serta mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian skripsi selama menjadi mahasiswa.
11. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku pembimbing akademik penulis selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Unila yang telah mengarahkan dan membimbing penulis.
12. Ayahanda/ Ibunda Yayasan Karya Salemba Empat (KSE) yang telah membantu penulis dalam mengembangkan kemampuan kepemimpinan (*leadership*) dan bantuan beasiswa.
13. Seluruh dosen mata-kuliah Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas semua ilmu yang penulis peroleh selama perkuliahan.
14. Kak Kristian, Anwar, Taufik Qurrohman, Rian Setiawan, Hartati, Vianna Maria Ursula, Arief, Tanjung, Koh Heri, Nouvindri Adji, Rio, Fadlan Satria, Atika, Fajar Kurniasih, Andre, Nivia selaku senior penulis di UKM-U ESo Unila yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menjalankan organisasi.

15. Upi, Nunung, Teika, Inggit, Epi, Ulima, Wayan, Shintia, Bilski, Desy, Rafika, Enday, Noby, Lek Ananto, Ijals, Aris, Irfan, Fa'i, Ketut, Wildan, Enriko, Arif, Ginanjar selaku rekan-rekan seperjuangan organisasi di UKM-U ESo Unila.
16. Seluruh rekan-rekan dan senior di Unila Robotika & Otomasi (URO) yang telah mendukung dan membantu penulis belajar tentang robotika.
17. Seluruh rekan-rekan di Paguyuban KSE Unila yang telah mendukung penulis selama perkuliahan.
18. Bang Ari, Laek Japen, si-bli, gustav, dan bastian selaku rekan-rekan kosan penulis yang telah membantu dan mendukung penulis selama perkuliahan.
19. Laek Wahyu, Ikrom, Wira, Nanang, Nasrul, Ma'ruf, Yasin, Venus, Valen, Rasyid, Rendi, Agung, Fikri, Deri, Fasyin, Nurul, Niken, Ubay, Citra dan Koh Yosep Lim serta rekan-rekan Uwak 13 yang telah membantu dan mendukung penulis untuk berjuang lulus dari Teknik Elektro Unila.

Terima kasih semuanya.

Bandar Lampung, 17 September 2018
Penulis,

Menachem Cristian Gurning

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTO HIDUP	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Perumusan Masalah.....	4

1.6. Hipotesis	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Petir	7
2.2. Efek Petir pada Pesawat	12
2.3. Zona Petir pada UAV Skywalker X-8.....	14
2.4. UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120	18
2.5. Material UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120	20
2.6. Sistem Perisai/ Perlindungan UAV	23
2.7. Generator Impuls	26
2.8. Alat Ukur Medan Elektrostatis Simco FMX-004	29
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2. Jadwal Kegiatan Penelitian	32
3.3. Diagram Alir Penelitian	32
3.4. Alat dan Bahan	34
3.5. Pengujian	35
3.5.1 Pengujian Alat Ukur FMX-004	36
3.5.2 Pengujian Tegangan Impuls pada <i>fuselage</i> , <i>nose</i> dan <i>wing</i> UAV	37

3.6. Pengukuran medan elektrostatis di sekitar UAV	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Hasil	41
4.1.1 Pengujian Alat Ukur FMX-004	42
4.1.2 Pengujian Tegangan Impuls pada UAV	45
4.1.2.A Pengujian Tegangan Impuls pada Fuselage UAV	49
4.1.2.B Pengujian Tegangan Impuls pada Nose UAV	51
4.1.2.C Pengujian Tegangan Impuls pada Wing UAV	52
4.1.3 Pengukuran Medan Elektrostatis di sekitar UAV	54
4.1. Pembahasan	55
4.2.1 Pengujian Alat Ukur FMX-004	55
4.2.2 Pengujian Tegangan Impuls pada UAV	57
4.2.3 Pengukuran Kuat Medan Listrik di sekitar UAV	59
4.2.4 Analisis Kekuatan Isolasi Peralatan di UAV	61
4.2.5 Analisis Efek Langsung pada UAV	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Data frekuensi petir kota Manado tahun 2016	8
2.2. Pembagian zona petir berdasarkan <i>ARP 5412A</i>	15
2.3. Spesifikasi UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120 mm	19
2.4. Standar bentuk tegangan impuls petir	27
2.5. Spesifikasi alat ukur medan elektrostatis Simco FMX-004	29
3.1. Tabel jadwal kegiatan skripsi	32
3.2. Pengujian alat ukur FMX-004 dengan beban 100 Ω	36
3.3. Pengujian tegangan impuls pada UAV	38
3.4. Pengukuran medan elektrostatis di sekitar UAV	40
4.1. Pengujian alat ukur FMX-004 dengan beban 100 Ω dan 10 k Ω	44
4.2. Pengujian tegangan impuls pada fuselage, nose dan wing UAV	53
4.3. Pengukuran medan elektrostatis di sekitar UAV	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Peta kerapatan petir kota Manado tahun 2016	54
2.2 Jenis- jenis sambaran petir	11
2.3 Zona sambar petir pada pesawat komersil	16
2.4 Zona sambar petir pada UAV Skywalker X-8	17
2.5 Sistem miniatur UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120	19
2.6 Material Expanded Polyolefin pada UAV	20
2.7 (a) Material fiber cloth	22
(b) Material lycal resin	22
2.8 Aluminium foil	24
2.9 UAV berlapiskan aluminium foil	25
2.10 Generator impuls berkapasitas 200 kV	26
2.11 (a) Tegangan impuls kilat	26
(b) Tegangan impuls surja hubung	26
(c) Tegangan impuls terpotong	26
2.12 Rangkaian sederhana generator impuls RLC	28
2.13 Alat ukur medan elektrostatik Simco FMX-004	29
3.1 Diagram alir penelitian	33
3.2 Rangkaian komponen <i>dc</i>	35

4.1 (a) Pengujian dengan $V_1 = 15$ V dan kondisi ketiga saklar aktif	42
(b) Pengujian dengan $V_1 = 15$ V dan kondisi ketiga saklar tidak aktif setelah dibangkitkan tegangan	42
4.2 (a) Pengujian dengan $V_2 = 15$ V dan kondisi ketiga saklar aktif	43
(b) Pengujian dengan $V_2 = 15$ V dan kondisi ketiga saklar tidak aktif Setelah dibangkitkan tegangan	43
4.3 (a) Generator impuls berkapasitas 200 kV.....	46
(b) Lempengan konduktor tegangan impuls	46
(c) Set-up pengujian UAV	46
(d) Pengukuran jarak elektroda dengan zona sambar petir UAV	46
(e) Pemasangan konduktor pentanahan UAV	46
(f) Kalibrasi osiloskop	46
(g) Pengaturan sela picu pada generator impuls	47
(h) Pemberian tegangan impuls melalui pengatur tegangan input pembangkit impuls	47
4.4 Bentuk gelombang impuls petir 1.2/40.6 μ s; ± 150 kV	48
4.5 Alat ukur Simco FMX-004	49
4.6 Zona impuls petir (<i>fuselage UAV</i>)	50
4.7 Petir pada <i>fuselage UAV</i> saat tegangan impuls sebesar 150 kV	50
4.8 Zona impuls petir (<i>nose UAV</i>)	51

4.9 Petir pada nose UAV saat tegangan impuls sebesar 150 kV	51
4.10 Zona impuls petir (<i>wing kanan</i> dan <i>wing kiri UAV</i>)	52
4.11 Petir wing UAV saat tegangan impuls sebesar 150 kV	52
4.12 Pengujian alat ukur FMX-004 dengan kondisi ketiga saklar aktif	56
4.13 Grafik tegangan induksi rata – rata pada 3 titik sambaran UAV	57
4.14 Kuat medan listrik pada 2 jarak yang berbeda	59
4.15 <i>Motor brushless dc 12V</i>	61
4.16 (a) Efek secara langsung dengan <i>hole</i> \pm 0,1 cm	62
(b) Efek secara langsung dengan <i>hole</i> \pm 0,3 cm	62
4.17 Percobaan <i>aluminium foil</i> dengan ketebalan 0.30 mm	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pesawat tanpa awak atau yang lebih dikenal dengan istilah *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mengalami perkembangan yang cukup pesat. Pesawat tanpa awak banyak diaplikasikan pada bidang pertanian, jurnalistik, militer dan bidang lainnya. Teknologi ini dapat digunakan untuk mengawasi atau memetakan suatu wilayah. Pengendalian UAV di ruang udara yang dilayani Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Republik Indonesia nomor 90 pada tahun 2015. Pada umumnya, peraturan ini menyatakan bahwa UAV dapat beroperasi dengan ketinggian 150 meter dan terbang pada zona terbang yang diizinkan oleh pemerintah. UAV memiliki beberapa pertimbangan saat mengudara seperti: kondisi UAV, angin, cuaca maupun fenomena alam yang dapat terjadi misalnya, petir.

Petir merupakan peristiwa pelepasan muatan baik positif maupun negatif di awan yang terjadi karena adanya perbedaan potensial listrik antara awan dan awan ataupun awan dan bumi. Petir dapat terjadi dengan tegangan minimal sebesar 1000000 V/m. Indonesia merupakan daerah beriklim tropis yang banyak mengalami hujan dan sambaran petir. Berdasarkan data frekuensi petir dari Stasiun Geofisika Manado pada tahun 2016, jumlah sambaran petir terjadi sebanyak 220029 kali sambaran petir.

Intensitas sambaran petir yang tinggi menyebabkan sebuah pesawat komersil rentan terkena sambaran petir saat dalam penerbangan. Sebuah pesawat komersil memiliki probabilitas terkena sambaran petir sebanyak satu atau dua kali dalam satu tahun. Pada umumnya, petir akan menyambar bagian zona rawan sambaran petir pada struktur luar pesawat yang lebih lancip/ menonjol.

Sambaran petir pada pesawat dapat memberikan efek langsung (*direct effect*) maupun efek tidak langsung (*indirect effect*). Efek langsung merupakan efek berupa kerusakan fisik atau mekanis pada struktur pesawat akibat sambaran petir. Sementara efek tidak langsung merupakan efek berupa induksi elektromagnetis pada daerah sambaran petir dimana efek ini dapat mengganggu sistem *avionic* pesawat. Jika pesawat komersil memiliki probabilitas terkena sambaran petir sebanyak satu atau dua kali dalam satu tahun, maka UAV juga memiliki kemungkinan terkena sambaran petir saat mengudara. Peneliti menggunakan UAV tipe Skywalker X-8. UAV mampu terbang dengan ketinggian 150 – 300 meter di atas permukaan tanah.

UAV masih rentan terkena sambaran petir tipe petir awan ke tanah (*cloud to ground*). Oleh karena itu, UAV membutuhkan sistem perisai yang mampu melindungi UAV terhadap sambaran petir. Perlindungan yang akan dipasang pada UAV berupa pemasangan material *aluminium foil* pada permukaan luar UAV dan akan diuji dengan tegangan impuls yang dibangkitkan oleh generator impuls. Pengujian akan dilakukan pada zona sambar petir UAV dan terletak pada tiga titik zona sambar, yaitu: *fuselage*, *nose* dan *wings* UAV. Perlindungan eksternal ini diharapkan mampu melindungi UAV dan mengurangi efek yang terjadi akibat sambaran petir.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini adalah:

1. Membuat sistem perisaian atau pelindung pada UAV.
2. Menganalisis sistem perisaian atau pelindung yang telah dipasang pada UAV saat terjadi *flashover* dengan tegangan impuls 100 kV dan 150 kV.
3. Menghitung kuat medan listrik (*electric field*) pada UAV saat dibangkitkan tegangan impuls 100 kV dan 150 kV.
4. Menganalisis efek secara tidak langsung (*indirect effect*) dan efek secara langsung (*direct effect*) saat terjadi *flashover* dengan tegangan impuls sebesar 100 kV dan 150 kV.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian skripsi ini adalah:

1. Dapat membuat sistem perisaian atau pelindung pada UAV
2. Dapat menganalisis sistem perisaian atau pelindung yang telah dipasang pada UAV saat dibangkitkan tegangan impuls 100 kV dan 150 kV.
3. Dapat menghitung kuat medan listrik (*electric field*) pada UAV saat dibangkitkan tegangan impuls 100 kV dan 150 kV.
4. Dapat menganalisis efek secara tidak langsung (*indirect effect*) dan efek secara langsung (*direct effect*) saat terjadi *flashover* dengan tegangan impuls sebesar 100 kV dan 150 kV.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian skripsi ini adalah:

1. Tegangan impuls yang digunakan pada pengujian UAV adalah 100 kV dan 150 kV.
2. Tegangan impuls dibangkitkan pada zona titik sambar UAV, yaitu: *fuselage*, *nose* dan *wings* UAV.
3. Pengujian UAV tidak dilakukan saat UAV dalam keadaan mengudara. UAV diuji di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dengan menggunakan generator impuls.
4. Pengukuran kuat medan listrik di luar kompartemen UAV akan dilakukan pada jarak 4 cm dan 40 cm di bawah UAV dengan tegangan impuls sebesar 50 kV.

1.5 Perumusan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang ada, maka perumusan rancangan ini ditekankan pada aspek berikut ini:

1. Bagaimana rancang bangun pelindung UAV menggunakan material *aluminium foil*.
2. Bagaimana mengukur kuat medan listrik saat terjadi *flashover* pada zona sambar UAV.
3. Bagaimana efek secara tidak langsung (*indirect effect*) dan efek secara langsung (*direct effect*) yang terjadi pada UAV setelah dibangkitkan tegangan impuls pada zona sambar UAV.

1.6 Hipotesis

Adapun hipotesis hasil penelitian ini adalah:

Sistem perisaian yang terpasang pada UAV dapat bekerja dengan baik dan menekan adanya efek secara tidak langsung (*indirect effect*) dan efek secara langsung (*direct effect*) pada UAV.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai materi skripsi ini, maka tulisan akan dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, perumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan realisasi rancang bangun pelindung UAV serta memuat tentang efek secara tidak langsung (*indirect effect*) dan efek secara langsung (*direct effect*) pada UAV.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi rancangan dan realisasi tentang rancang bangun pelindung pesawat tanpa awak (UAV), meliputi alat dan bahan, langkah-langkah pengerjaan yang akan dilakukan, cara kerjanya, blok diagram beserta penjelasan masing-masing blok diagram.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan prosedur pengujian, hasil pengujian dan analisis.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Memuat simpulan yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian lapisan pelindung pada pesawat tanpa awak (UAV) serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

Daftar pustaka

Lampiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Petir

Petir merupakan gejala listrik alami dalam atmosfer bumi yang terjadi karena adanya perbedaan potensial antara awan dan bumi atau akibat lepasnya muatan listrik positif maupun negatif di dalam awan. Pergerakan awan secara terus-menerus dan teratur mampu menimbulkan adanya muatan listrik negatif yang berkumpul pada salah satu sisi awan dan muatan positif pada sisi sebaliknya. Interaksi awan mengakibatkan muatan listrik terpolarisasi menjadi dua kutub yang berbeda yaitu muatan positif pada bagian atas dan muatan negatif pada bagian bawah awan. Medan listrik dapat terbentuk akibat adanya induksi muatan negatif pada awan dengan muatan positif di permukaan tanah.

Indonesia secara geografis merupakan wilayah yang berada di daerah *equator*. Hal ini menyebabkan Indonesia memiliki iklim tropis dan banyak mengalami hujan dan sambaran petir [1]. Pada umumnya, data petir dapat dipresentasikan menggunakan data hari guruh (*Thunderstorm days*). Hari guruh (*Ts*) merupakan hari ketika terjadi atau tidak terjadinya guntur. Dan garis yang mempunyai hari guntur yang sama disebut *isoceraunic*. Sementara itu, *isoceraunic level* merupakan jumlah hari guntur (*Ts*) dalam setahun dibagi dengan 365 dan dikalikan 100%.

Isocraunic level (IKL) dapat dirumuskan dengan persamaan 2.1 berikut ini:

$$IKL = (\sum Ts) / 365 \times 100 \% \quad (2.1)$$

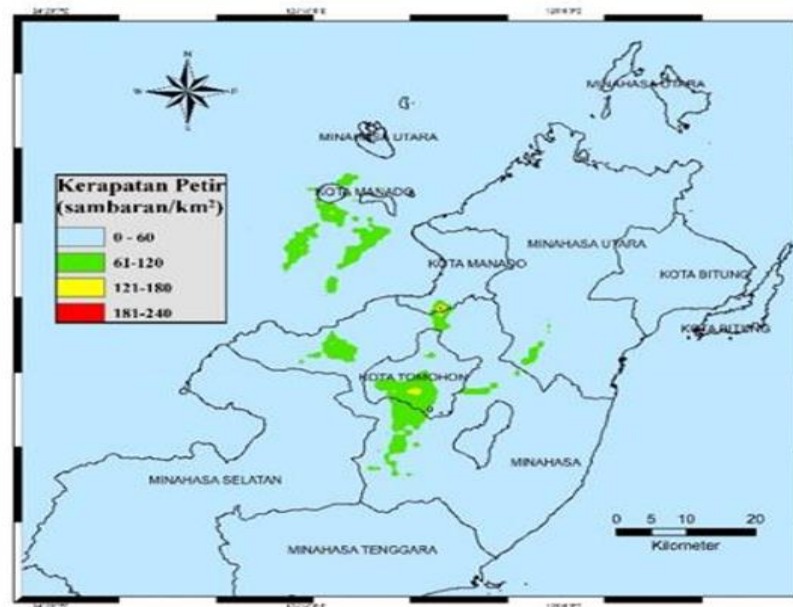
Wilayah Indonesia memiliki potensi rawan sambaran petir dengan indeks yang cukup tinggi, seperti: wilayah kota Manado yang terletak di ujung pulau Sulawesi. Secara geografis, Kota Manado terletak di antara 1°25'88"-1°39'50" LU dan 124°47'00"-124°56'00" Bujur Timur. Berdasarkan data frekuensi petir dari Stasiun Geofisika Manado, jumlah sambaran petir di wilayah kota Manado diperoleh sebanyak 220029 sambaran seperti yang ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data frekuensi petir kota Manado tahun 2016

Bulan	CG +	CG -	Total
Januari	1	4074	4075
Februari	1	2272	2273
Maret	1	2078	2079
April	2	12496	12498
Mei	3	29930	29933
Juni	4	18226	18230
Juli	3	26628	26631
Agustus	3	5214	5217
September	8	10211	10219
Oktober	3	21575	21578
November	11	38694	38705
Desember	7	48584	48591
Total	47	219982	220029

Berdasarkan data tabel 2.1, diperoleh bahwa jumlah sambaran petir pada tahun 2016 adalah sebanyak 220029 sambaran dengan total sambaran $CG +$ sebanyak 47 sambaran dan $CG -$ sebanyak 219982 sambaran. Jumlah sambaran petir terbanyak terjadi pada bulan Desember yakni 48591 sambaran (7 sambaran $CG +$ dan 48584 sambaran $CG -$), sedangkan jumlah sambaran petir paling sedikit adalah pada bulan Maret yakni sebanyak 2079 sambaran (1 sambaran $CG +$ dan 2078 sambaran $CG -$). Sambaran petir awan ke tanah (CG) umumnya terjadi pada saat curah hujan tinggi yang memiliki potensi akan membentuk awan *cumulonimbus* sebagai sumber terbentuknya petir

Sementara itu, peta petir kota Manado tahun 2016 ditampilkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Peta kerapatan petir kota Manado tahun 2016

Peta kerapatan petir pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa wilayah kota Manado memiliki frekuensi sambaran tertinggi sebanyak 181 – 240 sambaran/km².

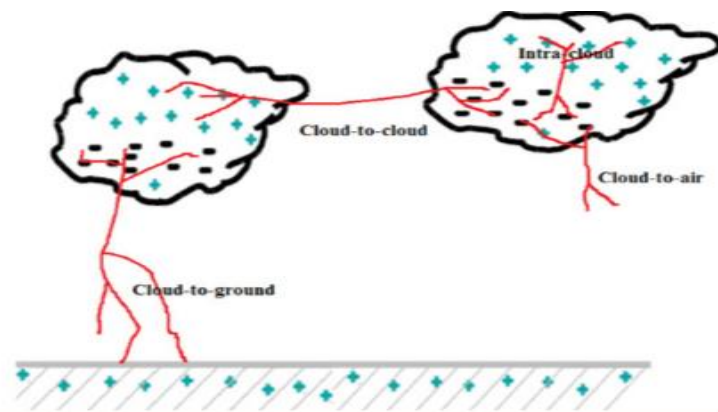
Petir dapat menyambar objek benda yang cenderung berada pada tempat yang tinggi, seperti: gedung ataupun pesawat. Intensitas sambaran petir yang tinggi di wilayah Indonesia menyebabkan pesawat rentan terkena sambaran petir. Pesawat biasanya terkena sambaran petir saat mengudara ataupun lepas landas. Probabilitas pesawat terkena sambaran petir adalah sebanyak satu atau dua kali dalam satu tahun. Sambaran petir dapat mengenai bagian sayap, badan, ekor atau bidang yang memiliki lengkungan tinggi pada pesawat. Kuat medan listrik ketika petir umumnya adalah sebesar 1000000 V/m atau 10 kV/cm [2].

Petir dapat dianalogikan sebagai kondensator raksasa, dimana lempeng pertama adalah awan dan lempeng kedua adalah bumi. Jika beda potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pelepasan muatan elektron dari awan ke bumi. Dalam proses ini, petir akan mencari kerapatan udara yang paling rendah untuk bisa sampai ke bumi. Udara berfungsi sebagai isolasi diantara keduanya. Muatan listrik di dalam awan akan menghasilkan medan listrik yang cukup kuat untuk mengionisasi udara dan menghasilkan bunga api listrik yang dapat berkembang menjadi kilatan petir.

Jenis-jenis sambaran petir umumnya adalah sambaran petir di dalam awan (*intra-cloud*), sambaran petir awan ke bumi (*cloud to ground*) dan sambaran petir antar awan (*cloud to cloud*). Penerbangan UAV pada ketinggian 150 – 300 meter di atas permukaan tanah masih dikategorikan rentan terhadap sambaran petir dengan tipe sambaran petir awan ke bumi (*cloud to ground*).

Sambaran petir pada UAV dapat memberikan efek secara langsung (*direct effect*) maupun efek secara tidak langsung (*indirect effect*). Proses terbentuknya petir tipe awan ke bumi (*cloud to ground*) dimulai ketika adanya gumpalan-gumpalan udara yang terionisasi atau dikenal dengan istilah *pelopor*. Pelopor ini dapat menjalar keluar dari wilayahnya jika medan listrik yang ditimbulkan cukup besar sehingga mampu membentuk kanal-kanal petir yang bercabang-cabang. Peristiwa ini terjadi apabila kekuatan listriknya mencapai 500 kV/m atau sekitar 5 kV/cm dimana pelopor akan berkelok-kelok sejauh 50 meter dengan waktu tempuh sekitar 40 – 100 ms. Pelopor ini disebut sebagai pelopor melangkah (*stepped leader*).

Diameter dari pelopor melangkah adalah antara 1 – 10 meter tergantung besarnya arus. Biasanya, besar arus yang paling rendah adalah 100 A. Pelopor ini akan terkonsentrasi di dalam pusat ionisasi berdiameter 1 cm dengan rata-rata kecepatan bercabangnya (*propagasi*) sebesar $1,5 \times 10^5$ m/s. Jenis-jenis sambaran petir ditampilkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jenis-jenis sambaran petir

2.2 Efek Petir pada Pesawat

Petir berpotensi memberikan efek serius pada operasi pesawat. Menurut beberapa produsen pesawat terbang komersil, kerusakan pesawat akibat terkena sambaran petir dapat menambah lama durasi waktu perbaikan yakni sekitar satu sampai dengan tiga hari untuk sambaran petir biasa. Pesawat dapat tersambar petir walaupun tidak dalam kondisi cuaca yang buruk. Menurut *Edward J. Rupke*, insinyur senior teknik petir di Pitsfield, ia menyatakan bahwa terdapat 27 armada pesawat komersil yang terkena sambaran petir ringan lebih dari sekali setahun. Pesawat dapat mengalami *crash* akibat sambaran petir.

Peristiwa *crash* dapat terjadi karena hilangnya kendali pesawat, masalah tangki bahan bakar atau silaunya kilat petir yang mengganggu pandangan penglihatan pilot selama fase pendaratan kritis. Hal ini dibuktikan dengan hilangnya pesawat *Pan American World Airways 707* pada tahun 1963 dimana pesawat tersebut terbakar akibat terkena sambaran petir dan menyebabkan tujuh penumpang serta delapan awak tewas dalam kecelakaan tersebut. Investigasi kecelakaan mengungkapkan bahwa tangki bahan bakar pesawat meledak. Dan hal ini terbukti dengan ditemukannya bekas sambaran petir di ujung pesawat [3]. Petir biasanya menyambar pada bagian badan pesawat (*fuselage*), depan pesawat (*nose*), sayap (*wings*), ekor (*tail*) maupun pada bagian konstruksi luar pesawat yang menonjol.

Sambaran petir pada pesawat dapat memberikan efek langsung (*direct effect*) maupun efek tidak langsung (*indirect effect*). Efek langsung (*direct effect*) yang terjadi berupa efek kerusakan pada struktur maupun mekanik pada pesawat. Sementara efek tidak langsung (*indirect effect*) dapat memberikan efek elektromagnetik (EM) pada sistem *avionic* pesawat.

Selain efek mekanik dan elektromagnetik yang dirasakan oleh pesawat, efek termal juga memungkinkan dapat terjadi. Arus listrik akibat sambaran petir dapat menyebar di seluruh bagian struktur pesawat, baik pada permukaan luar maupun pada bagian dalam pesawat hingga pada akhirnya arus tersebut akan keluar pada *exit point*. Redistribusi arus pada permukaan pesawat disebut dengan induksi arus. Efek termal dapat memberikan efek yang paling parah karena mampu menghasilkan pemanasan mekanik yang dapat menyebabkan melelehnya mur, timbulnya lubang dan sebagainya.

Sambaran petir juga dapat memberikan efek pada peralatan elektronik pesawat. Efek ini berpotensi menyebabkan perbedaan potensial pada sistem impedansi dan menginduksi kabel disepanjang badan pesawat hingga ke konektor peralatan. Arus tersebut dapat mengakibatkan *efek elektromagnetik*. Dengan pertimbangan bahwa sambaran petir dapat memberikan berbagai efek pada pesawat komersil, tidak menutup kemungkinan bahwa hal ini dapat pula terjadi pada pesawat tanpa awak (UAV) pada saat beroperasi.

Berdasarkan peraturan pengoperasian pesawat tanpa awak (UAV) di ruang udara yang dilayani Indonesia seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Republik Indonesia nomor 90 pada tahun 2015, peraturan ini umumnya menyatakan bahwa pesawat tanpa awak dapat beroperasi dengan ketinggian 150 meter dan terbang pada zona terbang yang diizinkan oleh pemerintah [4].

Ketinggian terbang operasi UAV masih rentan terkena sambaran petir. Jenis petir yang mungkin terjadi adalah petir awan ke tanah (*cloud to ground*). UAV memiliki probabilitas terkena sambaran petir saat fase mendaki (*take off*) ataupun menjelajah (*cruise*) dalam menjalankan misi operasi. Sambaran petir pada UAV berpotensi menimbulkan adanya efek langsung (*direct effect*) maupun efek tidak langsung (*indirect effect*) yang menyerupai efek seperti yang terjadi pada pesawat komersil.

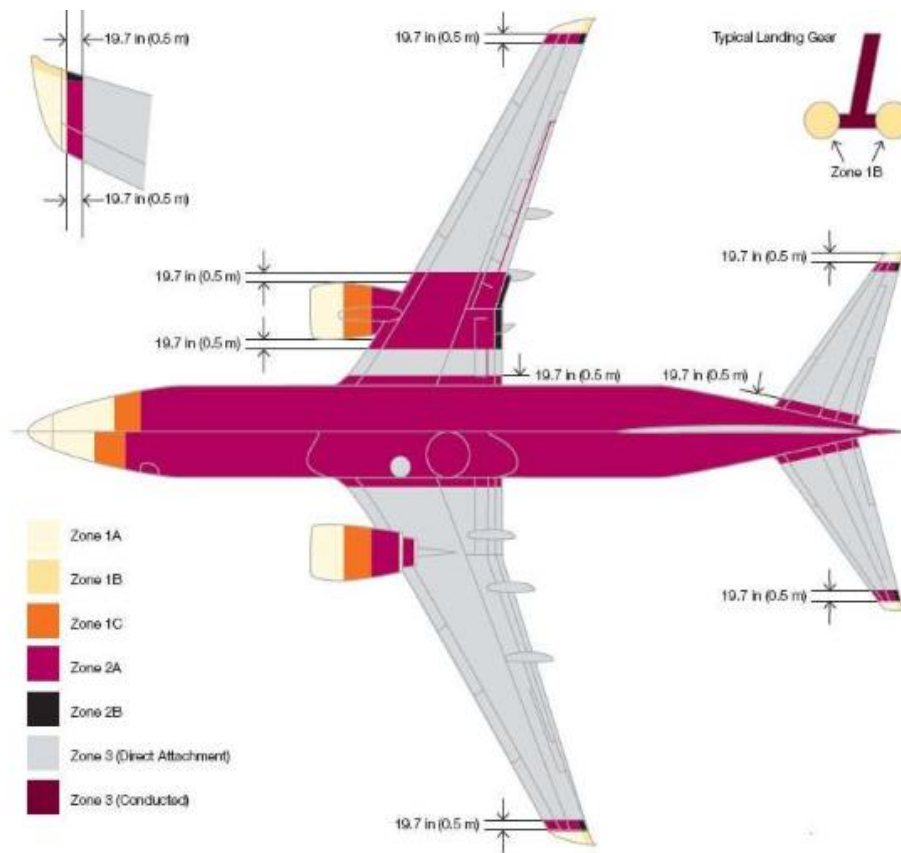
2.3. Zona Petir pada UAV Skywalker X-8

Zoning adalah pengklasifikasian permukaan pesawat terbang yang memiliki kecenderungan terkena sambaran petir. Petir biasanya menyambar pada bagian permukaan pesawat yang menonjol atau bidang yang cenderung lebih tinggi. Daerah sambaran petir ini sangat rentan memberikan efek pada pesawat tersebut. Daerah sambaran petir disebut dengan *zona petir*. Pembagian zona petir berdasarkan *SAE Aerospace* ditampilkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pembagian zona petir berdasarkan *ARP 5412A*

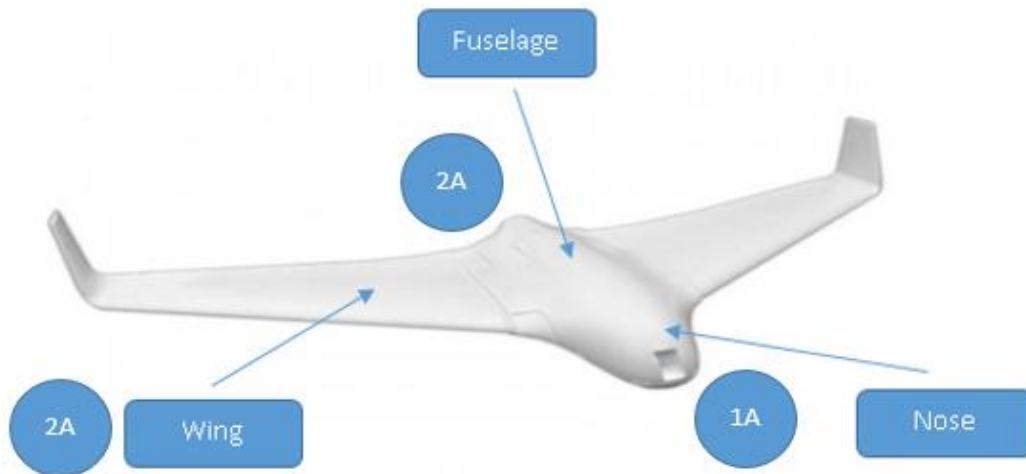
Zona	Sambaran	Keterangan
1A	Zona sambaran balik pertama	Semua bidang permukaan pesawat dimana sambaran pertama kali terlampir dalam waktu yang singkat atau daerah berujung lancip yang memicu terjadinya sambaran petir.
1B	Zona sambaran balik pertama dengan panjang menggantung	Semua bidang permukaan pesawat dimana sambaran pertama kali terlampir dalam waktu yang singkat atau daerah berujung lancip yang memicu terjadinya sambaran petir.
1C	Zona transisi untuk sambaran balik pertama	Semua bidang permukaan pesawat dimana sambaran sapuan terjadi dengan amplitudo rendah dan dalam rentan waktu yang lebih lama.
2A	Zona sambaran balik (<i>return stroke</i>)	Semua bidang permukaan pesawat dimana terjadi sambaran kedua dengan amplitudo lebih rendah dari 1A, tetapi masih lebih tinggi dari 1C dalam waktu yang singkat.
2B	Zona sambaran satuan dengan panjang yang menggantung	Semua bidang permukaan pesawat dimana terjadi sambaran kedua dengan sambaran sapuan dalam waktu yang lebih lama.
3	Zona sambaran selain dari zona 1 dan zona 2	Selain dari zona 1A, 1B, 1C, 2A, 2B yaitu pada bagian-bagian dari pesawat yang terletak di bawah atau diantara zona lainnya [5].

Acuan zona rawan petir *ARP 5412A* ini diaplikasikan pada pesawat komersil dan digunakan sebagai pedoman bagi peneliti untuk menetapkan zona sambar petir pada UAV yang akan diuji. Pada prinsipnya, petir akan menyambar suatu permukaan bidang pesawat yang cenderung lebih tinggi dari struktur luar pesawat tersebut. Zona petir pesawat komersil pada tabel 2.2 di atas, dapat ditampilkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Zona sambar petir pada pesawat komersil

Berdasarkan acuan zona rawan petir *ARP 5412A* pada pesawat komersil, maka zona sambar petir pada UAV yang diuji adalah zona 1A dan zona 2A. Zona 1A dan 2A dipilih karena zona tersebut merupakan daerah rawan sambar petir pada UAV dan merupakan daerah peralatan sistem *avionic* UAV yang rentan terkena efek akibat sambaran petir. Zona sambar petir yang akan diuji pada UAV adalah *fuselage* (zona 2A), *nose* (zona 1A) dan *wings* (zona 2A). Zona petir pada UAV ditampilkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Zona sambar petir pada UAV Skywalker X-8

Fuselage

Daerah *fuselage* UAV merupakan zona 2A. Zona ini merupakan zona yang memiliki tingkat kerawanan sangat tinggi terkena sambaran petir. Daerah *fuselage* ini rentan karena terdapat peralatan elektronik ataupun sistem kontrol di dalam kompartemen *fuselage* serta berdekatan dengan motor penggerak UAV. Zona *fuselage* merupakan zona vital peralatan sistem *avionic* UAV. Dengan demikian, daerah ini akan digunakan sebagai zona titik sambar UAV saat pengujian.

Nose

Daerah *nose* UAV merupakan zona 1A. Zona *nose* merupakan zona yang memiliki kerawanan yang cukup tinggi akan terkena sambaran petir dikarenakan struktur *nose* UAV yang berbentuk lancip. Zona *nose* juga berdekatan dengan zona 2A atau daerah *fuselage* UAV yang memiliki peralatan elektronik di dalam kompartemennya.

Wing

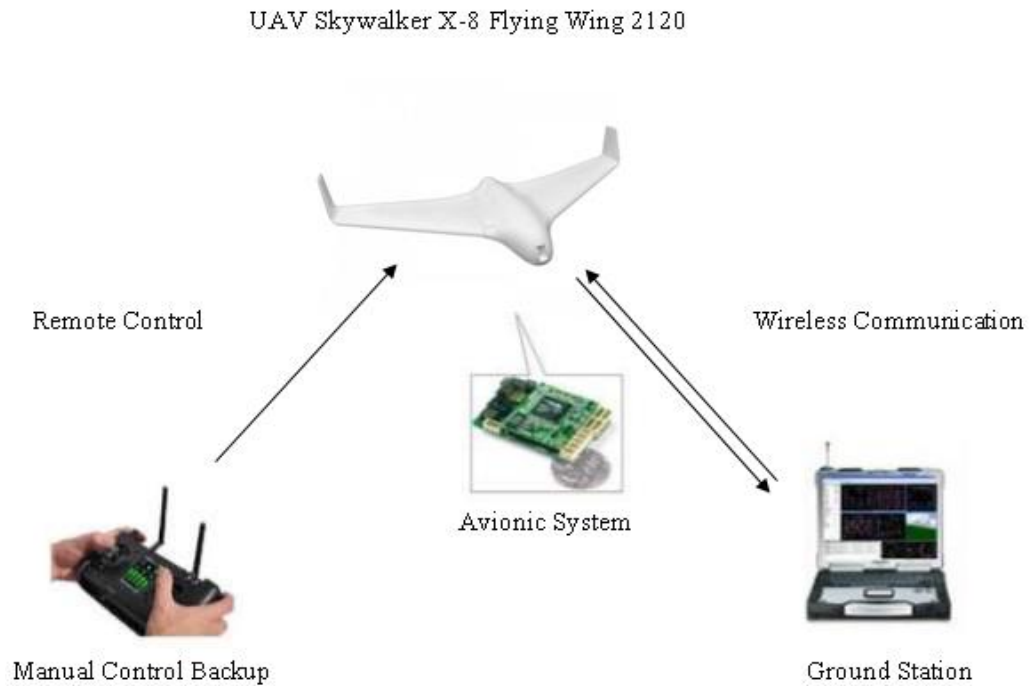
Daerah *wings* merupakan zona 2A. Zona *wing* juga merupakan zona yang memiliki tingkat probabilitas yang cukup tinggi terkena sambaran petir. Komponen yang cukup rawan terkena efek sambaran petir pada zona ini adalah *servo* yang terpasang pada sayap (*wings*) UAV.

2.4 UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau juga dikenal dengan sebutan *drone* merupakan wahana terbang tanpa awak. Penelitian ini menggunakan UAV *Skywalker X-8 Flying Wing 2120*. UAV biasanya digunakan untuk melakukan misi pengawasan atau pemetaan suatu wilayah. UAV mampu terbang dengan ketinggian 150 – 300 meter. UAV dapat terbang dengan pengendalian melalui komputer atau pengontrol jarak jauh (*remote control*) dan juga dapat dikendalikan secara manual oleh pilot. UAV ini memiliki *wingspan* sebesar 2.12 meter dan mampu bermanuver dengan baik dalam misi operasi. UAV dapat diaplikasikan di berbagai sektor, khususnya bidang militer. Sebuah miniatur *UAV Skywalker X-8* secara umum terdiri dari empat komponen seperti:

1. Sebuah miniatur *UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120*
2. Sebuah sistem *avionic*
3. Stasiun di darat
4. Kontrol manual

Sistem miniatur UAV ditampilkan pada ilustrasi gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sistem miniatur UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120

Dan spesifikasi *UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120* ditampilkan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Spesifikasi UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120 mm

Parameter	Dimensi
Wing Span	2.12 m
Motor	400 – 800 watt (tergantung <i>payload</i>)
Propeler	12x 6 – 13x 8
Baterai	4s 3000 mah – 6s 5000 mah
Esc	40 – 70 amp
Maximum AUV	3500 g

2.5 Material UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120

UAV Skywalker X-8 Flying Wing 2120 yang dipakai pada penelitian ini terbuat dari bahan *Expanded polyolefin* atau disingkat dengan *EPO*. Bahan ini merupakan bahan yang sering digunakan untuk membuat pesawat *aeromodelling* pabrikan secara masal, karena mudah untuk dicetak menggunakan cetakan panas dan menghasilkan tingkat produksi yang tinggi pada skala pabrik. Walaupun sekilas terlihat seperti *styrofoam*, bahan ini memiliki sifat mekanis yang sangat berbeda, yakni kuat dan keras serta tentu saja ringan. Bahan ini juga terkenal akan keandalannya saat terjadi *crash*. UAV yang digunakan pada penelitian ini berasal dari buatan pabrik.

UAV tipe Skywalker X-8 Flying Wing 2120 dipilih karena sangat baik digunakan untuk menjalankan misi baik itu pengawasan maupun pemetaan. Material *Expanded polyolefin (EPO)* pada UAV ditampilkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.6 Material *Expanded Polyolefin* pada UAV

UAV yang akan diuji menggunakan material komposit pada permukaan luar UAV. Material komposit berfungsi untuk memperkuat struktur UAV dan mencegah peristiwa *crash* pada UAV. Bahan komposit yang biasa digunakan dalam membuat pesawat *aeromodelling* adalah serat gelas atau *fiberglass* dimana bahan ini merupakan kombinasi antara serat-serat gelas yang sangat kecil dan sangat kuat yang diikat dengan resin. Bahan *fiberglass* mempunyai kekuatan dan kemampuan menahan beban kejut (benturan) yang sangat tinggi apabila dibandingkan dengan material lain, sehingga tidak akan cacat atau rusak saat dibawa ke lapangan.

Secara estetika, *airframe* dengan bahan *fiberglass* dapat dibentuk sangat mirip dengan detail pesawat asli dan mampu dicat dengan mudah dan paling bagus terhadap bahan lain sehingga banyak diminati kalangan profesional. Kelemahan bahan *fiberglass* terletak pada proses pembuatannya yang relatif rumit dan memerlukan proses yang panjang serta pengetahuan yang cukup agar tidak menghasilkan *airframe* yang sangat berat jika pembuatannya tidak tepat.

Bahan *fiberglass* pada UAV ini sering digunakan untuk *airframe* profesional di bidang militer, bahkan pesawat kelas *cessna* dan *glider* juga menggunakan material ini. Material komposit *fiberglass* merupakan campuran antara material *fiber cloth* dan material *lycal resin* yang akan dipasang pada UAV. Tujuan dari pemakaian material ini adalah untuk memperkuat dan menambah kekuatan pada struktur UAV.

Material komposit *fiberglass* ditampilkan pada gambar 2.7.



(a)

(b)

Gambar 2.7 (a) Material *fiber cloth*

(b) Material *lycal resin*

Keuntungan penggunaan material komposit *fiberglass* pada UAV adalah untuk menghindari peristiwa *crash* pada saat *landing* atau gangguan angin ketika UAV sedang menjelajah (*cruise*) menjalankan misi. Ketebalan *fiber cloth* yang digunakan adalah 0.18 mm. *Fiber cloth* ini cukup tipis dan sangat cocok diaplikasikan pada UAV. Semakin tipis bahan *fiber cloth* yang digunakan, maka akan semakin baik pula pengaplikasiannya pada UAV dikarenakan bahannya semakin ringan. Selain itu, proses pembuatan UAV juga menggunakan campuran material *lycal resin* yang berfungsi untuk merekatkan *fiber cloth* pada seluruh permukaan UAV. Perbandingan penggunaan takaran untuk *resin* dan *lycal* yang baik adalah sebesar 3 : 1.

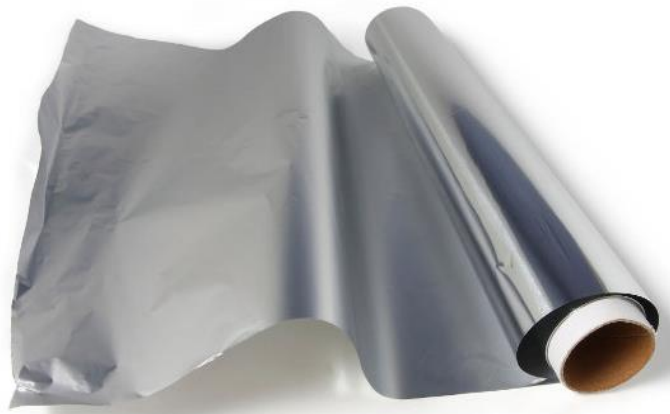
2.6 Sistem Perisaian/ Perlindungan pada UAV

Sistem perisaian atau perlindungan pada UAV dibuat dengan cara menciptakan material UAV menjadi bersifat konduktif sehingga mampu menyimpan muatan listrik dan melindungi UAV terhadap sambaran petir. Jika UAV berfungsi sebagai konduktor, maka secara prinsip kelistrikan arus akan mengalir tanpa hambatan sehingga tidak timbul panas yang berlebih. Material UAV dengan konduktivitas tinggi dapat dilalui oleh arus yang tinggi tanpa menimbulkan kebakaran pada struktur UAV tersebut. Konduktivitas yang tinggi dapat diperoleh dengan baik apabila struktur UAV terbuat dari material logam. Namun, UAV yang dipakai pada umumnya terbuat dari material *karbon fiber*.

Beberapa peneliti yang melakukan penelitian tentang peningkatan konduktivitas struktur material adalah *Gou, Ali Jazzar, dan L. Chemartin*. Menurut penelitian *Gou*, kertas karbon nanofiber yang berfungsi untuk melindungi material komposit memiliki hasil bahwa struktur komposit berlapisan kertas karbon nanofiber lebih toleran terhadap sambaran petir [6]. Selain itu, penelitian *Ali Jazzar* tentang penggunaan material lapisan aluminium dan tembaga yang digabung dengan *komposit karbon fiber (assembly)* memiliki hasil bahwa penggantian aluminium dengan komposit mampu menurunkan *efek Faraday* pada lapisan kulit/ eksterior pesawat [7]. Sementara itu, menurut penelitian *L. Chemartin*, lapisan logam tipis dapat berfungsi sebagai lapisan proteksi yang dipasang antara lapisan laminasi dan lapisan cat. Lapisan logam yang digunakan adalah *expanded copper foils* (ECF) atau *expanded aluminum foils* (EAF), *solid foil* atau *bronze mesh* (BM) [8].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, peneliti menggunakan lapisan logam untuk meningkatkan konduktivitas dari UAV yang telah berlapis komposit *fiberglass*. Lapisan logam yang dipasang adalah lapisan logam yang paling tipis yakni *aluminium foil* dimana material ini hampir sama fungsinya dengan *expanded aluminium foils* (EAF) yang direkomendasikan oleh *L. Chemartin* sebagai lapisan pelindung pesawat terhadap sambaran petir.

Aluminium foil dipilih karena materialnya lebih ringan dan tipis. Material lapisan aluminium memiliki ketebalan sekitar ± 0.15 mm. Material ini bersifat lebih konduktif dibandingkan material komposit *fiberglass*. Selain itu, material ini juga fleksibel dan mudah dibentuk atau digabungkan bersama material lain. *Aluminium foil* akan dipasang pada seluruh permukaan luar UAV setelah berlapis komposit *fiberglass*. Lapisan eksternal dengan *aluminium foil* inilah yang akan berfungsi sebagai pelindung UAV. *Aluminium foil* mampu menyimpan muatan litrik ketika terkena sambaran petir. Material *aluminium foil* ditampilkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Alumunium foil

Material komposit *fiberglass* memiliki konduktivitas sebesar $\sigma = 2 \times 10^4$ S/m sedangkan material *aluminium foil* memiliki konduktivitas yang lebih baik daripada berbahan komposit yakni sebesar $\sigma = 3.72 \times 10^7$ S/m. Semakin besar konduktivitas suatu bahan maka akan semakin besar kemungkinan bahan tersebut dapat menyimpan muatan pada struktur permukaannya. Dan semakin tebal lapisan aluminium yang terpasang, maka akan semakin konduktif dan mampu material tersebut menyimpan muatan.

Rancang bangun UAV pada penelitian ini menggunakan dua lapis material pada struktur UAV. Lapisan pertama adalah material *komposit fiberglass* yang berfungsi untuk memperkuat dan memperkokoh struktur UAV sehingga dapat terhindar dari peristiwa *crash*. Lalu, lapisan kedua menggunakan material *aluminium foil* yang berfungsi sebagai pelindung UAV terhadap adanya resiko sambaran petir. Pelindung ini bersifat konduktif dan mampu menyimpan muatan listrik akibat sambaran petir. UAV yang telah dilapisi *aluminium foil* ditampilkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 UAV berlapis aluminium foil

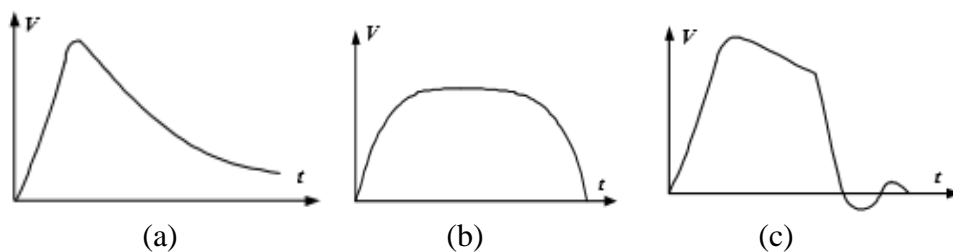
2.7 Generator Impuls

Generator impuls merupakan alat yang digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi impuls. Pengujian UAV pada penelitian ini menggunakan generator impuls RLC berkapasitas 200 kV. Generator impuls ditampilkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Generator impuls berkapasitas 200 kV

Tegangan impuls merupakan tegangan yang naik dalam waktu yang singkat dan mengalami penurunan yang relatif lambat menuju nol. Sistem tenaga listrik memiliki tiga bentuk tegangan impuls, seperti: tegangan impuls petir, tegangan impuls surja hubung dan tegangan impuls terpotong seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 (a) Tegangan impuls kilat.

(b) Tegangan impuls surja hubung.

(c) Tegangan impuls terpotong.

Tegangan impuls didefinisikan sebagai suatu gelombang berbentuk eksponensial ganda yang dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2.

$$V = V_0 (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (2.2)$$

Adapun defenisi bentuk gelombang impuls adalah:

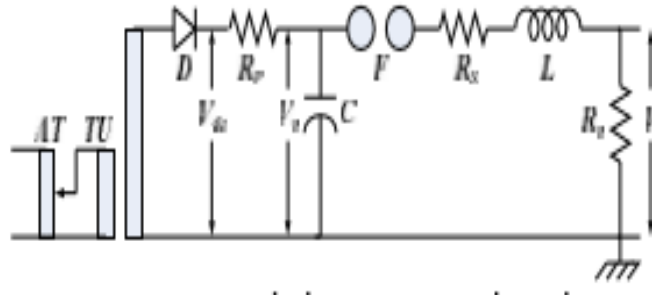
1. Bentuk dan waktu gelombang impuls dapat diatur dengan mengubah bentuk nilai komponen rangkaian generator impuls.
2. Nilai puncak (*peak value*) merupakan nilai maksimum gelombang impuls.
3. Muka gelombang (*wave front*) didefinisikan sebagai bagian gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak. Waktu muka (*Tf*) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak gelombang.
4. Ekor gelombang (*wave tail*) merupakan bagian gelombang yang dimulai dari titik puncak sampai akhir gelombang. Waktu ekor (*Tt*) adalah waktu yang dimulai dari titik nol sampai setengah puncak pada ekor gelombang.

Standar bentuk gelombang impuls petir yang dipakai oleh beberapa negara ditampilkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Standar bentuk tegangan impuls petir

Standar	Tf x Tt
Jepang	1 x 40 μ s
Jerman dan Inggris	1 x 50 μ s
Amerika	1.5 x 40 μ s
IEC	1.2 x 50 μ s

Rangkaian sederhana sebuah generator impuls RLC ditampilkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Rangkaian sederhana generator impuls RLC

Generator impuls RLC membutuhkan sumber tegangan tinggi *dc*. Tegangan keluaran dapat diatur dan dilengkapi dengan *sela picu* *F*. Pada prinsipnya, sumber tegangan tinggi *dc* akan menuju resistor *R_p* dan mengisi kondensator pemuat *C*. Misalkan, tegangan kondensator pemuat adalah *V*, ketika *sela picu* dioperasikan, *sela elektroda* *F* terhubung singkat dalam waktu yang singkat dan muatan kondensator *C* akan dilepaskan ke rangkaian *R_s*, *L* dan *R_o*. Tahanan resistor *R_p* dibuat besar untuk menghambat muatan yang datang dari sumber tegangan tinggi *dc* selama proses pelepasan muatan berlangsung.

Pelepasan muatan berlangsung dalam waktu yang sangat singkat dan tahanan resistor *R_p* yang dibuat besar menyebabkan muatan yang datang dari sumber tegangan *dc* dapat dianggap tidak ada. Oleh karena itu, selama proses pelepasan muatan, tidak ada muatan yang mengisi kondensator pemuat *C* dimana hal ini artinya adalah hanya muatan kondensator pemuat *C* yang dilepaskan ke rangkaian *R_s*, *L* dan *R_o* [9].

2.8 Alat Ukur Medan Elektrostatis Simco FMX-004

Alat ukur yang digunakan untuk mendeteksi medan elektrostatis pada penelitian ini adalah *Simco Electrostatic Fieldmeter FMX-004*. Alat ukur ini mampu mengukur medan elektrostatis dalam polaritas positif maupun negatif dimulai dari tegangan terendah hingga ke tegangan tertinggi, yakni 0 V – 30 kV per 1- inci. Alat ukur medan elektrostatis *Simco FMX-004* ditampilkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Alat ukur medan elektrostatis Simco FMX-004

Spesifikasi alat ukur Simco FMX-004 ditampilkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi alat ukur medan elektrostatis Simco FMX-004

Tegangan minimum	0 V
Tegangan maksimum	30 kV
Baterai	9 V
Akurasi	10%
Tinggi	123 mm
Lebar	73 mm
Panjang	25 mm
Berat	170 g

Alat ukur Simco FMX-004 memiliki empat tombol, seperti: tombol *power*, *mode*, *hold* dan *zero*. Tombol *power* berfungsi untuk mengaktifkan alat ukur Simco FMX-004. Tombol *zero* merupakan tombol yang berfungsi mengatur tegangan induksi ke posisi nol sebelum melakukan pengukuran. Tombol *hold* berfungsi untuk menahan nilai tegangan yang terukur dan tombol *mode* berfungsi untuk memilih mode *range* pengukuran pada alat ukur Simco FMX-004. Alat ukur Simco FMX-004 mampu aktif selama 4 menit setelah tombol *power ON* ditekan, jika melebihi batas waktu tersebut, maka alat ukur akan mati (*OFF*) secara otomatis. Tegangan baterai alat ukur ini adalah 9 V dan tegangan maksimum yang dapat diukur adalah sebesar 30 kV.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan pelindung UAV terhadap sambaran petir menggunakan material *aluminium foil*. Pembahasan diawali dengan penentuan waktu dan tempat penelitian, diagram alir penelitian, kebutuhan alat dan bahan dalam pembuatan UAV dan prosedur pengujian UAV yang telah dilapisi pelindung. Data hasil pengujian menggunakan nilai input tegangan impuls sebesar 100 kV dan 150 kV yang dibangkitkan oleh generator impuls. Tegangan impuls tersebut dibangkitkan pada zona rawan petir UAV seperti: *fuselage*, *nose* dan *wings*. Data tersebut akan dianalisis apakah pelindung yang telah dipasang pada UAV dapat bekerja atau tidak.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian skripsi ini dilaksanakan pada:

Waktu : Oktober 2017 – April 2018

Tempat : Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung
dan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi
Universitas Gadjah Mada.

3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian ditampilkan pada tabel 3.1.

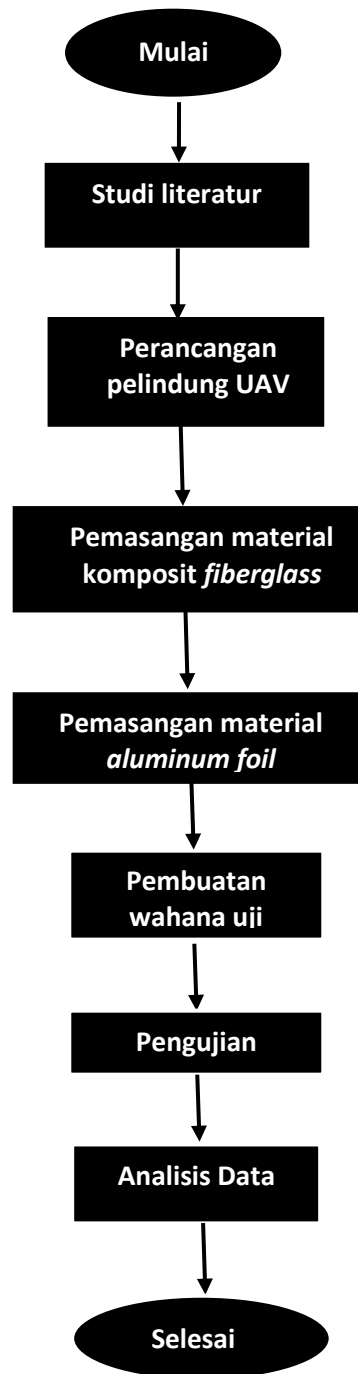
Tabel 3.1 Tabel jadwal kegiatan skripsi

No	Aktifitas	Juni				Juli				Agustus				September				Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Studi pustaka dan literatur	■	■	■	■																																								
2	Perancangan pelindung UAV					■	■	■	■																																				
3	Seminar Usul									■																																			
4	Pembuatan UAV dan wahana siap uji									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
5	Pengujian dan pengambilan data																					■	■	■	■	■	■	■	■																
6	Analisis dan pembahasan																									■	■	■	■	■	■	■	■												
7	Seminar Hasil																																												
8	Ujian Komprehensif																																												

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada sub-bab ini menunjukkan langkah–langkah yang akan dilakukan pada penelitian. Langkah pertama yang harus dikerjakan adalah *studi literatur*. Langkah kedua adalah merancang pelindung pada UAV. Selanjutnya adalah melakukan pemasangan material komposit *fiberglass* yang berfungsi untuk memperkuat struktur UAV dan pemasangan material *aluminium foil* pada lapisan terluar UAV sebagai lapisan pelindung terhadap sambaran petir serta membuat wahana uji. Kemudian, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap UAV yang telah dilapisi pelindung dengan menggunakan tegangan impuls dari generator impuls. Jika semua data telah terkumpulkan, maka data akan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan.

Diagram alir penelitian ini ditampilkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diklasifikasikan ke dalam empat kategori, yakni alat dan bahan untuk mempersiapkan objek uji (UAV), pembuatan wahana uji, rangkaian *komponen dc* dan kebutuhan saat pengujian UAV. Adapun alat dan bahan tersebut adalah:

1. Pembuatan objek uji (UAV):

1 unit UAV X-8 Skywalker FW 2120, material komposit *fiberglass* (*fiber cloth*, *resin* dan *lycal*), *aluminium foil*, mistar besi 30 cm, refill cutter SDI 1404C L-150 6x 12, *double tape*, cutter deli, amplas dan lem araldit.

2. Pembuatan wahana uji:

Cutting machine, pipa pvc 1" aw, pipa pvc 1 1/4 " dwr, sambungan pipa Tee 1"r, sambungan pipa keru (L) 1 1/4 r", lem isorplas pvc, isolasi listrik, box peralatan plastik, kayu balsa dan karet pengikat.

3. Pembuatan rangkaian *komponen dc*:

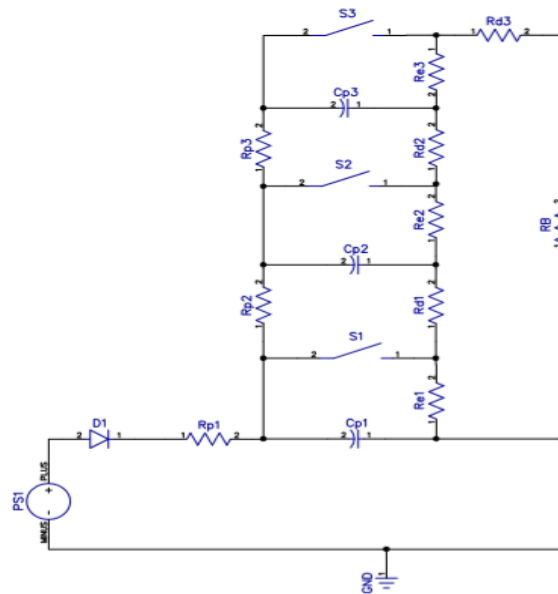
Resistor 100 Ω , resistor 1 k Ω , resistor 10 k Ω , dioda 1N 4007, kapasitor 2200 μ F, saklar, kabel, pcb bolong 15 cm x 25 cm, solder, timah dan *adaptor*.

4. Pengujian UAV:

1 unit UAV X-8 Skywalker FW 2120 yang telah siap uji, 1 unit penopang uji UAV yang terbuat dari pipa PVC, 1 lempeng konduktor, osiloskop, alat ukur medan elektrostatis FMX-004, kamera, laptop, flashdisk, *simcard memory*, 1 unit pembangkit impuls berkapasitas 200 kV, spidol, buku, pena, alat ukur meteran, kabel konduktor dan kabel NYAF 1.5.

3.5 Pengujian

Pengujian pelindung UAV dilakukan di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Universitas Gadjah Mada menggunakan generator impuls. Pengujian ini memiliki lima pengujian. Pengujian pertama dan kedua adalah pengujian alat ukur FMX-004 menggunakan rangkaian *komponen dc*. Pengujian ketiga, keempat dan kelima, yakni pengujian tegangan impuls pada *fuselage*, *nose* dan *wings* UAV. Rangkaian komponen dc pada pengujian ditampilkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian *komponen dc*

Keterangan:

1. Ps_1 = Sumber tegangan dc 12V
2. D_1 = Dioda *IN 4007*
3. $R_{p1} = R_{p2} = R_{p3} = R_{d1} = R_{d2} = R_{d3}$ = resistor 100 Ω
4. $R_{e1} = R_{e2} = R_{e3}$ = resistor 1 k Ω
5. R_B = beban uji (Ω)
6. $C_{p1} = C_{p2} = C_{p3}$ = kapasitor 2200 μ F
7. $S_1 = S_2 = S_3$ = saklar

3.5.1 Pengujian Alat Ukur FMX-004

Pengujian alat ukur FMX-004 dilakukan dengan dua kali pengujian. Pengujian pertama adalah pengujian dengan beban 100Ω dan pengujian kedua menggunakan beban $10 \text{ k}\Omega$. Jarak antara beban uji dan alat ukur FMX-004 adalah 1 cm . Rangkaian *komponen dc* pengujian ini ditampilkan pada gambar 3.2. Prosedur pengujian pertama yang dilakukan adalah:

1. Merangkai rangkaian *komponen dc* menggunakan rangkaian pada gambar 3.2 dengan beban uji R_B sebesar 100Ω .
2. Jika rangkaiannya telah selesai, selanjutnya adalah melakukan pengujian alat ukur FMX-004 dengan beban uji sebesar 100Ω .
3. Setelah itu, pengambilan data sesuai dengan tabel 3.2 dapat dilakukan.

Tabel 3.2 Pengujian alat ukur FMX-004 dengan beban 100Ω

Tegangan Input (V)	Beban Uji (Ω)	Tegangan Induksi	
		V_{on} (V)	V_{off} (V)
12	100		
15			
18			
20			
12	10000		
15			
18			
20			

Setelah selesai melakukan pengambilan data pada pengujian pertama, maka selanjutnya adalah mematikan alat ukur FMX-004 dan rangkaian *komponen dc* serta merapikan peralatan.

Pengujian kedua menggunakan rangkaian *komponen dc* yang sama. Tegangan input yang digunakan juga sama yaitu sebesar 12 V sampai dengan 20 V. Jarak alat ukur FMX-004 dan beban uji adalah 1 cm. Perbedaannya hanya terdapat pada beban uji R_B yang pada awalnya sebesar 100Ω diubah menjadi $10 \text{ k}\Omega$. Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian kedua sama dengan langkah-langkah pada percobaan pertama. V_{on} adalah kondisi dimana ketiga saklar dalam kondisi aktif. V_{off} adalah kondisi ketiga saklar dalam keadaan tidak aktif setelah dibangkitkan tegangan pada rangkaian *komponen dc*.

3.5.2 Pengujian Tegangan Impuls pada Fuselage, Nose dan Wing UAV

Pada pengujian ini alat ukur FMX-004 dipasang di dalam kompartemen UAV dan berhadapan dengan kamera. Kamera berfungsi untuk merekam tegangan yang terukur pada alat ukur FMX-004. Jarak antara elektroda dengan zona sambar UAV adalah sebesar 1 cm. Zona sambar UAV pada pengujian ini adalah *fuselage*, *nose* dan *wings*. Prosedur pengujian yang dilakukan adalah:

1. Mempersiapkan 1 unit UAV *Skywalker X-8 FW 2120* yang siap uji, dan wahana uji yang terbuat dari pipa PVC. Kemudian, mempersiapkan peralatan tulis dan juga laptop.
2. Setelah objek dan wahana uji selesai, maka selanjutnya adalah mengaktifkan pembangkit tegangan impuls dan melakukan pengkalibrasian osiloskop.

3. Jika objek uji, wahana uji dan pembangkit siap untuk digunakan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan mengaktifkan 2 unit kamera dimana kamera pertama dioperasikan di luar kompartemen UAV untuk merekam petir yang terjadi dan kamera kedua dipasang di bagian dalam kompartemen UAV yang berfungsi untuk merekam tegangan pada alat ukur FMX-004.
4. Selanjutnya, jika kamera dan alat ukur FMX-004 sudah aktif, maka selanjutnya adalah menutup kompartemen UAV dan meletakkannya pada penopang uji yang terbuat dari pipa PVC. Lalu, mengukur jarak sambar kawat konduktor dengan zona sambar UAV sebesar 1 cm serta memasang konduktor pentanahan pada bagian bawah UAV.
5. Setelah UAV siap untuk dilakukan pengujian, maka tegangan impuls akan dibangkitkan sesuai dengan urutan tegangan impuls pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Pengujian tegangan impuls pada UAV

Tegangan Impuls (kV)	Tegangan Induksi (kV)										Tegangan Induksi rata-rata (kV)	Kuat Medan Listrik rata-rata (V/cm)
	Percobaan											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
<i>Zona Fuselage</i>												
100												
150												
<i>Zona Nose</i>												
100												
150												
<i>Zona Wing</i>												
100												
150												

6. Tegangan impuls dimulai dengan 100 kV dan zona sambar pertama adalah *fuselage* UAV. Pengujian dilakukan dengan 10 kali percobaan pada masing-masing tegangan uji di zona sambar UAV. Setelah mendapatkan data yang diinginkan, maka selanjutnya adalah membangkitkan tegangan impuls pada zona *nose* UAV dengan tegangan yang sama 100 kV dan begitu seterusnya yang dilakukan pada zona *wing* UAV. Untuk mengubah besar tegangan impuls pada saat pengujian dapat diatur menggunakan pengaturan sela picu dan pembagi tegangan pada pembangkit impuls.
7. Setelah melakukan pengujian dengan tegangan impuls 100 kV, langkah selanjutnya adalah mengubah tegangan impuls menjadi 150 kV. Lalu, melakukan pengambilan data pada zona *fuselage*, *nose*, dan *wing* seperti data yang ditampilkan pada tabel 3.3.

3.6 Pengukuran Medan Elektrostatis di sekitar UAV

Pengukuran medan elektrostatis di sekitar UAV menggunakan alat ukur FMX-004 yang terpasang di luar kompartemen UAV. Jarak antara elektroda dan zona sambar UAV adalah 1 cm. Jarak antara UAV yang dibangkitkan dengan tegangan impuls dan alat ukur FMX-004 adalah 4 cm dan 40 cm tepat di bawah UAV. Prosedur pengukuran ini adalah:

1. Mengulangi langkah-langkah pengujian pada langkah pertama dan kedua pada prosedur pengujian tegangan impuls pada *UAV 3.5.2 A* sebelumnya.
2. Selanjutnya adalah mengaktifkan 1 unit kamera yang beroperasi di luar UAV menghadap ke alat ukur FMX-004 untuk merekam tegangan terukur.

3. Kemudian, mengukur jarak sambar kawat konduktor dengan *fuselage* UAV sebesar 1 cm dan jarak UAV dengan alat ukur sebesar 4 cm, lalu memasang konduktor pentanahan pada bagian bawah UAV.
4. Setelah UAV siap untuk diuji, maka selanjutnya adalah membangkitkan tegangan impuls 50 kV seperti yang ditampilkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pengukuran medan elektrostatis di sekitar UAV

Tegangan Impuls (kV)	Tegangan Induksi (kV)										Tegangan Induksi rata-rata (kV)	Kuat Medan Listrik rata-rata (V/cm)	Jarak Alat Ukur (cm)
	Percobaan												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
50													4
													40

5. Tegangan impuls yang digunakan adalah 50 kV dan pada tegangan ini dilakukan 10 kali percobaan. Jarak alat ukur yang pertama adalah 4 cm. Setelah dibangkitkan tegangan 50 kV sebanyak 10 kali, maka langkah selanjutnya adalah mengubah jarak alat ukur menjadi 40 cm di bawah UAV yang tersambar dengan menggunakan tegangan yang sama.
6. Setelah semua pengukuran dan pengambilan data selesai, maka selanjutnya adalah mematikan semua peralatan. Kemudian, merapikan kembali peralatan dan wahana uji menjadi rapi seperti kondisi sebelumnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem perisai atau pelindung yang dipasang pada UAV mampu melindungi UAV terhadap efek secara tidak langsung (*indirect effect*). Hal ini ditandai dengan adanya tegangan induksi di dalam kompartemen UAV sebesar 0 V jika tegangan impuls sebesar 100 kV dan tegangan induksi sebesar 1 V jika tegangan impulsnya adalah 150 kV.
2. Lapisan pelindung aluminium foil dengan ketebalan 0.3 mm mampu menahan/ mengurangi efek langsung akibat sambaran.
3. Hasil pengukuran kuat medan listrik rata-rata tertinggi pada pengujian tegangan impuls pada zona *fuselage*, *nose* dan *wings* adalah sebesar 0.39 V/cm pada tegangan impuls 150 kV dan kuat medan listrik rata-rata terendah adalah sebesar 0 V/cm pada tegangan impuls 100 kV.
4. Kenaikan kuat medan listrik yang terukur di luar kompartemen UAV berbanding lurus dengan pengurangan jarak. Hasil pengukuran dengan jarak 4 cm dan 40 cm di bawah UAV memiliki kuat medan listrik secara berurutan sebesar 179.53 V/cm dan 12.99 V/cm.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode perisaian pada UAV yang lain, seperti: menggunakan cat konduktif.
2. Melakukan pengujian tegangan tinggi impuls pada UAV dimana semua peralatan yang terpasang pada UAV dalam kondisi aktif (ON).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Septiadi, Deni dan Safwan Hadi, “*Karakteristik petir terkait curah hujan lebat di wilayah Bandung, Jawa Barat*” *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 12, no. 2, pp. 163–170, 2011.
- [2] Deka, A.P et al., “*Korelasi frekuensi sambaran petir terhadap intensitas curah hujan di kota Manado tahun 2016*” Universitas Negeri Semarang, 2017.
- [3] Widodo, K.W.A., “*Analisis dampak sambaran petir pada sistem kelistrikan pesawat.*” Sekolah Tinggi Teknik – PIn Teknik Elektro, 2016.
- [4] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, “*Pengendalian pengoperasian pesawat tanpa awak di ruang udara yang di layani Indonesia*”, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, no. PM 90, 2015.
- [5] Lalande, P., & Delannoy, A. “*Numerical method for zoning computation. Journal of Aerospace Lab*”, AL05-08, 2012.
- [6] J. Gou, Y. Tang, F. Liang, Z. Zhao, D. Firsich, dan J. Fielding, “*Carbon nanofiber paper for lightning strike protection of composite materials Composites : Part B,*” *Compos. Part B*, vol. 41, no. 2, pp. 192–198, 2014.
- [7] A. Jazzar, E. Clavel, G. Meunier, dan E. Vialardi, “*Study of lightning effects on aircraft with predominately composite structures,*” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* vol. 56, no. 3, pp. 675–682, 2014

- [8] L. Chemartin et al., “*Direct Effects of Lightning on Aircraft Structure : Analysis of the Thermal, Electrical and Mechanical Constraints*”, 2015.
- [9] Halim, W.R., Syahrawardi, “*Analisis rangkaian generator impuls untuk membangkitkan tegangan impuls petir menurut berbagai standar*”, Universitas Sumatera Utara, vol. 8, no. 1, 2014.
- [10] Catalog motor brushless DC 12V, Components, Elinco International, Inc. Japanese Products.2017 diakses tanggal 11 April 2018.
(<http://catalog.e-jpc.com/item/brushless-dc-motors/vh-inner-rotor-brushless-dc-motors/7231>)