



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN RANGKA QUADCOPTER MODULAR
BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING* (FDM)
BERBAHAN PLA+ DENGAN PAYLOAD MOUNTING
SMARTPHONE MENGGUNAKAN
METODE VDI 2221**

SKRIPSI

Disusun Oleh :
Farhan Arhani Nawawi
NIM. 2202411013

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
20 JULI, 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN RANGKA QUADCOPTER MODULAR
BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING* (FDM)
BERBAHAN PLA+ DENGAN PAYLOAD MOUNTING
SMARTPHONE MENGGUNAKAN
METODE VDI 2221**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan D IV
Program Studi Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

**Farhan Arhani Nawawi
NIM. 2202411013**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
20 JULI, 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



“Skripsi ini saya persembahkan untuk ayah, ibu serta keluarga tercinta dan almamater”



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

LAPORAN SKRIPSI

PERANCANGAN RANGKA QUADCOPTER MODULAR BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)* BERBAHAN PLA+ DENGAN PAYLOAD MOUNTING SMARTPHONE MENGGUNAKAN METODE VDI 2221

Oleh:

Farhan Arhani Nawawi

NIM. 2202411013

Program Studi Sarjana Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Azam Milah Muhammad, M.T.

NIP. 199608232024061001

Pembimbing 2

林祐正

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T.

NIP 199307282024061001

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

PERANCANGAN RANGKA *QUADCOPTER* MODULAR BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)* BERBAHAN PLA+ DENGAN *PAYLOAD MOUNTING SMARTPHONE* MENGGUNAKAN METODE VDI 2221

Oleh:

Farhan Arhani Nawawi

NIM. 2202411013

Program Studi Sarjana Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 20 Juli 2026 dan Diterimanya sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV) pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Azam Milah Muhamad , M.T.	Ketua		20 Juli
2	Muhammad Prasha Risfi Silitonga , M.T.	Anggota		20 Juli
3	Dhiya Luqyana , S.Tr.T., M.T	Anggota		20 Juli

Taipei, 20 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zaimuri, S.T., M.Si.
197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Farhan Arhani Nawawi

NIM : 2202411013

Program Studi : Program Studi Sarjana Teknologi Rekayasa Manufaktur

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Taiwan, 20 Juli 2026



Farhan Arhani Nawawi

NIM. 2202411013



PERANCANGAN RANGKA QUADCOPTER MODULAR BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING* (FDM) BERBAHAN PLA+ DENGAN *PAYLOAD MOUNTING* SMARTPHONE MENGGUNAKAN METODE VDI 2221

Farhan Arhani Nawawi¹, Azam Milah Muhamad¹

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425
E-mail address: farhan.arhani.nawawi.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Mengatasi tingginya biaya dan risiko inspeksi visual konvensional, penelitian ini merancang prototipe rangka *quadcopter* modular ekonomis bermuatan *smartphone* menggunakan material eSUN PLA+ berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM). Perancangan menerapkan metode VDI 2221 dan *Focus Group Discussion* (FGD). Kekuatan struktur divalidasi silang melalui mekanika analitik balok dan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) *quasi-static* pada kondisi melayang (*hovering*) dan 100% *throttle* dengan muatan ekstrem 360 gram. Desain akhir menggunakan lengan profil elevasi meruncing (*tapered offset*) dan kaki bersudut (*angled*) untuk mengoptimalkan kekakuan struktural, ruang *mounting*, dan *Field of View* (FOV) kamera. Massa total 1.228,30 gram terdistribusi dengan *Center of Gravity* yang simetris sempurna. Hasil komputasi FEA membuktikan sasis beroperasi tangguh di zona elastis, mencapai *Factor of Safety* (FoS) 4,75 saat *hovering*. Pada dorongan ekstrem 100% *throttle*, nilai FoS tercatat aman sebesar 1,73, membuktikan bahwa lengan kokoh meredam regangan dinamis pada sudut transisi tanpa risiko deformasi plastis. Penerapan *Control Plan* FDM berhasil mengunci Laju Aliran Ekstrusi 4,0–4,8 mm³/s dan kepadatan *infill* 60%, menekan estimasi biaya material hingga Rp72.416. Kesimpulannya, sasis PLA+ ini tervalidasi secara komputasional kuat dan terbukti ekonomis sebagai prototipe *Quadcopter* inspeksi visual.

Kata kunci: *Quadcopter*, VDI 2221, *Finite Element Analysis*, FDM, PLA+.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PERANCANGAN RANGKA QUADCOPTER MODULAR BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING* (FDM) BERBAHAN PLA+ DENGAN *PAYLOAD MOUNTING* SMARTPHONE MENGGUNAKAN METODE VDI 2221

Farhan Arhani Nawawi¹, Azam Milah Muhamad¹

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425
E-mail address: farhan.arhani.nawawi.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

Addressing the high cost and risks of conventional visual inspections, this study designs an economical, smartphone-carrying modular quadcopter frame prototype using eSUN PLA+ via Fused Deposition Modeling (FDM). The design utilizes the VDI 2221 method and Focus Group Discussions (FGD). Structural integrity is cross-validated through analytical beam mechanics and quasi-static Finite Element Analysis (FEA) under hovering and 100% throttle conditions with an extreme 360-gram Payload. The final design adopts a tapered elevation arm profile (tapered offset) and angled legs to optimize structural stiffness, mounting space, and the camera's Field of View (FOV). The 1,228.30-gram total mass exhibits a perfectly symmetrical Center of Gravity. FEA computations prove the chassis operates robustly within the elastic zone, achieving a Factor of Safety (FoS) of 4.75 during hovering. Under the extreme 100% throttle thrust, the FoS is safely recorded at 1.73, proving that the arms firmly absorb dynamic strains at transition angles without the risk of plastic deformation. A manufacturing Control Plan locking the Volumetric Flow Rate at 4.0–4.8 mm³/s and 60% infill minimized the material cost estimate to Rp72,416. In conclusion, this PLA+ chassis is computationally validated as structurally robust and highly cost-effective for visual inspection prototypes.

Keywords: Quadcopter, VDI 2221, Finite Element Analysis, FDM, PLA+.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kelancaran untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perancangan Rangka Quadcopter Modular Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Berbahan PLA+ dengan Payload Mounting Smartphone Menggunakan Metode VDI 2221”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mutlak untuk menyelesaikan pendidikan strata sarjana terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, yang tidak pernah putus memberikan iringan doa, motivasi, kasih sayang, dan dukungan finansial selama penulis menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Radhi Maladzi, S.Tr., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.
4. Bapak Azam Milah Muhamad, M.T., selaku Dosen Pembimbing institusi asal, yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan arahan, koreksi yang konstruktif, serta bimbingan teknis sejak awal perumusan ide hingga laporan ini selesai.
5. 林祐正 先生 selaku Dosen Pembimbing di Taiwan, yang telah memberikan wawasan berharga, validasi desain, serta fasilitas yang mendukung jalannya penelitian ini.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Seluruh jajaran dosen dan staf tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah mentransfer ilmu pengetahuan serta memfasilitasi kebutuhan akademis penulis.
7. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur dan Program 3 + 1 St. John University Taiwan, khususnya yang telah bersedia menjadi responden diskusi dan selalu memberikan semangat serta solidaritas yang tinggi.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun telah memberikan kontribusi nyata baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan guna penyempurnaan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi keilmuan yang bermanfaat bagi pembaca, institusi, serta pihak-pihak yang membutuhkan referensi mengenai rekayasa manufaktur aditif dan teknologi *drone*.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Taiwan 20 Juli 2026

Farhan Arhani Nawawi

NIM. 2202411013



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PENYATAAN ORISINALITAS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penulisan	5
1.4 Manfaat Penulisan.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1 <i>Quadcopter</i>	9
2.1.1.1 Konfigurasi <i>quadcopter</i>	9



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.1.2 Komponen utama <i>quadcopter</i>	10
2.1.1.3 Beban kerja dan <i>Payload</i> pada <i>quadcopter</i>	10
2.1.2 Rangka <i>Quadcopter</i>	12
2.1.2.1 Beban statis dan dinamis pada rangka <i>quadcopter</i>	12
2.1.2.2 Kriteria Desain Rangka	15
2.1.2.3 Konsep Rangka Modular	15
2.1.3 Konsep Desain Modular	16
2.1.4 Sambungan Baut	17
2.1.4.1 Pembebanan Dinamis pada Baut	17
2.1.4.2 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	17
2.1.4.3 Tegangan Geser (<i>Shear Stress</i>)	18
2.1.4.4 Tegangan Tumpu (<i>Bearing Stress</i>)	18
2.1.4.5 Tegangan Cabut Geser (<i>Pull-out Shear Stress</i>)	19
2.1.5 <i>Additive Manufacturing</i>	19
2.1.6 <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM)	20
2.1.6.1 Prinsip kerja FDM	20
2.1.6.2 Parameter proses FDM	21
2.1.6.3 Pengaruh parameter FDM terhadap kekuatan mekanik	22
2.1.7 Material PLA+	23
2.1.7.1 Sifat mekanik PLA+	23
2.1.8 <i>Payload</i>	24
2.1.9 Pendekatan Pembebanan Ekstrem dan Statistika Deskriptif	24
2.1.10 Metode Perancangan VDI 2221	25
2.1.10.1 Tahapan metode VDI 2221	26



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.10.2 Keunggulan metode VDI 2221 dalam perancangan mekanik.....	27
2.1.11 <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	27
2.1.11.1 Tegangan Von Mises.....	28
2.1.11.2 Total deformasi.....	30
2.1.11.3 Faktor keamanan	31
2.1.11.4 <i>SolidWorks</i>	32
2.1.12 Control Plan	32
2.2 Kajian Literatur	35
2.3 Kerangka Pemikiran dan Pengembangan Hipotesis	38
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	40
3.1 Jenis Penelitian.....	40
3.2 Objek Penelitian.....	40
3.3 Metode Pengambilan Sampel.....	40
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	41
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian.....	41
3.6 Metode Analisis Data.....	42
3.7 Penjelasan Langkah kerja.....	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Perancangan Rangka <i>Quadcopter</i> Modular dengan Metode VDI 2221	46
4.1.1 Kegiatan <i>Focus Group Discussion</i>	46
4.1.2 <i>Classification of Task</i>	48
4.1.3 <i>Conceptual Design</i>	49
4.1.4 <i>Embodiment Design</i>	62
4.1.5 <i>Detail Design</i>	63



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2 Analisis Titik Berat.....	65
4.2.1 Penentuan Massa Muatan (<i>Payload</i>).....	65
4.2.2 Kalkulasi <i>Center of Gravity (COG)</i>	66
4.3 Analisis Kebutuhan Gaya Angkat dan Pembebanan Lengan	68
4.3.1 Analisis Rasio Beban (<i>Thrust-to-Weight Ratio</i>)	68
4.3.2 Pembebanan Kondisi Melayang (<i>Hovering Flight</i>)	69
4.3.3 Pembebanan Ekstrem Maksimal (<i>100% Throttle</i>)	70
4.4 Analisis Kekuatan Struktur Rangka (<i>Finite Element Analysis / FEA</i>).....	70
4.4.1 Parameter Material dan Setup Simulasi	71
4.4.2 <i>Hovering Flight Analysis</i>	71
4.4.3 <i>Maximum Motor Thrust Analysis</i>	75
4.5 Analisis Keamanan Sambungan Baut pada <i>Base Plate</i> PLA+.....	79
4.5.1 Parameter Material dan Pembebanan.....	79
4.5.2 Tegangan Tumpu (<i>Bearing Stress</i>) pada Pelat PLA+	80
4.5.3 Tegangan Cabut (<i>Pull-out Shear Stress</i>) pada Pelat PLA+	81
4.5.4 Kesimpulan Evaluasi Keamanan Sambungan.....	81
4.6 Pembuatan <i>Control Plan</i> dan Proses Manufaktur (FDM).....	82
4.6.1 Pembuatan <i>Control Plan</i>	82
4.6.2 Parameter <i>Slicing</i> Manufaktur Aditif	84
4.6.3 Proses Manufaktur Komponen Mekanik	85
4.6.4 Estimasi Biaya Manufaktur Rangka.....	90
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran.....	93



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	99



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Sifat Mekanik PLA+.....	24
Tabel 2. 2 Kajian Literatur	35
Tabel 4. 1 Data Teknis.....	48
Tabel 4. 2 Daftar Kehendak	49
Tabel 4. 3 Abstraksi 1.....	50
Tabel 4. 4 Abstraksi 2.....	51
Tabel 4. 5 Abstraksi 3.....	51
Tabel 4. 6 Daftar Prinsip Solusi	54
Tabel 4. 7 Variasi Konsep.....	55
Tabel 4. 8 Evaluasi Varian Konsep.....	57
Tabel 4. 9 Penilaian Varian 6 (Lengan Tapered, Kaki Angled).....	59
Tabel 4. 10 Penilaian Varian 7 (Lengan Tapered, Kaki Lurus Tegak)	60
Tabel 4. 11 Rincian Komponen.....	64
Tabel 4. 12 Statistika Deskriptif.....	66
Tabel 4. 13 Parameter Mekanik	68
Tabel 4. 14 Sifat Mekanik eSUN PLA+ untuk Simulasi FEA	71
Tabel 4. 15 Perbandingan Analitik vs. FEA (Beban Hovering 2,718 N)	75
Tabel 4. 16 Perbandingan Analitik vs. FEA (Beban Ekstrem 7,8 N)	78
Tabel 4. 17 Control Plan.....	83
Tabel 4. 18 Tabel Parameter dan Hasil <i>Slicing Arm</i>	86
Tabel 4. 19 Tabel Parameter dan Hasil <i>Slicing Arm</i>	88
Tabel 4. 20 Tabel Parameter dan Hasil <i>Slicing Arm</i>	89
Tabel 4. 21 Rincian Estimasi Biaya Material Rangka PLA+	90

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konfigurasi <i>Quadcopter</i>	10
Gambar 2. 2 Kondisi <i>Hovering</i> sebuah drone.....	11
Gambar 2. 4 Arm Drone Modular.....	16
Gambar 2. 5 Proses Additive Manufacturing.....	20
Gambar 2. 6 Flow Chart VDI 2221.....	26
Gambar 2. 7 Tegangan Von Mises.....	29
Gambar 4. 1 Diagram Struktur Utama.....	52
Gambar 4. 2 Diagram Sub Fungsi <i>Base Plate</i>	53
Gambar 4. 3 Diagram Sub Fungsi <i>Arm</i>	53
Gambar 4. 4 Diagram Sub Fungsi <i>Leg</i>	54
Gambar 4. 5 Variasi A1-B1-C1-D1.....	55
Gambar 4. 6 Variasi A1-B1-C2-D1.....	55
Gambar 4. 7 Variasi A1-B1-C2-D2.....	55
Gambar 4. 8 Variasi A1-B1-C2-D3.....	56
Gambar 4. 9 Variasi A1-B1-C3-D1.....	56
Gambar 4. 10 Variasi A1-B1-C3-D2.....	56
Gambar 4. 11 Variasi A1-B1-C3-D3.....	56
Gambar 4. 12 Variasi Terpilih.....	63
Gambar 4. 13 <i>Explode View Drone</i>	63
Gambar 4. 14 <i>Detail design</i>	64
Gambar 4. 15 Hasil COG Pada <i>Solidworks</i>	67
Gambar 4. 16 Hasil <i>Von Mises Stress</i> Kondisi <i>Hovering</i>	73
Gambar 4. 17 Hasil <i>Displacement</i> Kondisi <i>Hovering</i>	73
Gambar 4. 18 Hasil <i>Strain</i> Kondisi <i>Hovering</i>	74
Gambar 4. 19 Hasil <i>FoS</i> Kondisi <i>Hovering</i>	74
Gambar 4. 20 Hasil <i>Von Mises Stress</i> Kondisi <i>Max Thrust</i>	76
Gambar 4. 21 Hasil <i>Displacement</i> Kondisi <i>Max Thrust</i>	77
Gambar 4. 22 Hasil <i>Strain</i> Kondisi <i>Max Thrust</i>	77
Gambar 4. 23 Hasil <i>FoS</i> Kondisi <i>Max Thrust</i>	78



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 24 Hasil <i>Slicing Arm</i> pada Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i>	86
Gambar 4. 25 Hasil <i>Slicing Sasis Utama</i> pada Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i>	87
Gambar 4. 26 Hasil <i>Slicing Leg</i> pada Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i>	89





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Daftar jenis *Smartphone*
- Lampiran 2 *Datasheet* motor EMAX RS2205
- Lampiran 3 *Datasheet* eSun PLA+
- Lampiran 4 Dokumentasi FGD dan Wawancara
- Lampiran 5 *Diameters and Areas of Coarse-Pitch and Fine-Pitch Metric Threads*
- Lampiran 6 Harga material filament PLA+ 12 Juli 2026
- Lampiran 7 *Drawing Lengkap Design Drone*





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inspeksi visual pada tempat tinggi yang berbahaya masih banyak dilakukan secara langsung oleh manusia. Aktivitas tersebut menuntut operator untuk mendekati objek inspeksi pada area yang memiliki potensi jatuh, akses yang sulit, atau kondisi kerja yang tidak ideal. Beban keselamatan kerja pada skala global juga masih sangat tinggi. Pada tahun 2019, penyakit dan kecelakaan terkait kerja diperkirakan menyebabkan 2,9 juta kematian, yang terdiri atas 2,58 juta kematian akibat penyakit terkait kerja dan 0,32 juta kematian akibat cedera kerja, dengan kerugian ekonomi mencapai 5,8% dari PDB global [1]. Kondisi ini menunjukkan bahwa keselamatan kerja bukan hanya isu operasional, tetapi persoalan yang mendesak dari sisi kemanusiaan dan ekonomi.

Pada sektor konstruksi, risiko tersebut menjadi semakin nyata ketika pekerjaan dilakukan pada elevasi tertentu atau melibatkan aktivitas *working at height*. Jatuh dari ketinggian tetap menjadi salah satu risiko paling dominan dan paling serius pada pekerjaan konstruksi [2]. Analisis kecelakaan kerja yang terjadi terhadap 207 laporan kecelakaan jatuh pada konstruksi bangunan dari periode 2014–2024 menunjukkan bahwa faktor manusia, organisasi, supervisi, dan kondisi kerja berkontribusi kuat terhadap kecelakaan jatuh [2]. Artinya, pemeriksaan visual yang tetap mengandalkan kehadiran langsung pekerja pada tempat tinggi pada dasarnya mempertahankan paparan terhadap salah satu risiko kerja paling serius.

Kebutuhan untuk mengurangi paparan risiko tersebut mendorong penggunaan sistem inspeksi visual berbasis UAV. Pemanfaatan drone pada lingkungan berbahaya mampu meningkatkan *situational awareness* melalui pencitraan dan pemantauan *real-time*, sekaligus menurunkan paparan manusia terhadap kondisi berisiko [3]. Pada konteks inspeksi jembatan, penggunaan *Unmanned Aircraft Systems* dapat mengeluarkan pekerja inspeksi dari potensi bahaya, dan analisis manfaat-biaya

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menunjukkan rasio manfaat-biaya lebih besar dari satu, sehingga layak dipertimbangkan sebagai investasi keselamatan [4]. Pada inspeksi fasilitas industri, drone juga dapat mengurangi waktu inspeksi, menurunkan jumlah personel, meningkatkan keselamatan, serta membuat inspeksi area sulit dijangkau menjadi lebih layak secara operasional [3]. Dengan demikian, drone dapat diposisikan sebagai sarana untuk mengurangi kebutuhan inspeksi langsung yang berbahaya bagi manusia.

Dari sisi operasional, inspeksi konvensional pada area sulit dijangkau cenderung membutuhkan akses tambahan, waktu lebih lama, dan biaya lebih tinggi. Pendekatan berbasis drone membuka peluang peningkatan akurasi inspeksi, keselamatan, dan efisiensi biaya pada pemantauan kondisi struktur [3]. Sistem drone siap pakai untuk inspeksi visual dasar juga tidak selalu murah. Analisis inspeksi jembatan menunjukkan bahwa quadcopter komersial untuk inspeksi visual dasar dapat berada pada kisaran USD 2.200, sedangkan sistem yang lebih canggih dengan *LiDAR*, *FLIR*, *thermal*, *night vision*, atau *infrared* dapat mencapai puluhan ribu dolar AS [4]. Angka tersebut menunjukkan bahwa solusi drone komersial siap pakai tetap memerlukan investasi yang cukup besar, terutama bila diarahkan pada inspeksi dengan sensor khusus.

Dalam penelitian ini, *Payload* visual dipilih dalam bentuk *smartphone*. Pemilihan *smartphone* didasarkan pada pertimbangan kepraktisan dan efisiensi, karena fungsi kamera, penyimpanan data, dan antarmuka komunikasi tersedia dalam satu perangkat yang ringkas. Sensor visual dan sistem pencitraan memang merupakan *Payload* yang paling umum digunakan pada UAV untuk observasi, pemantauan, dan inspeksi [5]. Pada skala prototipe dan pengembangan akademik, penggunaan *smartphone* lebih ekonomis dibandingkan *Payload* inspeksi khusus. Namun demikian, penambahan *smartphone* sebagai *Payload* tetap menambah massa total sistem, memengaruhi pusat massa, dan meningkatkan kebutuhan thrust saat operasi [6]. Oleh sebab itu, pemilihan *smartphone* sebagai *Payload* harus diimbangi dengan rancangan rangka yang memadai agar distribusi massa, kekakuan, dan kekuatan struktur tetap terjaga.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rangka *quadcopter* merupakan elemen struktural utama yang menopang motor, komponen elektronik, sumber daya, dan *Payload*. Kualitas rancangan rangka menentukan kemampuan sistem dalam membawa beban, menjaga kekakuan, dan mempertahankan kestabilan geometri saat menerima pembebanan [7]. Analisis struktur sejak tahap desain menjadi penting untuk memastikan bahwa rangka tidak hanya ringan, tetapi juga cukup kuat untuk menahan beban kerja [8]. Dalam konteks penelitian ini, keberadaan *mounting smartphone* menjadikan rancangan rangka tidak dapat dipisahkan dari pembahasan distribusi massa, keamanan sambungan, dan respons struktur terhadap beban.

Konsep modular dipilih karena memberikan keuntungan berupa kemudahan perawatan, penggantian bagian, serta fleksibilitas konfigurasi [9]. Pada sistem modular, bagian seperti *Arm*, *Base Plate*, atauudukan *Payload* dapat diganti tanpa harus memproduksi ulang keseluruhan rangka. Bagi pengembangan prototipe, modularitas juga mempercepat iterasi desain karena perubahan dapat difokuskan pada modul tertentu. Meskipun demikian, modularitas menimbulkan tantangan berupa konsentrasi tegangan pada antarmuka sambungan, sehingga desain sambungan baut dan area pemasangan *Payload* harus dianalisis secara cermat [10].

Untuk mewujudkan rancangan yang ekonomis dan mudah diproduksi, proses manufaktur yang dipilih adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan material PLA+. Teknologi FDM sesuai untuk pengembangan prototipe karena memungkinkan iterasi desain cepat, biaya awal yang relatif rendah, dan kemampuan memproduksi geometri yang kompleks [11],[12],[13]. Material PLA+ dipilih karena memiliki printability yang baik dan banyak digunakan pada komponen struktural ringan berbasis FDM [14]. Walaupun demikian, performa mekanik komponen hasil FDM dipengaruhi oleh berbagai parameter proses seperti temperatur *nozzle*, pola *infill*, orientasi cetak, dan kualitas ikatan antar *layer* [15], [13]. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan rangka berbahan PLA+ tidak cukup hanya dibuat, tetapi harus dianalisis agar layak secara mekanik.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penggunaan sambungan baut pada sistem modular dan *Payload* mounting juga membutuhkan perhatian khusus. Perilaku *pull-out* pada metal threaded inserts di komponen termoplastik hasil fused-layer modelling dipengaruhi oleh rancangan zona sambungan dan karakteristik struktur *internal part* [16]. *Performa* sambungan baut juga berkaitan erat dengan distribusi beban, dimensi elemen pengikat, dan konfigurasi sambungan [11]. Oleh karena itu, perancangan drone untuk membantu inspeksi pada tempat tinggi yang berbahaya tidak cukup berhenti pada pemilihan platform dan *Payload*, tetapi harus diperkuat melalui perancangan rangka, analisis struktur, dan evaluasi sambungan yang memadai.

Berdasarkan uraian tersebut, urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk menyediakan rancangan rangka drone yang mampu membawa *smartphone* sebagai *Payload visual* untuk membantu inspeksi pada tempat tinggi yang berbahaya bila dilakukan langsung oleh manusia. Penelitian ini tidak berfokus pada pengembangan sistem inspeksi drone secara umum, tetapi pada perancangan rangka drone bermounting *smartphone* yang ringan, cukup kuat, mudah diproduksi, dan aman secara struktural. Oleh karena itu, penelitian diarahkan pada metode VDI 2221 untuk perancangan sistematis, komputasi *Finite Element Analysis* (FEA) statik untuk analisis kekuatan struktur, serta penerapan *Control Plan* untuk pengendalian parameter kritis pada proses manufaktur FDM.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang rangka *quadcopter* modular menggunakan metode VDI 2221?
2. Bagaimana memvalidasi kekuatan struktur lengan *quadcopter* terhadap kondisi operasional melayang (*hovering*) dan gaya dorong ekstrem (*max thrust*) melalui perbandingan perhitungan mekanika analitik dan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA)?
3. Bagaimana menyusun rencana pengendalian kualitas (*Control Plan*) pada proses manufaktur aditif berbasis FDM untuk memastikan keberhasilan cetak dan fungsionalitas komponen rangka?

1.3 Tujuan Penulisan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan rancangan rangka *quadcopter* modular berbasis FDM-PLA+ menggunakan metode VDI 2221.
2. Memvalidasi kekuatan struktur lengan *quadcopter* pada kondisi operasional *hovering* dan akselerasi ekstrem melalui pendekatan perhitungan analitik balok kantilever dan simulasi komputasional *Finite Element Analysis* (FEA).
3. Menyusun *Control Plan* untuk mengendalikan parameter kritis manufaktur FDM guna meminimalisir kegagalan produksi komponen.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Manfaat Penulisan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi Mahasiswa :

Menerapkan metode VDI 2221, simulasi FEA, dan penyusunan *Control Plan* manufaktur secara terintegrasi pada perancangan produk fungsional.

2. Bagi institusi :

Menyediakan referensi perancangan rangka *quadcopter* modular berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang tervalidasi secara komputasi struktural.

3. Bagi pengguna / Praktisi :

Memberikan panduan perancangan rangka mekanik berbasis cetak 3D (FDM) yang tervalidasi secara kekuatan struktur (FEA) dan memiliki parameter pengendalian produksi (*Control Plan*) yang terukur untuk meminimalisir kegagalan cetak dalam pengembangan *quadcopter*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Perancangan difokuskan pada struktur rangka mekanik (*frame*) menggunakan metode VDI 2221. Komponen *mounting smartphone* menggunakan produk komersial siap pakai (COTS) dan tidak dirancang dari awal.
2. Material prototipe direpresentasikan secara spesifik menggunakan spesifikasi *Technical Data Sheet* (TDS) komersial eSUN PLA+ kelas teknik (*engineering grade*).
3. Analisis kekuatan struktur dibatasi pada pendekatan kuasi-statis (*quasi-static*) dengan fokus pada elemen lengan tunggal (*individual arm*) yang

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

diasumsikan sebagai balok kantilever, guna mengisolasi jalur beban kritis (*critical load path*) akibat gaya dorong motor maksimal (100% *thrust*) dan *hovering*.

4. Penelitian ini tidak mencakup analisis aerodinamika (*Computational Fluid Dynamics*), perancangan sirkuit kelistrikan, maupun sistem kendali navigasi penerbangan.
5. Perencanaan produksi dibatasi pada pengaturan parameter cetak dasar untuk mesin 3D printer tipe *Fused Deposition Modeling* (FDM).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan digunakan pada skripsi dibagi menjadi lima bab, yaitu:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan dasar pemikiran yang melatarbelakangi penelitian, perumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan serta manfaat yang diharapkan, dan diakhiri dengan pemaparan sistematika penulisan laporan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan landasan teori yang menjadi acuan analisis, kajian komprehensif terhadap literatur dan penelitian terdahulu yang relevan, serta kerangka pemikiran yang mendasari pengembangan hipotesis penelitian.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjabarkan metodologi operasional penelitian, meliputi jenis dan objek penelitian, teknik pengambilan sampel, sumber data, serta prosedur pengumpulan dan teknik analisis data yang diterapkan.

4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, serta pembahasan mendalam mengenai analisis data dan perhitungan teknis untuk menjawab rumusan masalah.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan akhir dari seluruh rangkaian penelitian dan analisis yang telah dilakukan, serta memberikan saran-saran konstruktif bagi pengembangan penelitian selanjutnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 5**KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perancangan desain, analisis komputasi numerik, dan penyusunan parameter manufaktur yang telah dieksekusi, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian perancangan rangka *quadcopter* modular ini berhasil dengan rincian sebagai berikut:

1. Perancangan rangka *quadcopter* modular bermuatan *smartphone* berbahan eSUN PLA+ berhasil diselesaikan secara terstruktur menggunakan metode VDI 2221. Variasi Konsep 6 ditetapkan sebagai rancangan definitif karena mengombinasikan geometri lengan meruncing (*tapered*) dengan profil elevasi (*offset*) yang meminimalisir bobot struktural, serta kaki pendarat bersudut (*angled*) yang efektif menyediakan ruang bagi *mounting smartphone* tanpa mengobstruksi bidang pandang (*Field of View*) lensa kamera. Selain itu, evaluasi titik berat (*Center of Gravity*) membuktikan bahwa total massa sistem sebesar 1.228,30 gram terpusat secara simetris sempurna di titik ekuilibrium ($X=0,00$, $Y=0,00$, $Z=-0,01$), meniadakan eksentrisitas beban yang dapat mengganggu stabilitas manuver.
2. Evaluasi kekuatan struktur melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) yang divalidasi silang oleh mekanika analitik balok membuktikan ketangguhan elemen sasis yang mutlak. Pada kondisi operasional melayang konstan (*hovering*), lengan sasis beroperasi dengan aman di zona elastis dengan defleksi 7,99 mm dan *Factor of Safety* (FoS) sebesar 4,75. Bahkan pada manuver akselerasi vertikal paling ekstrem (100% *throttle*), tegangan maksimum yang memusat pada sudut geometri transisi hanya sebesar 36,40 MPa, mempertahankan FoS absolut sasis di angka 1,73. Sementara itu, analisis pada elemen *Base Plate* (*base plate*) menunjukkan bahwa tegangan tumpu aktual (0,189 MPa) dan tegangan cabut (0,06 MPa) akibat sambungan

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- baut berada sangat jauh di bawah batas luluh material PLA+ (63 MPa), sehingga memastikan sambungan mekanis bebas dari risiko jebol atau koyak.
3. Rencana pengendalian kualitas (*Control Plan*) untuk proses manufaktur aditif *Fused Deposition Modeling* (FDM) berhasil dirumuskan secara terukur untuk meminimalisir cacat produksi. Penguncian parameter operasional pada Laju Aliran Ekstrusi (VFR) 4,0 hingga 4,8 mm³/s dan penggunaan kepadatan internal (*infill density*) sebesar 60% berpola *Concentric* untuk elemen lengan, mengonfirmasi bahwa produksi purwarupa fisik hanya mengonsumsi 292 gram filamen. Optimasi manufaktur ini menghasilkan estimasi biaya material aktual yang sangat ekonomis sebesar Rp72.416, membuktikan bahwa rancangan memenuhi tuntutan efisiensi produksi.

5.2 Saran

Penelitian ini telah menghasilkan rancangan prototype yang tervalidasi secara komputasional (*software-in-the-loop*) berdasarkan batasan masalah yang telah ditetapkan. Untuk pengembangan dan penyempurnaan pada riset selanjutnya, disarankan beberapa hal berikut:

1. Keterbatasan utama pada pengujian FEA di penelitian ini adalah penggunaan pendekatan kuasi-statis dan asumsi model material yang bersifat *isotropic* murni. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan model material *anisotropic* untuk merepresentasikan karakter lapisan cetak 3D secara lebih akurat. Selain itu, penambahan analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sangat direkomendasikan untuk mengevaluasi parameter aerodinamika dan hambatan angin (*drag*) saat *Quadcopter* bermanuver..
2. Evaluasi kekuatan struktur pada penelitian ini murni berbasis statis. Disarankan untuk melakukan validasi eksperimental fisik pengujian destruktif menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Selain itu, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai analisis getaran (*vibration/harmonic analysis*). Kajian ini sangat krusial untuk mengevaluasi efek rambatan resonansi dari putaran motor berkecepatan tinggi terhadap integritas rangka,

memprediksi potensi kelelahan material (*fatigue life*), serta memastikan getaran tersebut tidak merusak stabilitas tangkapan visual pada kamera *smartphone*.

3. Rencana pengendalian kualitas (*Control Plan*) dan desain sasis PLA+ modular yang tangguh dengan FoS 1,73 ini dapat diadopsi sebagai Standar Operasional Prosedur (SOP) di laboratorium manufaktur kampus untuk praktikum perancangan *Quadcopter* udara nirawak tingkat dasar. Untuk pengembangan tingkat lanjut yang membutuhkan muatan misi ekstra berat di sektor industri, disarankan untuk mengeksplorasi substitusi material menggunakan filamen komposit tingkat rekayasa, seperti *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (PLA-CF) atau *Polycarbonate* (PC), guna mendongkrak margin keamanan struktural menjadi lebih masif.
4. Melibatkan praktisi industri secara langsung, seperti insinyur manufaktur penerbangan nirawak (*UAV Engineer*) pada tahapan *Focus Group Discussion* (FGD) di riset selanjutnya. Langkah ini krusial untuk mendapatkan parameter operasional (*Demand*) yang lebih spesifik dan tervalidasi oleh regulasi industri, guna menyempurnakan keterbatasan penelitian saat ini yang hanya berfokus pada kalangan akademisi dan pakar *Computer-Aided Design* (CAD) akibat kendala geografis.
5. Mengingat batasan perancangan yang difokuskan secara eksklusif pada rekayasa struktur mekanik, disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan riset ini dari sisi elektrik. Kajian ini dapat mencakup perancangan tata letak sirkuit kelistrikan (*wiring management*), optimasi manajemen daya baterai terhadap total massa *Quadcopter*, hingga integrasi dan kalibrasi sistem kendali penerbangan (*flight controller*) agar prototipe sasis modular ini dapat diuji terbang secara aktual di lapangan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Takala, P. Hämmäläinen, R. Sauni, C.-H. Nygård, D. Gagliardi, and S. Neupane, "Global-, regional- and country-level estimates of the work-related burden of diseases and accidents in 2019," *Scand J Work Environ Health*, vol. 50, no. 2, pp. 73–82, Mar. 2024, doi: 10.5271/sjweh.4132.
- [2] Y. Wang, C. Liu, H. Xu, X. Geng, Y. Wang, and Y. Liu, "Analysis of the Causes of Falling Accidents on Building Construction Sites in China Based on the HFACS Model," *Buildings*, vol. 15, no. 9, p. 1412, Apr. 2025, doi: 10.3390/buildings15091412.
- [3] P. Nooralishahi *et al.*, "Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies," *Drones*, vol. 5, no. 4, p. 106, Sep. 2021, doi: 10.3390/drones5040106.
- [4] B. Hubbard and S. Hubbard, "Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Bridge Inspection Safety," *Drones*, vol. 4, no. 3, p. 40, Aug. 2020, doi: 10.3390/drones4030040.
- [5] T. X. B. Nguyen, K. Rosser, and J. Chahl, "A Review of Modern Thermal Imaging Sensor Technology and Applications for Autonomous Aerial Navigation," *J. Imaging*, vol. 7, no. 10, p. 217, Oct. 2021, doi: 10.3390/jimaging7100217.
- [6] M. Hwang, H.-R. Cha, and S. Y. Jung, "Practical Endurance Estimation for Minimizing Energy Consumption of Multirotor Unmanned Aerial Vehicles," *Energies*, vol. 11, no. 9, p. 2221, Aug. 2018, doi: 10.3390/en11092221.
- [7] L. A. Al-Haddad *et al.*, "Quadcopter Unmanned Aerial Vehicle Structural Design Using an Integrated Approach of Topology Optimization and Additive Manufacturing," *Designs*, vol. 8, no. 3, p. 58, Jun. 2024, doi: 10.3390/designs8030058.
- [8] S. Brischetto and R. Torre, "Preliminary Finite Element Analysis and Flight Simulations of a Modular Drone Built through Fused Filament Fabrication," *J. Compos. Sci.*, vol. 5, no. 11, p. 293, Nov. 2021, doi: 10.3390/jcs5110293.
- [9] D. Kotarski, P. Piljek, M. Pranjić, C. G. Grlj, and J. Kasać, "A Modular Multirotor Unmanned Aerial Vehicle Design Approach for Development of an Engineering Education Platform," *Sensors*, vol. 21, no. 8, p. 2737, Apr. 2021, doi: 10.3390/s21082737.
- [10] G. O. Dario Croccolo, "Optimization of Bolted Joints: A Literature Review," vol. 13, p. 1708, doi: <https://doi.org/10.3390/met13101708>.
- [11] Z. Wang, Q. Du, R. Zhang, and X. Xie, "Investigation of the Tensile Properties of High-Strength Bolted Joints in Static Drill Rooted Nodular Piles," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 11, p. 4740, May 2024, doi: 10.3390/app14114740.
- [12] V. Andries and S.-M. Zaharia, "Generative Design, Simulation, and 3D Printing of the Quadcopter Drone Frame," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 17, p. 9647, Sep. 2025, doi: 10.3390/app15179647.
- [13] A. Oleff, B. Küster, M. Stonis, and L. Overmeyer, "Process monitoring for material extrusion additive manufacturing: a state-of-the-art review," *Prog Addit Manuf*, vol. 6, no. 4, pp. 705–730, Dec. 2021, doi: 10.1007/s40964-021-00192-4.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [14] A. H. Kadhum, S. Al-Zubaidi, and S. S. Abdulkareem, "Effect of the Infill Patterns on the Mechanical and Surface Characteristics of 3D Printing of PLA, PLA+ and PETG Materials," *ChemEngineering*, vol. 7, no. 3, p. 46, May 2023, doi: 10.3390/chemengineering7030046.
- [15] F. Rivera-López, M. M. L. Pavón, E. C. Correa, and M. H. Molina, "Effects of Nozzle Temperature on Mechanical Properties of Polylactic Acid Specimens Fabricated by Fused Deposition Modeling," *Polymers*, vol. 16, no. 13, p. 1867, Jun. 2024, doi: 10.3390/polym16131867.
- [16] T. Kastner, J. Troschitz, C. Vogel, T. Behnisch, M. Gude, and N. Modler, "Investigation of the Pull-Out Behaviour of Metal Threaded Inserts in Thermoplastic Fused-Layer Modelling (FLM) Components," *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 7, no. 1, p. 42, Feb. 2023, doi: 10.3390/jmmp7010042.
- [17] M. Antonakakis and M. Zervakis, "Advances in Unmanned Aerial Vehicle-Based Sensing and Imaging," *Sensors*, vol. 24, no. 24, p. 8094, Dec. 2024, doi: 10.3390/s24248094.
- [18] D.-G. K. Hwi Kang, "Design and Experiment of a Passive Vibration Isolator for Small Unmanned Aerial Vehicles," vol. 14, p. 4113, doi: <https://doi.org/10.3390/app14104113>.
- [19] H. I. Medellin-Castillo and J. Zaragoza-Siqueiros, "Design and Manufacturing Strategies for Fused Deposition Modelling in Additive Manufacturing: A Review," *Chin. J. Mech. Eng.*, vol. 32, no. 1, p. 53, Dec. 2019, doi: 10.1186/s10033-019-0368-0.
- [20] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, and J. E. Shigley, *Shigley's mechanical engineering design*, Eleventh edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2020.
- [21] S. Behseresht, Y. H. Park, A. Love, and O. A. Valdez Pastrana, "Application of Numerical Modeling and Finite Element Analysis in Fused Filament Fabrication: A Review," *Materials*, vol. 17, no. 17, p. 4185, Aug. 2024, doi: 10.3390/ma17174185.
- [22] A. Isiani *et al.*, "In-Situ Monitoring and Process Control in Material Extrusion Additive Manufacturing: A Comprehensive Review," *JETA*, vol. 3, no. 3, p. 21, Jul. 2025, doi: 10.3390/jeta3030021.
- [23] P. Spanoudakis, E. Christenas, and N. C. Tsourveloudis, "Design and Structural Analysis of a Front Single-Sided Swingarm for an Electric Three-Wheel Motorcycle," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 17, p. 6063, Sep. 2020, doi: 10.3390/app10176063.
- [24] B. M. Al-Hadithi and S. Alcón Flores, "Design and Validation of a 3D-Printed Drone Chassis Model Through Static and Transient Nonlinear FEM Analyses and Experimental Testing," *Drones*, vol. 9, no. 11, p. 789, Nov. 2025, doi: 10.3390/drones9110789.
- [25] H. Irwan, M. R. Fattah, R. D. G. Tarigan, F. M. S. Aritonang, and E. Sumarya, "Application of the VDI 2221 method in the design of 3D printer machines utilizing additive manufacturing technology," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 18, no. 1, pp. 126–135, Jun. 2025, doi: 10.31315/opsi.v18i1.13477.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [26] A. B. Basyari, “METODE DESAIN VDI 2221 UNTUK MERANCANG MESIN UJI MIKRO FATIK TIPE CANTILEVER ROTATING BENDING LOAD DENGAN SISTEM KONTROL HUMAN MACHINE INTERFACE,” *Turbo*, vol. 13, no. 2, Dec. 2024, doi: 10.24127/trb.v13i2.3718.
- [27] D. S. Imandha, S. R. Feriaty, and R. E. Listyanto, “Analisis Waste Supply Part Dengan Pendekatan Six Sigma DMAIC,” vol. 5, no. 2, 2026.
- [28] Hamed Taherdoost, “Data Collection Methods and Tools for Research; A Step-by-Step Guide to Choose Data Collection Technique for Academic and Business Research Projects,” vol. 10, no. 1, 2021.
- [29] F. Martins, M. F. Almeida, R. Calili, and A. Oliveira, “Design Thinking Applied to Smart Home Projects: A User-Centric and Sustainable Perspective,” *Sustainability*, vol. 12, no. 23, p. 10031, Dec. 2020, doi: 10.3390/su122310031.
- [30] “Smartphone Market Share,” IDC. Accessed: Jun. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/>
- [31] “GSMArena.com - mobile phone reviews, news, specifications and more...” Accessed: Jun. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.gsmarena.com/>

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar jenis *Smartphone*

No	Merek & Tipe Smartphone	Massa (Gram)	No	Merek & Tipe Smartphone	Massa (Gram)
1	Apple iPhone 15 Pro Max	221	61	Xiaomi 13T Pro	200
2	Apple iPhone 15 Pro	187	62	Xiaomi 13T	193
3	Apple iPhone 15 Plus	201	63	Xiaomi 13 Pro	229
4	Apple iPhone 15	171	64	Xiaomi 13	185
5	Apple iPhone 14 Pro Max	240	65	Xiaomi 12T Pro	205
6	Apple iPhone 14 Pro	206	66	Xiaomi 12T	202
7	Apple iPhone 14 Plus	203	67	Xiaomi 11T Pro	204
8	Apple iPhone 14	172	68	Redmi Note 13 Pro+	204
9	Apple iPhone 13 Pro Max	238	69	Redmi Note 13 Pro	187
10	Apple iPhone 13 Pro	204	70	Redmi Note 13 5G	174
11	Apple iPhone 13	174	71	Redmi Note 12 Pro+	208
12	Apple iPhone 12 Pro Max	228	72	Redmi Note 12 Pro	187
13	Apple iPhone 12 Pro	189	73	Redmi Note 12	188
14	Apple iPhone 12	164	74	Redmi Note 11 Pro 5G	202
15	Apple iPhone 11	194	75	Redmi Note 11	179
16	Samsung Galaxy S24 Ultra	232	76	Redmi Note 10 Pro	193
17	Samsung Galaxy S24+	196	77	Redmi 13C	192
18	Samsung Galaxy S24	167	78	Redmi 12C	192
19	Samsung Galaxy S23 Ultra	234	79	Redmi 10	181
20	Samsung Galaxy S23+	196	80	Redmi 9	198
21	Samsung Galaxy S23	168	81	POCO X6 Pro	190
22	Samsung Galaxy S22 Ultra	228	82	POCO X6	181
23	Samsung Galaxy S22+	195	83	POCO X5 Pro	181
24	Samsung Galaxy S21 Ultra	227	84	POCO X5	189
25	Samsung Galaxy S21 FE	177	85	POCO F5 Pro	204
26	Samsung Galaxy XCover 7	240	86	POCO F5	181
27	Samsung Galaxy XCover 6 Pro	235	87	POCO M6 Pro	179
28	Samsung Galaxy XCover Pro	218	88	POCO M5	201
29	Samsung Galaxy A55 5G	213	89	POCO C65	192
30	Samsung Galaxy A54 5G	202	90	POCO X4 Pro 5G	205
31	Samsung Galaxy A53 5G	189	91	POCO F4 GT	210
32	Samsung Galaxy A35 5G	209	92	POCO X3 Pro	215
33	Samsung Galaxy A34 5G	199	93	Vivo X100 Pro	221
34	Samsung Galaxy A25 5G	197	94	Vivo X100	202
35	Samsung Galaxy A24	195	95	Vivo X90 Pro	215
36	Samsung Galaxy A15 5G	200	96	Vivo X90	200
37	Samsung Galaxy A14 5G	202	97	Vivo X80 Pro	215
38	Samsung Galaxy A05s	194	98	Vivo V30 Pro	188
39	Samsung Galaxy A04s	195	99	Vivo V30	186
40	Samsung Galaxy M54 5G	199	100	Vivo V29 Pro	188
41	Samsung Galaxy M34 5G	208	101	Vivo V29	186
42	Samsung Galaxy M14 5G	206	102	Vivo V27 Pro	182
43	Samsung Galaxy M13	192	103	Vivo V27	180
44	Samsung Galaxy A73 5G	181	104	Vivo V25 Pro	190
45	Samsung Galaxy A52s 5G	189	105	Vivo V23 5G	179
46	Samsung Galaxy A33 5G	186	106	Vivo V21	176
47	Samsung Galaxy M53	176	107	Vivo Y100	181
48	Samsung Galaxy S20 Ultra	222	108	Vivo Y36	202
49	Samsung Galaxy Note 20 Ultra	208	109	Vivo Y27s	192
50	Samsung Galaxy A72	181	110	Vivo Y22	190
51	Xiaomi 14 Ultra	220	111	Vivo Y35	188
52	Xiaomi 14 Pro	223	112	Vivo Y16	183
53	Xiaomi 14	188	113	Vivo Y02	186
54	iQOO 12 Pro	205	114	Vivo Y20	192
55	iQOO 12	198	115	Vivo Y51	188
56	iQOO 11	205	116	Vivo Y21	182
57	iQOO Z9	188	117	Vivo Y12	190
58	iQOO Z7	173	118	Vivo T2 Pro	175
59	iQOO Z7x	205	119	Vivo T1 5G	187
60	iQOO Neo 7	193	120	Vivo Y50	197



Lampiran 2 Datasheet motor EMAX RS2205

Motor Type 电机型号	Voltage 电压 (V)	Propeller 桨尺寸	Current 电流 (A)	Thrust 推力 (g)	Power 功率 (W)	Efficiency 效率	Speed 转速 (RPM)
RS2205S 2300KV	12	DAL T5045 Tri-blade 三叶桨	1	77	12.00	6.42	7010
			3.1	186	37.20	6.00	10820
			5.1	283	61.20	4.62	13010
			7.1	361	85.20	4.24	14720
			9.1	432	109.20	3.96	16140
			11.1	499	133.20	3.75	17360
			13.1	571	157.20	3.63	18450
			15.1	633	181.20	3.49	19370
			17.1	698	205.20	3.40	20290
			19.1	758	229.20	3.31	20940
			21.7	825	260.40	3.17	21750
		HQ5045BN	1	72	12.00	6.00	6780
			3.1	176	37.20	4.73	10480
			5.1	255	61.20	4.17	12520
			7.1	329	85.20	3.86	14210
			9.1	398	109.20	3.63	15510
			11.1	460	133.20	3.45	16710
			13.1	527	157.20	3.35	17820
			15.1	575	181.20	3.17	18710
			17.2	632	206.40	3.06	19570
			19.1	681	229.20	2.97	20290
			21.1	725	253.20	2.86	20930
			22.5	758	270.00	2.81	21380
			23	774	276.00	2.80	21530
	16	DAL T5045 Tri-blade 三叶桨	1	95	16.00	6.00	7650
			3.1	221	49.60	4.46	11470
			5.1	326	81.60	4.00	14000
			7.1	407	113.60	3.58	15630
			9.1	499	145.60	3.43	17230
			11.1	579	177.60	3.26	18510
			13.1	645	209.60	3.08	19610
			15.1	719	241.60	2.98	20630
			17.1	792	273.60	2.89	21640
			19.1	855	305.60	2.80	22450
			21.2	918	339.20	2.71	23310
			23.1	976	369.60	2.64	23900
			25.1	1041	401.60	2.59	24500
			27.1	1103	433.60	2.54	25060
			29.1	1160	465.60	2.49	25650
			31	1215	496.00	2.45	26000
			33.6	1281	537.60	2.38	26518
		HQ5045BN	1	90	16.00	5.63	7520
			3.1	204	49.60	4.11	11470
			5.1	306	81.60	3.75	13650
			7.1	388	113.60	3.42	15310
			9.1	457	145.60	3.14	16880
			11.1	523	177.60	2.94	17830
			13.1	591	209.60	2.82	18950
			15.2	664	243.20	2.73	20110
			17.1	722	273.60	2.64	20830
			19.1	774	305.60	2.53	21720
			21.2	836	339.20	2.46	23380
			23.2	887	371.20	2.39	24060
			25.2	942	403.20	2.34	24550
			27.3	995	436.80	2.28	25120
			29.3	1045	468.80	2.23	25350
			31.3	1098	500.80	2.19	25630
			33.3	1150	532.80	2.16	25810
			35.1	1208	561.60	2.15	26050
			36.4	1236	582.40	2.12	26170

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Datasheet eSun PLA+

Nov.2021

Version 4.0

PLA+

Technical Data Sheet

The product is modified based on PLA material, easy to print , in addition ,it improves the toughness and layer adherence.PLA+ is an environmentally friendly material, which is easy to print and has smooth surface.Good strength, rigidity, toughness balance, strong impact resistance, very suitable for functional parts printing;Approved by FDA, safer to use;Can be used for conceptual model, rapid prototyping.

Material Status	Mass Production
Characteristics	• Good toughness • Strong impact resistance • High speed printing • Smooth printed surface • Easy to print • Hard to break
Applications	• Prototyping • COSPLAY • Decoration • Other mechanical parts
Form	• Filament
Processing method	• 3D Print, FDM Print

	testing method	Typical value	
Physical Properties			
Density	GB/T 1033	1.23	g/cm ³
Melt Flow Index	GB/T 3682	5	(190°C/2.16kg)
Mechanical Properties			
Tensile Strength	GB/T 1040	63	MPa
Elongation at Break	GB/T 1040	20	%
Flexural Strength	GB/T 9341	74	MPa
Flexural Modulus	GB/T 9341	1973	MPa
IZOD Impact Strength	GB/T 1843	9	kJ/m ²
Thermal Properties			
Heat distortion Temperature	GB/T 1634	53	°C
Continuous Service Temperature	IEC 60216	N/A	
Maximum (short term) Use Temperature		N/A	
Electrical Properties			
Insulation Resistance	DIN IEC 60167	N/A	
Surface Resistance	DIN IEC 60093	N/A	

Wuhan University Building A403-I,A901, No.6 Yuexing 2 Road,Nanshan District,Shenzhen,Guangdong
China
Tel +86 755 86581960
fax +86 755 26031982
Email: bright@brightcn.net
www.esun3d.net

1/2

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Dokumentasi FGD dan Wawancara



Lampiran 5 *Diameters and Areas of Coarse-Pitch and Fine-Pitch Metric Threads*

Table 8-1 Diameters and Areas of Coarse-Pitch and Fine-Pitch Metric Threads*

Nominal Major Diameter d mm	Coarse-Pitch Series			Fine-Pitch Series		
	Pitch p mm	Tensile-Stress Area A_t mm ²	Minor-Diameter Area A_r mm ²	Pitch p mm	Tensile-Stress Area A_t mm ²	Minor-Diameter Area A_r mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6 Harga material filament PLA+ 12 Juli 2026

tokopedia Kategori

Home > Komputer & Laptop > Printer > Tinta Printer > ESUN 3D PRINTER FILA...

ESUN 3D PRINTER FILAMENT PLA+ 1.75mm 1KG Original - Biru
Terjual 3 rb+ • 5 (567 rating)

Rp248.000

Pilih warna: Biru

Putih Hitam Cold White
Milky White Bone White
Merah Fire Engine Red
Orange **Biru** RGB Blue
Biru Muda Haze Blue
Aqua/Cyan Dark Blue Kuning
Abu-abu Silver Cokelat
Light Brown Skin Light Khaki
Hijau RGB Green
Olive Green Pine Green
Peak Green Jade Green
Mint Green Matcha Green
Gold Ungu Very Peri
Merah Muda RGB Red
Baby Blue Lilac Baby Pink

Atur jumlah dan catatan

Biru

1 Stok: 78

Subtotal **Rp248.000**

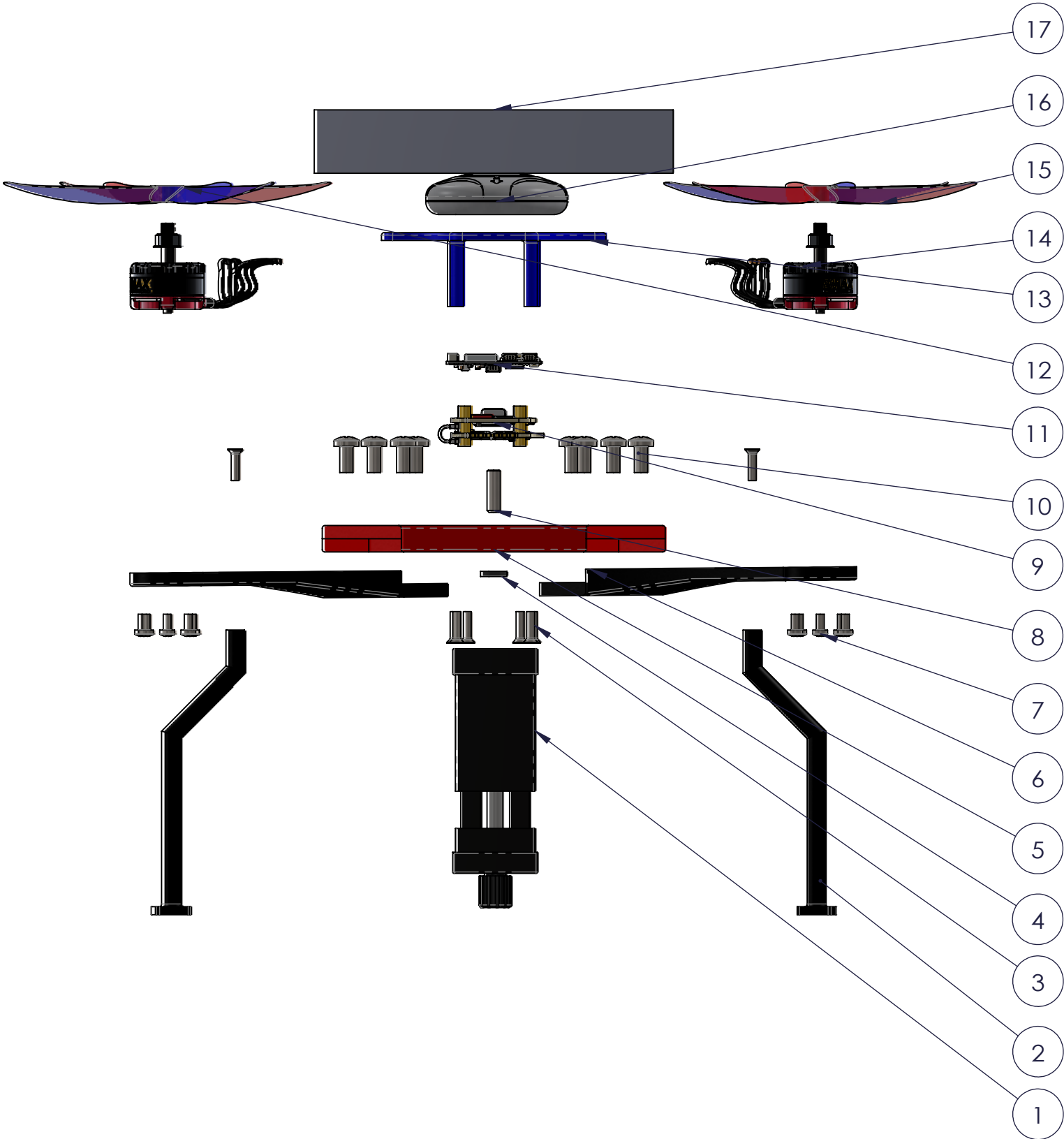
Beli Langsung **+ Keranjang**

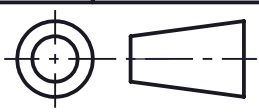
Chat Wishlist Share

JAKARTA

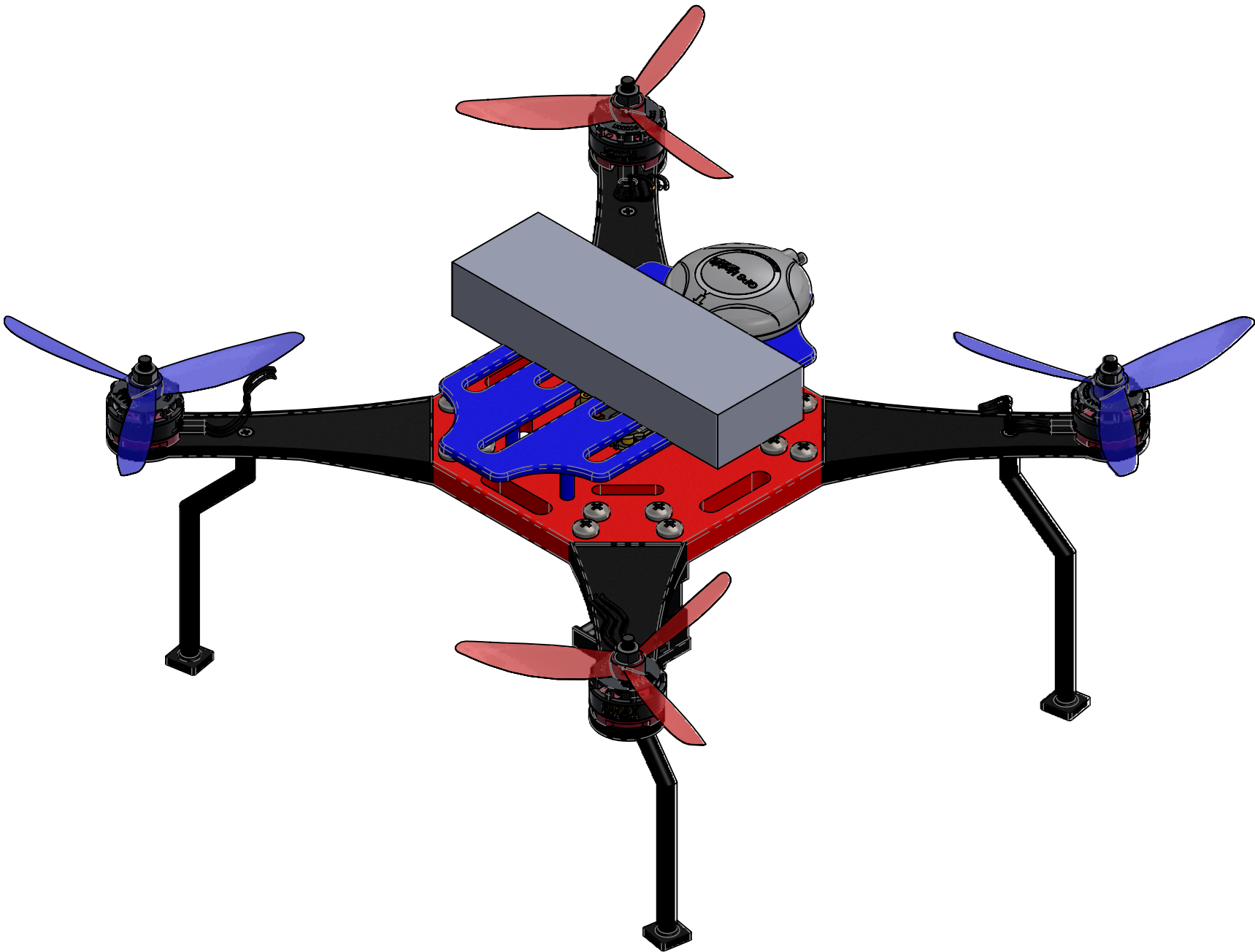
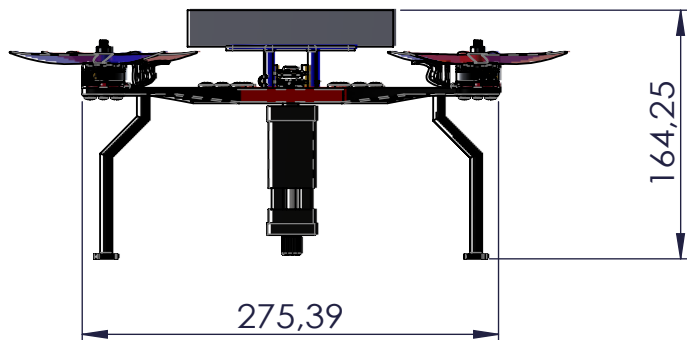
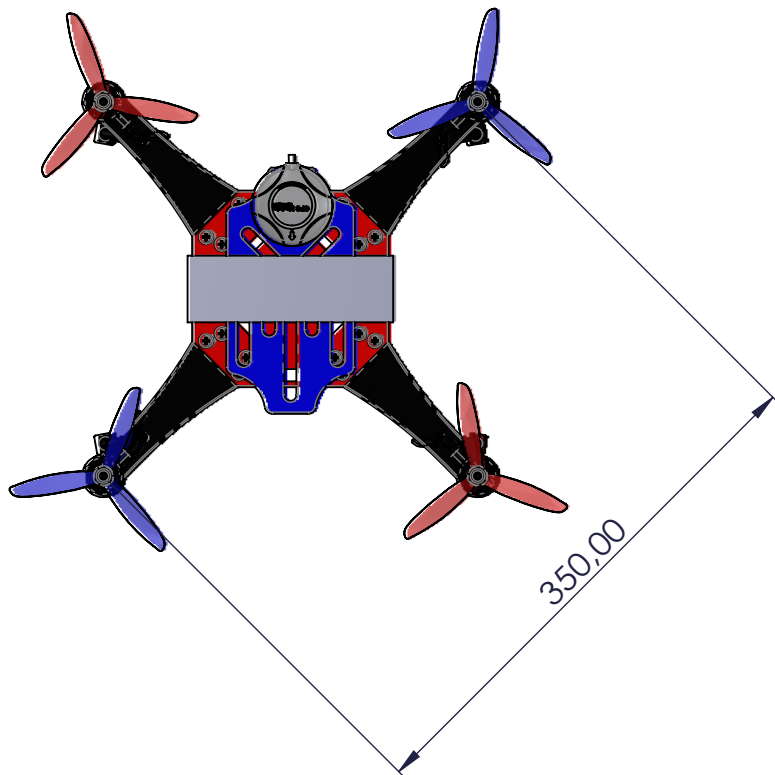
Lampiran 7 Drawing Lengkap *Dessin Drone*

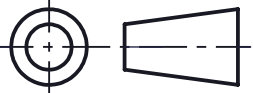
Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



		1	Battery	17	Li-Po	136x44x24	Dibeli		
		1	GPS Module NEO-M8N-0-01	16	ABS	R26.8x16.25	Dibeli		
		2	CW 5045	15	PC	R125.41 x 6.15	Dibeli		
		1	MOTOR EMAX RS2205	14	AA 6061	27.9x34	Dibeli		
		1	Upper Plate	13	PLA+	162.68x84.73x28	Dibuat		
		2	CCW 5045	12	PC	R125.41 x 6.15	Dibeli		
		1	Reciver flyskyFS-X6B-V1.1	11	FR-4	36x22x7	Dibeli		
		16	M5 x 10 - Z - 10N	10	SS304	5x10x10	Dibeli		
		4	SpeedyBee F405 Mini BLS 35A	9	FR-4	30x35x15.20	Dibeli		
		1	ISO 4026 - M5 x 16-N	8	Steel 4.8	5x10x16	Dibeli		
		16	M3 x 6 - Z - 6N	7	SS304	3x10x6	Dibeli		
		4	Arm	6	PLA+	142.99x42x10	Dibuat		
		1	Base Plate	5	PLA+	130x130x10	Dibuat		
		1	Washer rubber	4	NBR	10x2	Dibeli		
		12	M3 x 12 - Z - 12N	3	SS304	3x10x12	Dibeli		
		4	Leg	2	PLA+	13x13x107.75	Dibuat		
		1	Phone Clamp	1	ABS	32x34x98.13	Dibeli		
Jumlah			Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			EXPLODE DRONE VIEW			Skala	Digambar		FARHAN
						1 : 2	Diperiksa		
			Politeknik Negeri Jakarta				No:01/8Q/13		

Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi							
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Variasi yang diizinkan	Ukuran nominal (mm)	>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1		Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2



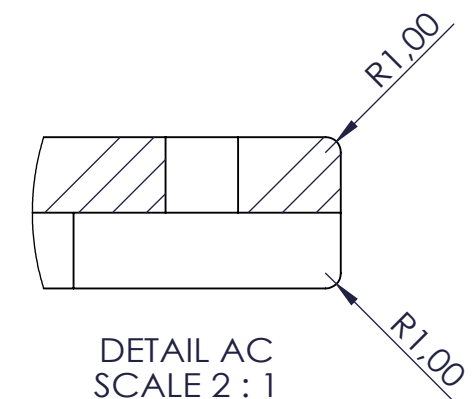
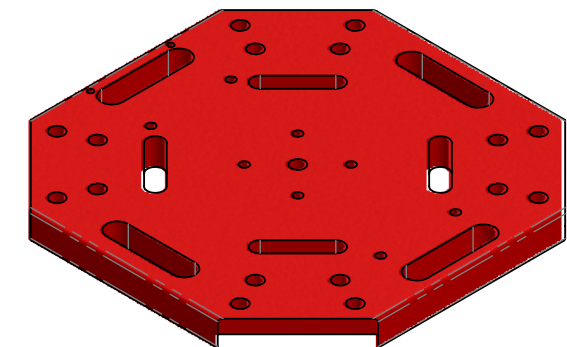
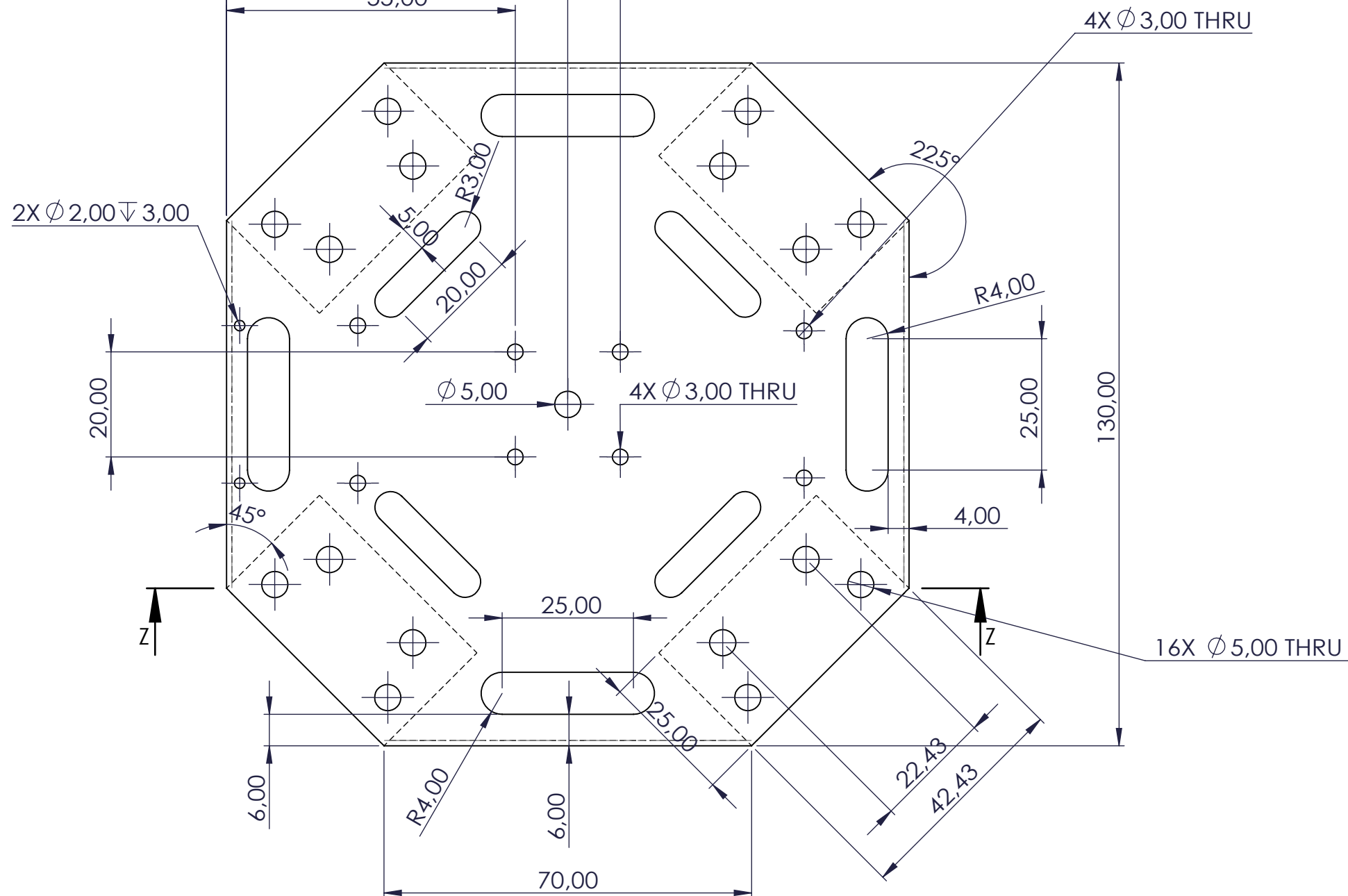
Jumlah			Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan	
III	II	I	Perubahan :					
ISOMETRIC DRONE VIEW						Skala	Digambar	050325
						1 : 2	Diperiksa	DHIYA
Politeknik Negeri Jakarta						No:02/6Q/13		

1

N11

FDM

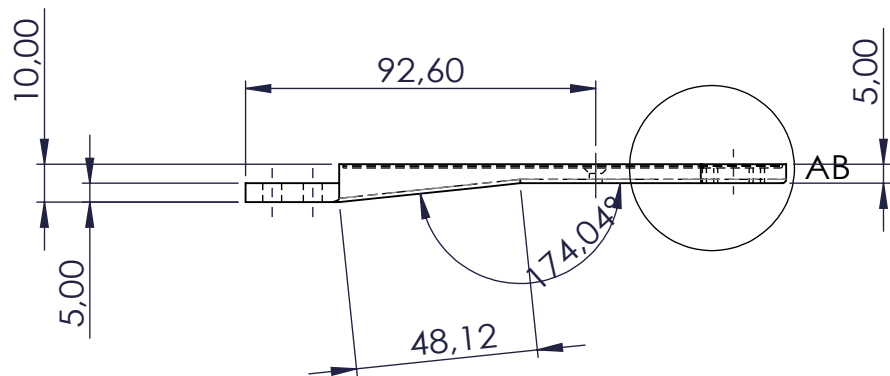
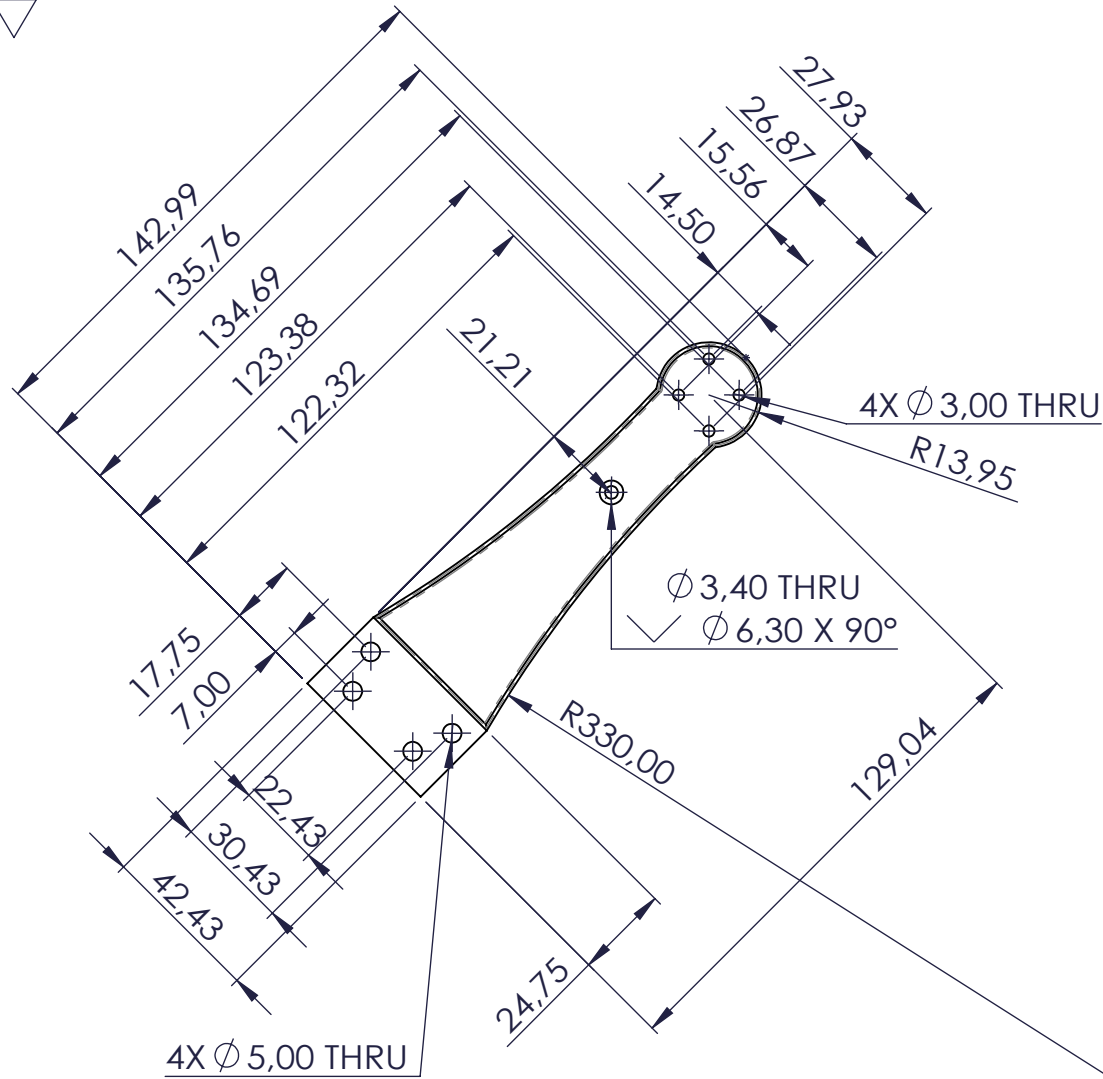
Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi							
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2



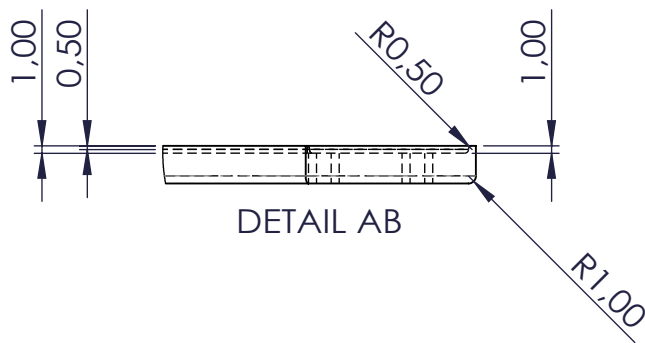
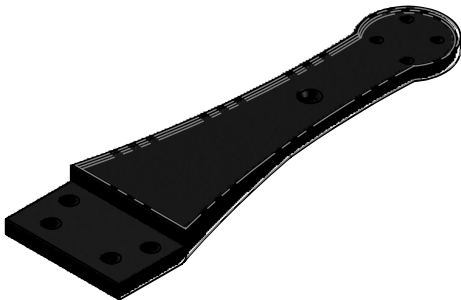
		1	BASE PLATE	5	PLA+	130x130x10	Dibuat
Jumlah	Nama Bagian		No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan	
III	II	I	Perubahan :				
PART BASE PLATE					Skala	Digambar	FARHAN
					1 : 1	Diperiksa	
Politeknik Negeri Jakarta						No:03/8Q/13	

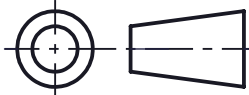
2

N11 FDM



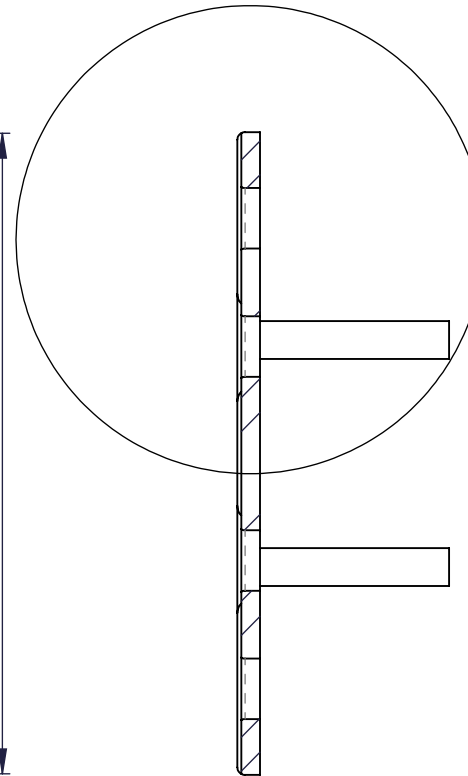
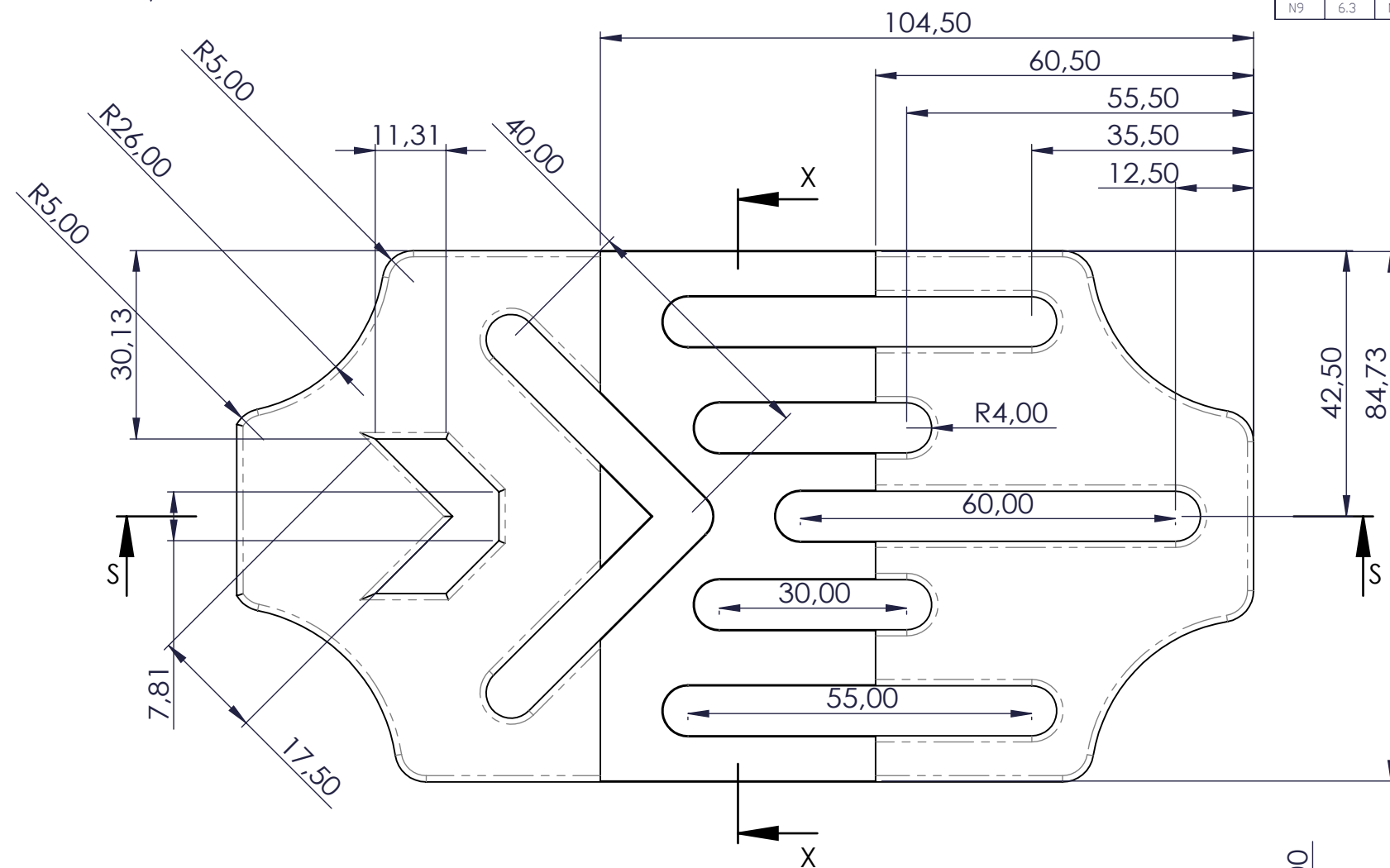
Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



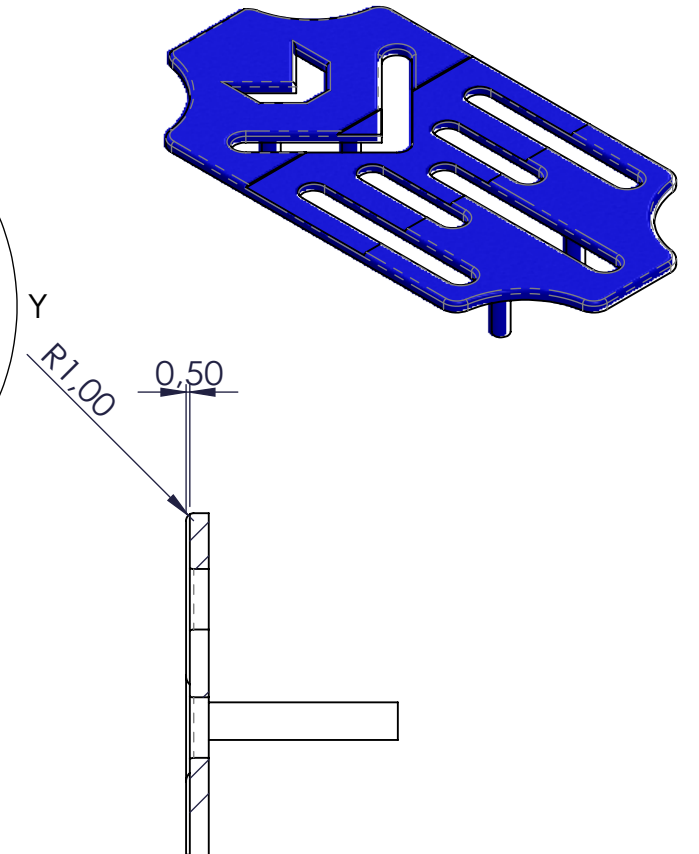
		4	ARM	6	PLA+	142.99x42x10	Dibuat		
Jumlah			Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			PART ARM			Skala 1 : 2	Digambar		FARHAN
							Diperiksa		
			Politeknik Negeri Jakarta			No:04/8Q/13			

3 N11 FDM

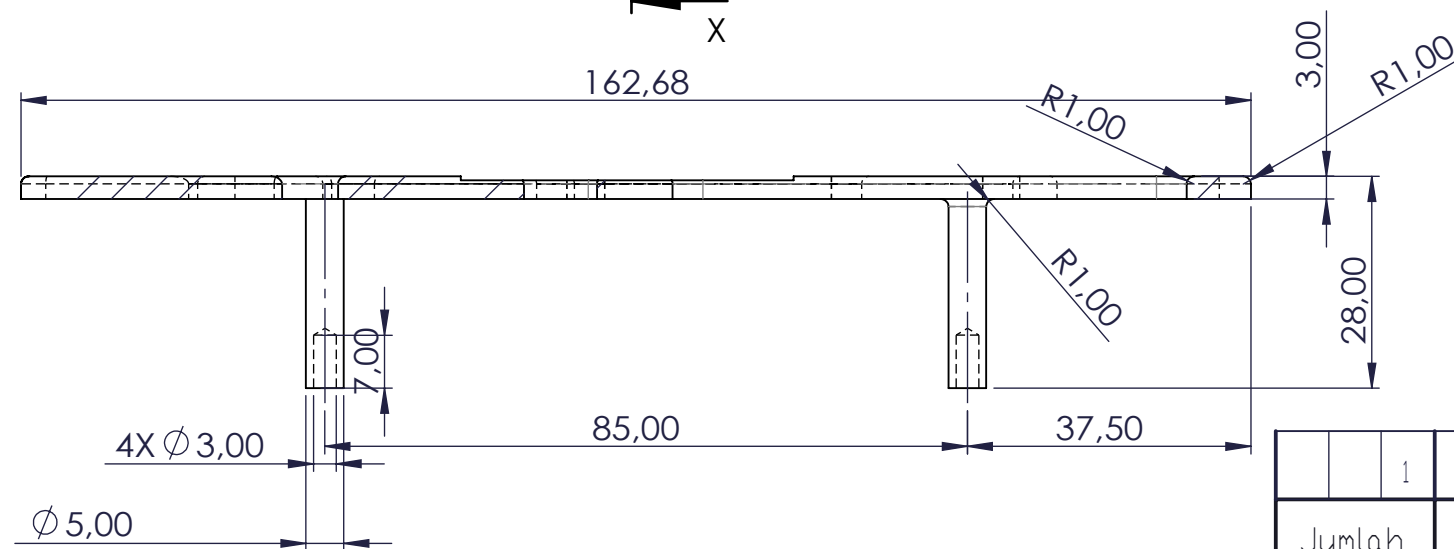
Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi							
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)	>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1		±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2	±1,2



SECTION X-X



DETAIL Y

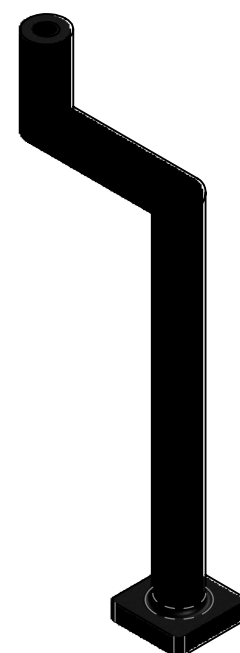
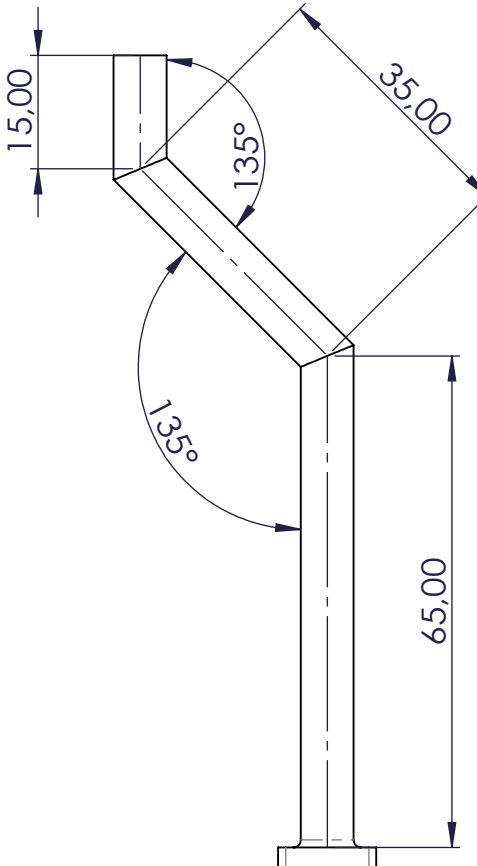
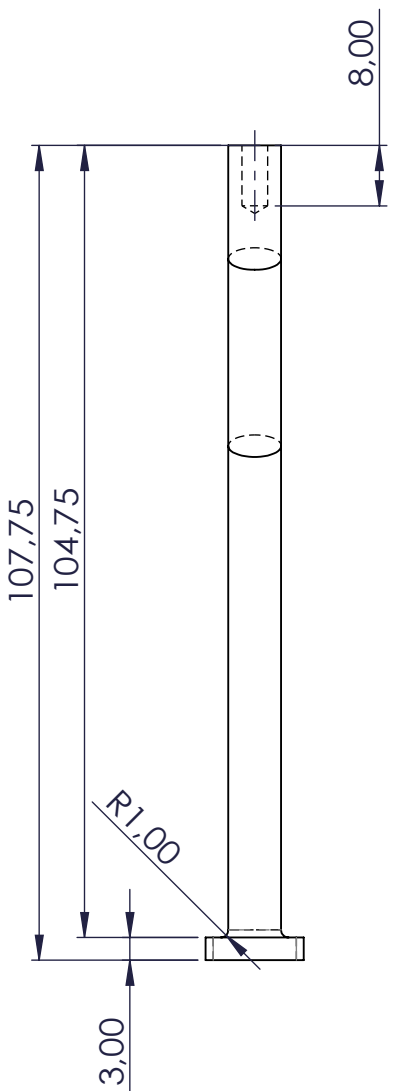
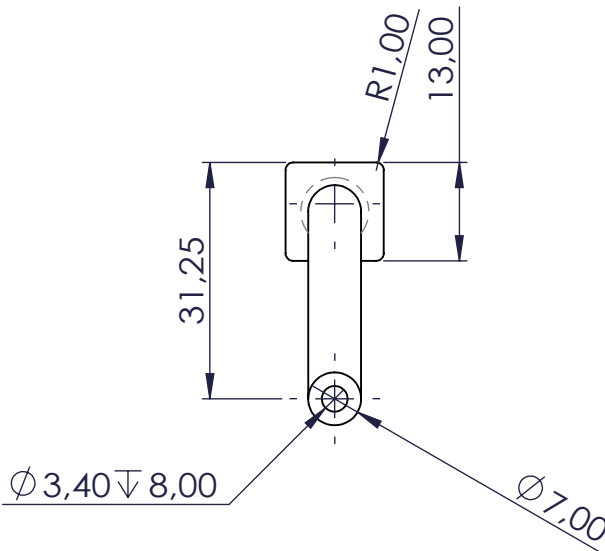


SECTION S-S

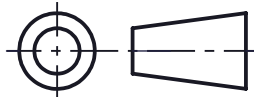
		1	UPPER PLATE	3	PLA+	162,68x84,73x28	Dibuat
Jumlah			Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :				
PART UPPER PLATE						Skala	Digambar
						1 : 1	Diperiksa
Politeknik Negeri Jakarta						No:05/8Q/13	

4

N11 FDM



Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2

		4	LEG	2	PLA+	13x13x107.75	Dibuat		
Jumlah			Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	II	I	Perubahan :						
			PART LEG			Skala	Digambar		FARHAN
						1 : 1	Diperiksa		
			Politeknik Negeri Jakarta			No:06/8Q/13			