

PERANCANGAN KONSEP *FIREFIGHTING SYSTEM* TIPE PELONTAR *DRY CHEMICAL POWDER BALL* PADA *DRONE* PT. CI

¹Riky Adhianto, ²Fauzan Rahmat Arta

^{1, 2}Program Studi Teknologi Perancangan Mekanik, Jurusan Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

¹riky@polman-bandung.ac.id, ² fauzanarta44@gmail.com

INFO ARTIKEL

Diterima : 30 Maret 2023
Direvisi : 1 November 2023
Disetujui : 22 Desember 2023

Kata Kunci :

APAR, *Drone*, *Firefighting*, Kebakaran, Pelontar, *dry chemical powder ball*

ABSTRAK

Kebakaran termasuk kondisi darurat yang tidak mengenal situasi maupun waktu kapanpun bisa terjadi dan sulit dikendalikan yang dapat menimbulkan kerugian materi maupun keselamatan jiwa. Dalam kebakaran ada yang disebut dengan *Flammable Range*, yaitu batas antara konsentrasi minimum dan maksimum campuran uap bahan bakar dengan udara (oksigen) yang dapat meledak atau menyala setiap saat bila diberi sumber panas. Faktor jangkauan, tempat, waktu dan keamanan menjadi penyebab utama sulitnya proses penanggulangan kebakaran. Dalam membantu dan mempermudah proses pemadaman kebakaran, maka dikembangkan sebuah alat yang dapat digunakan dalam penanggulangan kebakaran. Alat ini diharapkan dapat melontarkan APAR jenis *dry chemical powder* berbentuk bola, karena lebih cepat dan efektif untuk memadamkan kebakaran pada bangunan yang tinggi sehingga api tidak sampai membesar dan menimbulkan kerusakan yang lebih fatal. Alat ini dinamakan *firefighting system*, dimana memanfaatkan teknologi *drone* atau *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. *Drone* beserta *firefighting system* diterbangkan menjangkau tempat tinggi, menghindari rintangan, dan dapat terbang dalam jarak yang jauh dengan tujuan dapat meminimalisir resiko yang mengancam keselamatan dalam pengendalian kebakaran. Penelitian ini menggunakan metode perancangan VDI 2222 (Verein Deutsche Ingenieuer 2222), diawali dengan identifikasi masalah, pemilihan alternatif variasi konsep, menentukan spesifikasi komponen, perhitungan konstruksi dan perancangan detail. Diperoleh Alternatif Variasi Konsep 1 sebagai konsep desain terpilih, dengan nilai 420 (84%) untuk Penilaian Teknis dan nilai 360 (72%) untuk Penilaian Ekonomis. *Fire fighting system* ini memiliki dimensi pemasangan pada drone sebesar 600x600x400 mm, berat alat beserta 3 bola sebesar 12 kg, jarak lontar 5.05 m, kecepatan awal sebesar 15.6604 m/s, target dapat berada pada ketinggian 9.512 m.

I. PENDAHULUAN

Kejadian kebakaran merupakan termasuk kondisi darurat yang tidak mengenal situasi maupun waktu yang kapanpun bisa terjadi dan sulit dikendalikan. Kebakaran dengan nyala api kecil maupun besar dapat menimbulkan kerugian materi maupun keselamatan jiwa ditempat terjadinya kebakaran. Tiga elemen penyebab terjadinya kebakaran dinataranya panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*) dan udara (oksigen) (Gambar 1). Ketiga elemen tersebut jika berdiri sendiri belum tentu terjadi kebakaran dan mungkin hanya menghasilkan pijar. Tetapi diperlukan komponen keempat, yaitu *chemical chain reaction* (rantai reaksi kimia) dari ketiga elemen sebelumnya untuk berlangsungnya kejadian kebakaran [3]. Penanggulangan kebakaran pada dasarnya adalah menghilangkan salah satu dari ketiga elemen pada piramida api atau memperkecil *flammable range* untuk memutus rantai reaksi kimia dari api. Terdapat beberapa metoda memadamkan api atau kebakaran kecil.



Gambar Error! No text of specified style in document.. Piramida Api (Tetrahedron)

Setelah mempelajari mekanisme di lapangan, ditemukanlah beberapa permasalahan. Faktor tempat, waktu dan keamanan menjadi penyebab utama sulitnya proses penanggulangan kebakaran. Saat ini umumnya proses penanggulangan dilakukan oleh orang yang memiliki pengetahuan dan keberanian saat situasi darurat kebakaran untuk penanggulangan ringan. Dalam menanggulangi kebakaran secara sepenuhnya diserahkan kepada petugas pemadam kebakaran, petugas ini disebut dengan Dinas Pemadam Kebakaran atau dikenal dengan Damkar. Damkar merupakan petugas yang diberi tanggung jawab dan memiliki kewajiban dalam pemadaman kebakaran dan penyelamatan korban. Saat keadaan darurat kebakaran, api berkemungkinan besar dapat dikendalikan oleh Damkar maupun orang biasa menggunakan APAR atau Alat Pemadaman Api Ringan. Dalam kondisi kebakaran skala besar, kendaraan Damkar berupa mobil atau truk yang dilengkapi peralatan penanggulangan memiliki prioritas untuk melewati jalanan dan tempat umum, tetapi terdapat keterbatasan dalam penggunaan kendaraan tersebut, yaitu membutuhkan waktu untuk menjangkau tempat yang sempit dan tinggi [4]. Selain itu, proses penanggulangan juga memiliki resiko yang besar mengancam keselamatan seperti pada kebakaran pada bangunan tinggi atau gedung (Gambar 2).



Gambar 2. Kebakaran pada Gedung

Dalam upaya membantu dan mempermudah proses pemadaman kebakaran, maka dikembangkan sebuah alat yang dapat digunakan dalam upaya penanggulangan kebakaran. Alat ini diharapkan dapat melontarkan APAR jenis *dry chemical powder* berbentuk bola, karena lebih cepat dan efektif untuk memadamkan kebakaran pada bangunan yang tinggi sehingga api tidak sampai membesar dan menimbulkan kerusakan yang lebih fatal. Selain itu, alat ini diharapkan dapat membantu mengulur waktu untuk petugas pemadam kebakaran dalam memfokuskan tindakan mereka memadamkan api sepenuhnya.

Alat yang telah diproduksi di pasaran belum memiliki mekanisme pelontar (Gambar 3), alat jenis ini hanya mampu melepaskan bola APAR dari atas ke bawah sehingga untuk pengendalian kebakaran didalam gedung, alat ini belum mampu melakukannya.

Gambar 3. *Firefighting Drone* yang ada di Pasaran

PT. CI merupakan sebuah perusahaan teknik Indonesia yang bergerak di bidang teknik penerbangan dengan kompetensi utama di bidang aerodinamika, struktur, dan instrumentasi, yang menggagas pengembangan alat ini. Alat ini dinamakan *firefighting system*. Proyek *Research and Development* (R&D) alat ini memanfaatkan teknologi *drone* atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). *Drone* beserta *firefighting system* diterbangkan menjangkau tempat tinggi, menghindari rintangan, dan dapat terbang dalam jarak yang jauh dengan tujuan dapat meminimalisir resiko yang mengancam keselamatan dalam pengendalian kebakaran. PT. CI menginginkan pemasangan alat ini dengan

memperhatikan beban yang dapat diangkat oleh *drone* agar kemampuan terbangnya tidak terganggu.

Drone yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jenis *Quadcopter drone* (*drone* 4 baling-baling) dengan beban angkut maksimal 12 kg milik PT. CI. Dalam mempertimbangkan berat alat secara keseluruhan, bola APAR yang dapat ditampung yaitu sebanyak tiga buah bola.

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan *drone* pemadam kebakaran diantaranya Konsep kawan *drone* untuk aktivitas pemadam kebakaran dihutan, dimana *drone* memadamkan area kebakaran hutan masih menggunakan cairan pemadam melalui simulasi perambatan api untuk mendukung teknik pemadaman [1], Penggunaan Bola Pemadam Api untuk Sistem Konseptual Pemadaman Kebakaran Berbantuan *Drone*. Disini *drone* hanya mampu membawa satu bola untuk memadamkan dengan cara dijatuhkan ke area kebakaran [2], *Unmanned Aerial Vehicle Robot* untuk Pemadam Api dengan Rancangan Alat Pemadam yang Efisien. Alat pemadam yang dirancang berupa payung terbalik yang bagian kain payung menggunakan kain pemadam atau kain tahan api yang biasa digunakan untuk memadamkan api [7], *Drone UAV Pemadam Kebakaran Hutan Otomatis*. Disini *drone* ditambahkan sebuah sensor pendeteksi titik api yang mengirimkan sinyal ke Mikrokontroler Arduino yang membuat *drone UAV* dapat terbang otomatis menuju titik kebakaran berdasarkan panduan dari GPS [13], Pengembangan Desain *Drone* Sebagai Alat Bantu Evakuasi Bencana. Hasil desain produk disini berupa pengembangan *drone* yang dapat mempercepat mobilitas dan evakuasi korban yang dilakukan oleh petugas pemadam kebakaran [14], dan Desain dan Pengembangan *Drone* Berat untuk Operasi Pemadam Kebakaran. *Drone* mengangkut bola pemadam dan air, dimana masih memanfaatkan gerakan jatuh bebas tanpa lontaran ke area kebakaran [18].

Semua penelitian sebelumnya yang disebutkan diatas telah dilakukan tetapi penelitian untuk sistem pelontar bola pemadam kebakaran yang memanfaatkan *drone* sebagai pengangkutnya belum tersedia. Untuk menjawab kondisi dan kebutuhan tersebut dilakukan Perancangan Konsep *Firefighting System* Tipe Pelontar *Dry Chemical Powder Ball* Pada *Drone* yang diharapkan lebih efisien, mudah dan tepat dalam penggunaannya untuk memadamkan kebakaran. Tahapan perancangan dengan metode VDI 2222 yang akan dilakukan dimulai dengan pengumpulan data lapangan, identifikasi masalah dan gambar teknik, melakukan perancangan mekanisme alat penggiling, melakukan konseptual desain, melakukan optimasi dimensi, dan menghitung komponen elemen mesin.

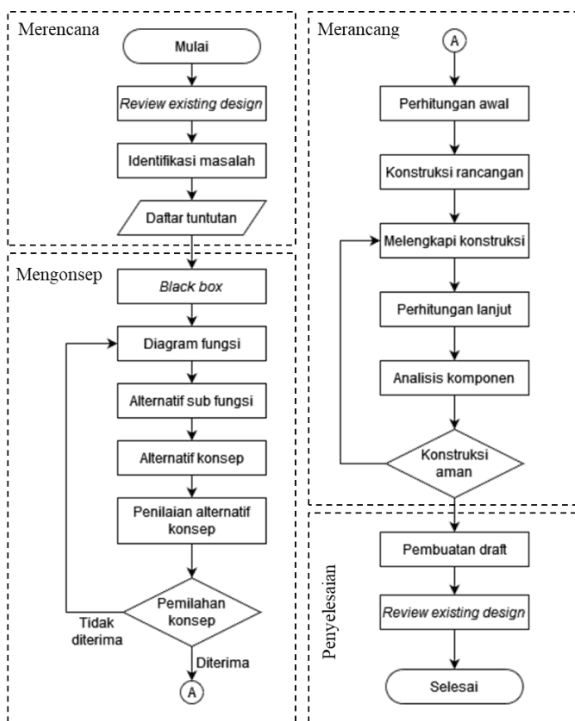
Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini yaitu mengetahui cara mendesain *Firefighting System* Tipe Pelontar *Dry Chemical Powder Ball* Pada *Drone*, berdasarkan pada perhitungan yang bersumber dari

literature dalam mengaplikasikan teori yang dapat dilihat langsung dilapangan.

II. METODE PERANCANGAN

Proses perancangan merupakan rangkaian kegiatan (*fase*) yang berurutan yang mencakup seluruh kegiatan yang terdapat dalam perancangan tersebut. Setiap *fase* memiliki kegiatannya tersendiri yang dinamakan langkah-langkah dalam *fase*. Sedangkan Stuart Pugh menyatakan, total desain dapat diartikan sebagai inti/pusat kegiatan, semua desain harus dimulai dengan kebutuhan itu, ketika puas akan masuk kepasar yang ada saat ini atau membuat pasar sendiri [6].

Dalam menginterpretasi konsep rancangan, metode tahapan perancangan yang digunakan untuk menyelesaikan perancangan *firefighting system* pada *drone* ini adalah metode VDI 2222. Metode ini dimulai dengan tahapan proses analisa/merencana, kemudian melakukan tahapan mengkonsep sehingga kemudian penulis menghasilkan draft rancangan awal. Dalam proses menginterpretasikan konsep rancangan, penulis akan menyajikan data mengenai deskripsi produk yang menentukan konstruksi mekanik dari *firefighting system* pada *drone* ini secara keseluruhan, daftar tuntutan, variasi konsep alternatif, pemilihan keputusan, dan penjelasan ide/gagasan pada konstruksi yang akan digunakan pada fungsi-fungsi bagian alat ini. Tahapan kerja yang dilakukan seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir metodologi perancangan VDI 2222

Dalam proses perancangan *firefighting system* pada *drone* dengan menggunakan metode perancangan VDI 222, langkah-langkah yang harus dilakukan, diantaranya:

A. Merencana

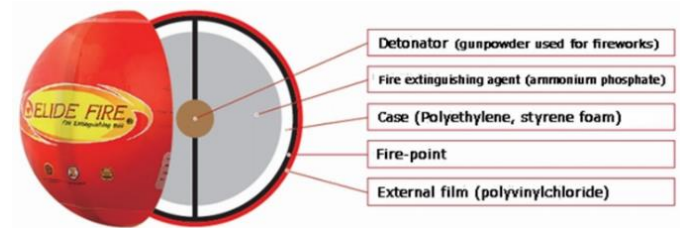
Pada bagian ini memiliki beberapa tahapan. Hasil dari bagian merencana ini berupa daftar tuntutan yang akan menjadi acuan dalam proses perancangan mesin (Tabel I).

Deskripsi Proyek

Firefighting system adalah alat pelontar bola pemadam api yang dipasangkan pada *drone* untuk digunakan dalam membantu proses pemadaman kebakaran. Alat ini terdiri dari motor beserta roda pelontar, sebuah sistem *gate* dan sebuah motor untuk menggerakkan alat naik atau turun dengan sudut tertentu. *Firefighting system* dipasang secara non-permanen menggunakan *mounting* yang dikonstruksikan sedemikian rupa agar dapat dilepaskan saat diperlukan dan alat dikonstruksikan tidak mengganggu kemampuan terbang dan pendaratan pada *drone*.

Deskripsi Produk

Produk yang akan ditampung dan dilontarkan oleh *firefighting system* adalah APAR atau Alat Pemadam Api Ringan yang berbentuk bola (Gambar 5), dengan adanya alat ini produk bisa dilontarkan menuju titik kebakaran. Produk yang bisa ditampung dan dilontarkan terdiri dari beberapa spesifikasi: Diameter 145mm, berat ±1.3Kg, jarak ledakan ±3m³ dan memancarkan suara ledakan sebesar 138db.



Gambar 5. Struktur Bola APAR

Daftar Tuntutan

Tabel I. Daftar Tuntutan

No.	Tuntutan Primer	Spesifikasi/ Keterangan
1	Berat maksimal alat beserta bola	12kg
2	Diameter bola	145 mm
3	Berat bola	1.3kg
4	Kapasitas maksimal bola ditampung	3 Bola
5	Sudut <i>pitching</i> (naik-turun)	30° (Atas 15°, bawah 15°)
6	Jarak minimal melontarkan bola	5 m (Lengkungan lintasan diminimalisir)
7	Dimensi pemasangan pada <i>drone</i>	600 x 600 x 400 (mm)
No.	Tuntutan Sekunder	Spesifikasi/ Keterangan
1	Pengisian ulang bola	Mudah dimasukkan secara manual
2	Pengoperasian	Mudah dioperasikan oleh tenaga ahli
3	Kondisi <i>Drone</i>	Kemampuan terbang dan mendarat tidak terganggu oleh alat
4	Sistem kendali	Terpisah dengan <i>drone</i>
No.	Tuntutan Tambahan	Spesifikasi/ Keterangan
1	Material komponen	Komposit atau material ringan lainnya
2	Perakitan	Mudah dirakit
3	Harga Komponen	Ekonomis/ terjangkau
4	Ketersediaan komponen	Tersedia di workshop PT. Chroma International dan pasar

B. Mengkonsep

Setelah mempelajari mekanisme di lapangan, didapatkan ide/gagasan bahwa akan lebih baik jika proses penanggulangan kebakaran dapat dipermudah dengan adanya alat ini dengan memasangkannya ke *drone*. *Drone* yang digunakan dalam proyek ini yaitu jenis *Quadcopter drone* (*drone* 4 baling-baling) dengan beban angkut maksimal 12kg milik PT. CI (Gambar 6). Dalam mempertimbangkan berat alat secara keseluruhan, bola APAR yang dapat ditampung yaitu sebanyak tiga buah bola.

Firefighting system ini dipasang pada bagian bawah *drone*, dengan tujuan agar tidak mengganggu kemampuan terbang dan pendaratan *drone*. Dimensi ruang bagian bawah *drone* dapat dipasang adalah $\pm 600\text{mm} \times \pm 600\text{mm} \times \pm 400\text{mm}$.

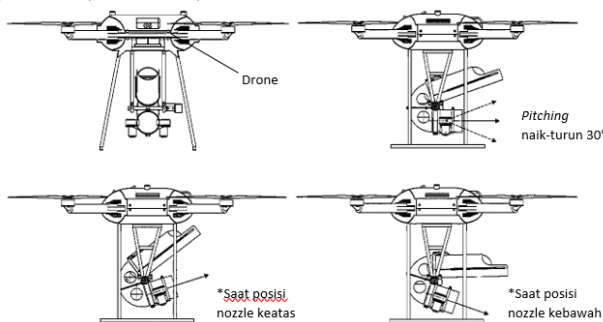


Gambar 6. Quadcopter *Drone* milik PT. CI

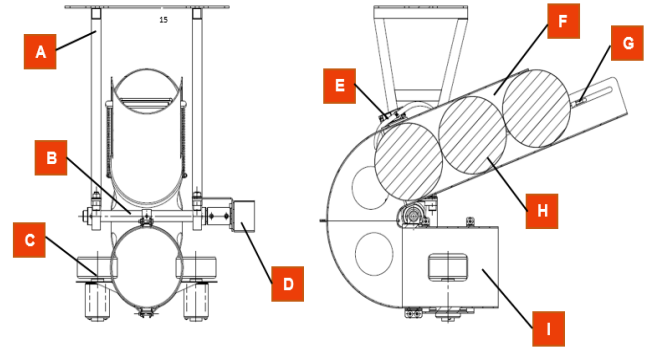
Setelah mempelajari konsep yang ada dan mekanisme di lapangan, dapat disimpulkan hal-hal yang diperhatikan dalam perancangan *firefighting system* adalah:

1. Alat dapat menampung tiga buah bola APAR dengan ukuran diameter 145mm dan berat masing-masingnya adalah 1.3 kg.
2. Berat maksimal alat beserta tiga buah bola adalah 12 kg sesuai kapasitas maksimal angkut *drone*.
3. Alat dapat digerakkan dengan mekanisme *pitching* sebesar 30° dengan sudut maksimal masing-masing 15° ke atas dan 15° ke bawah.
4. Jarak minimal bola dapat terlontar adalah sejauh 5m (horizontal).
5. Dimensi kaki *drone* yang dapat dipasang alat adalah $\pm 600\text{mm} \times \pm 600\text{mm} \times \pm 400\text{mm}$.
6. Alat dapat dipasang ke bagian bawah *drone*, tanpa mempengaruhi kemampuan *drone* untuk terbang dan mendarat.
7. Alat dapat mudah dioperasikan oleh pilot *drone*.

Berikut konsep rancangan yang dikembangkan oleh peneliti (Gambar 7):



Gambar 7. Konsep Rancangan *Firefighting System* pada *Drone*

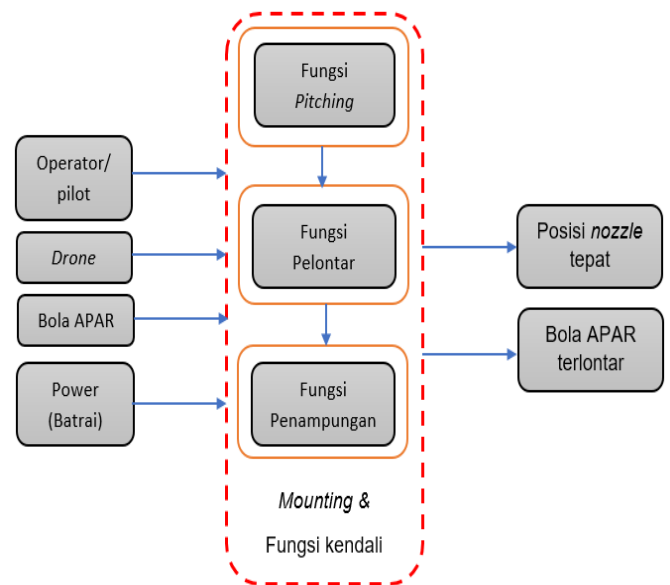


Gambar 8. Detail Konsep Rancangan *Firefighting System*

Keterangan gambar:

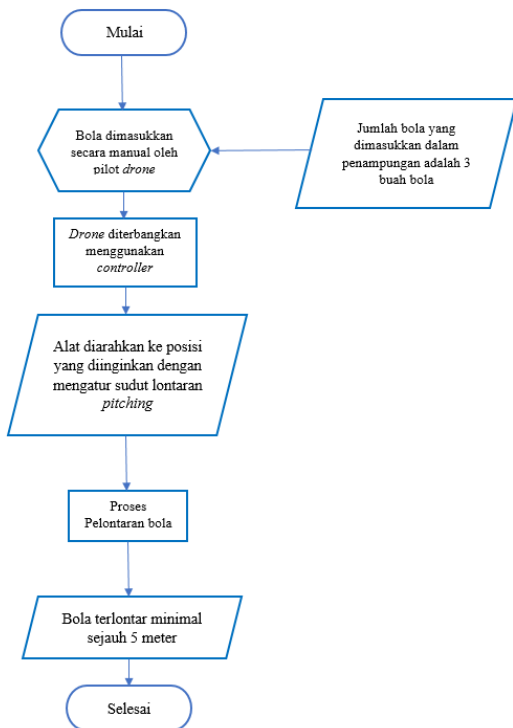
- A : Rangka
- B : Poros pivot
- C : Sistem pelontar
- D : Motor penggerak *pitching*
- E : Sistem *gate*
- F : Sistem penampungan
- G : Pendorong
- H : Produk (Bola APAR)
- I : *Nozzle*

Metode *black box* dimulai dengan pembagian fungsi secara keseluruhan menjadi fungsi-fungsi bagian. Pada metode ini digambarkan dengan aliran masukan atau input. Metode tersebut dijelaskan dalam bagan dibawah (Gambar 9).

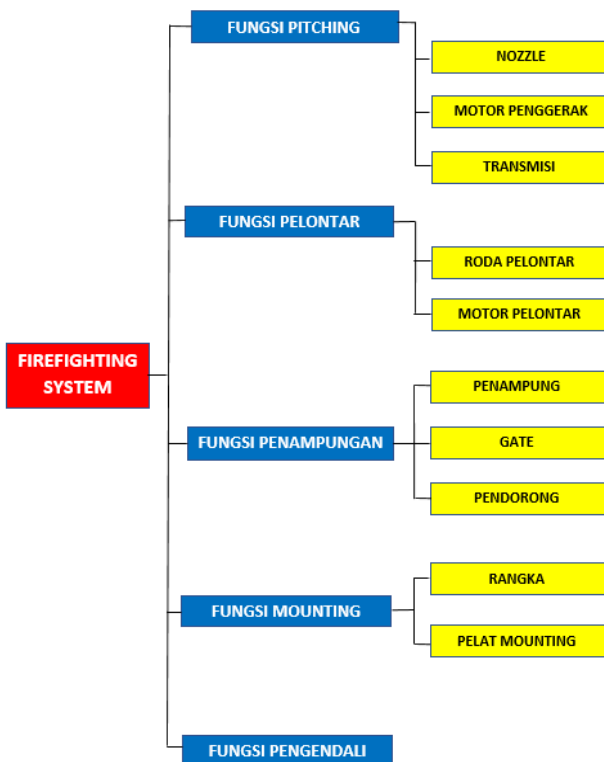


Gambar 9. .Bagan Black Box Rancangan *Firefighting System*

Berikut ditampilkan diagram alir *Firefighting System*, sebagai penjelasan dari mekanisme kerja alat (Gambar 10).



Gambar 10. Diagram Alir Firefighting System

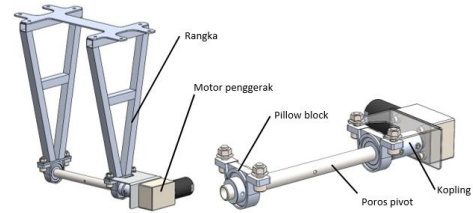


Gambar 11. Diagram Fungsi Bagian Firefighting System

Berdasarkan Gambar 7, 8 dan 11, fungsi-fungsi yang terdapat pada firefighting system pada drone adalah sebagai berikut:

A. Fungsi Pitching

Fungsi *pitching* dalam konstruksi ini berfungsi untuk mengarahkan mulut pelontar bola (Nozzle) untuk naik-turun dengan sudut tertentu sesuai keinginan operator. Fungsi bagian *pitching* terdiri dari motor penggerak dan transmisi penggerak (Gambar 12).



Gambar 12. Struktur Fungsi Pitching

- **Motor penggerak pitching**
Motor penggerak berfungsi sebagai penggerak utama alat untuk dapat bergerak dengan mekanisme *pitching* (Gambar 13).



Gambar 13. Motor Penggerak Pitching

- **Pillow block**
Pillow block berfungsi sebagaiudukan poros pivot yang digerakkan oleh motor penggerak. *Pillow block* yang digunakan yaitu terbuat dari material aluminium (Gambar 14).



Gambar 14. Pillow Block

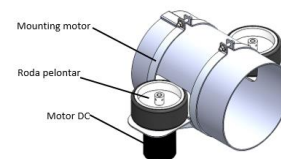
- **Kopling**
Kopling berfungsi untuk mentransmisikan putaran dari motor penggerak menuju poros pivot (Gambar 15).



Gambar 15. Kopling

B. Fungsi Pelontar

Fungsi pelontar dalam konstruksi ini berfungsi untuk melontarkan atau menembakkan bola dengan kekuatan tembakan tertentu tanpa memecahkannya saat dilontarkan. Fungsi bagian pelontar terdiri dari motor penggerak, *mounting* motor, dan roda pelontar (Gambar 16).



Gambar 16. Struktur fungsi pelontar

- **Motor DC**
Motor DC atau motor penggerak berfungsi untuk menggerakkan roda pelontar dengan kecepatan putar tinggi (Gambar 17).



Gambar 17. Motor DC 12V

- **Mounting motor**
Mounting berfungsi sebagai pengikat motor penggerak pada penampungan yang dilalui oleh bola (Gambar 18).



Gambar 18. Mounting motor

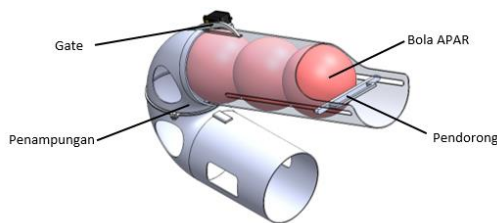
- **Roda karet**
Roda karet adalah komponen yang bersentuhan langsung dengan bola, digerakkan langsung oleh motor, berfungsi sebagai pelontar bola (Gambar 19).



Gambar 19. Roda Karet

C. Fungsi Penampungan

Fungsi penampungan dalam konstruksi ini berfungsi untuk menampung bola yang akan dilontarkan. Bola yang ditampung dapat diatur kapan untuk dilontarkan. Fungsi bagian penampungan terdiri dari penampung, *gate* dan pendorong (Gambar 20).



Gambar 20. Struktur Fungsi Penampungan

- **Motor servo**
Komponen yang berfungsi sebagai penggerak *gate* dalam proses pelontaran bola (Gambar 21).



Gambar 21. Motor Servo

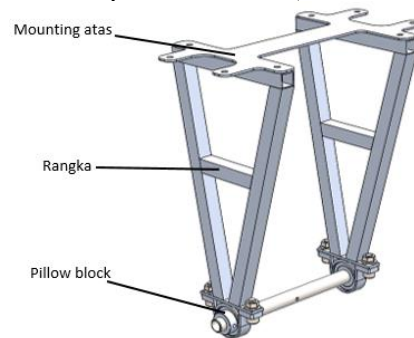
- **Pegas Tarik**
Pegas tarik berfungsi sebagai komponen yang menarik pendorong untuk mendorong bola ke dalam penampungan dan terpasang pada tabung penampungan (Gambar 22).



Gambar 22. Pegas tarik

D. Fungsi *Mounting*

Pada fungsi bagian mounting ini bentuk konstruksi disesuaikan dengan konstruksi *drone* agar mudah dipasang pada *drone* dan tidak menghalangi kemampuan *drone* untuk terbang dan mendarat. Fungsi *mounting* menggunakan rangka *hollow* dan pelat aluminium (Gambar 23).



Gambar 23. Struktur fungsi mounting

E. Fungsi Pengendali

Fungsi pengendali berfungsi mengendalikan semua alat agar bekerja maksimal dan sesuai yang diinginkan, dalam hal ini *firefighting system* agar dapat bekerja dengan baik maka dikendalikan oleh *remote control* yang terhubung pada komponen yang mengatur semua motor penggerak. *Remote control* ini dioperasikan oleh *pilot drone* (Gambar 24).



Gambar 24. Remote Kontrol

Untuk pembuatan konsep rancangan ini, penulis menentukan variasi fungsi bagian, alternatif konsep fungsi keseluruhan, kelebihan kekurangan alternatif konsep, penilaian alternatif konsep, dan penentuan alternatif konsep yang terpilih paling optimal (Tabel II).

Tabel II.
Alternatif Variasi Fungsi Bagian

No	Fungsi Bagian	Alternatif Variasi Fungsi Bagian		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Sub Fungsi bagian	I	II	III
		Worm gear motor DC	Motor Servo	Motor Stepper
	Motor penggerak			
		Kopling (Fleksibel)	Puli dan belt	Worm gear
	Transmisi			
		2	Penggerak	I
Motor DC	Motor Stepper			-
Pelontar	Dua roda		Satu roda	Aktuator pegas
				-
Penampungan	Rangka terbuka		Tabung	-
				
Gate	Double stopper gates	Rotating gate	Rotating cylindrical gates	
			-	
3	Nozzle	Nozzle mat. carbon fiber	Nozzle mat. PVC	Nozzle mat. aluminium
				-
4	Mounting	Material aluminium	Material carbon fiber	-
				
4	Mounting			
				-

Untuk menentukan alternatif konsep fungsi keseluruhan, tim desain menghubungkan variasi konsep masing masing fungsi bagian hingga 2 sampai 3 alternatif variasi konsep secara keseluruhan seperti pada tabel III berikut.

Tabel III.
Variasi Konsep Fungsi Bagian

NO	Fungsi Bagian	Sub Fungsi Bagian	ALTERNATIF			
			Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	
1	Fungsi Pitching	Motor penggerak	A	Worm gear motor DC	Motor Servo	Motor Stepper
		Transmisi gerak	B	Kopling	Puli dan belt	Worm gear
2	Fungsi Pelontar	Penggerak	D	Motor DC	Motor Stepper	-
		Pelontar	E	Dua roda	Satu roda	Aktuator pegas
3	Fungsi Penampungan	Penampungan	F	Rangka terbuka	Tabung	-
		Nozzle	G	Nozzle karbon fiber	Nozzle PVC	Nozzle aluminium
		Gate	H	Double stopper gates	Rotating gates	Rotating cylindrical gate
4	Fungsi Mounting	Rangka	I	material aluminium	material karbon fiber	-

AVK I AVK II AVK III

(AVK : Alternatif Variasi Konsep)

Keterangan:

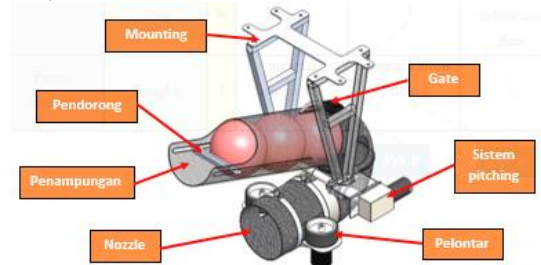
AVK I : A1-B1-C1-D1-E1-F2-G1-H1-I1 (Gambar 25)

AVK II : A3-B3-C3-D1-E2-F2-G2-H2-I1 (Gambar 26)

AVK III : A2-B2-C2-D2-E3-F1-G3-H3-I2 (Gambar 27)

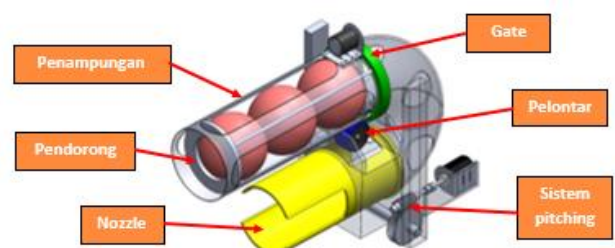
Ketiga alternatif fungsi keseluruhan ini selanjutnya dibuat 3D modeling beserta kelebihan dan kekurangan dari setiap AVK.

(AVK I)



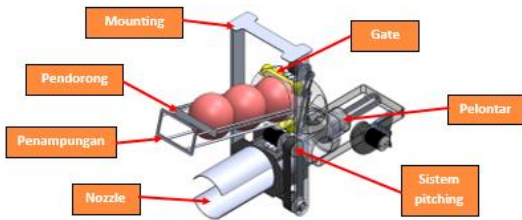
Gambar 25. AVK 1 (Konsep Terpilih)

(AVK II)



Gambar 26. AVK 2

(AVK III)



Gambar 27. AVK 3

Setelah digambarkan modeling untuk ketiga alternatif konsep, tahap selanjutnya dilakukan penilaian. Tahap ini tim desain melakukan penilaian obyektif mengenai setiap konsep yang dihasilkan seberapa baik [17]. Setiap kriteria tersebut diurutkan kembali dengan bobot yang tertinggi nantinya ditempatkan pada posisi paling atas. Setiap alternatif konsep diberi nilai untuk melihat seberapa baik konsep-konsep tersebut dapat memenuhi setiap kriterianya, dan diberikan prosentase. Setelah prosentase dialokasikan, kemudian dilakukan pengalihan dengan faktor bobot untuk setiap kriteria tertentu [8]. Nilai-nilai ini dijumlahkan sehingga dihasilkan persentase total angka untuk setiap konsep. Sehingga, walaupun ada konsep yang memenuhi semua spesifikasi secara lengkap maka akan memperoleh nilai sempurna 100%. Penilaian dari masing masing alternatif fungsi keseluruhan akan memberikan pertimbangan pada aspek tertentu, salah satunya yaitu pemilihan suatu rancangan yang optimal akan menentukan layak atau tidak untuk direalisasikan sesuai kebutuhan yang diinginkan. Aspek tersebut meliputi aspek teknis dan aspek ekonomis, dapat dilihat pada penilaian aspek teknis, untuk kriteria pencapaian fungsi memiliki bobot tertinggi sebesar 30, dan diikuti kriteria *centre of gravity* dan berat keseluruhan untuk *firefighting system* ini sebesar 15. Ini sesuai yang ada di daftar tuntutan dimana mengacu pada kapasitas angkut *drone*. Sedangkan pada penilaian ekonomis, kriteria modular desain dan komponen standar memiliki bobot tertinggi, dengan ini diharapkan konsep terpilih nantinya mengutamakan ketersediaan penggunaan komponen standar yang mudah didapatkan di pasaran tanpa harus ada proses pembuatan komponen, serta memudahkan dalam proses perakitan dan perawatan nantinya.

Tabel IV.
Penilaian Teknis Alternatif Variasi Konsep

Kriteria Penilaian	Bobot	Alternatif Variasi Konsep						Nilai Optimal
		I	II	III	IV	V	VI	
Pencapaian Fungsi	30	5	150	5	150	5	150	150
Kompleksitas sistem	10	4	40	3	30	2	20	50
Center of Gravity (CG)	15	4	60	4	60	3	45	75
Berat keseluruhan	15	4	60	4	60	3	45	75
Kemudahan Dalam Pembuatan	10	3	30	3	30	3	30	50
Kemudahan Dalam Perakitan	10	4	40	3	30	3	30	50
Kemudahan Dalam Pengoperasian	10	4	40	4	40	3	30	50
Nilai	100		420		400		350	500
Persentase			84%		80%		70%	100%

Tabel V.
Penilaian Ekonomis Alternatif Variasi Konsep

Kriteria Penilaian	Bobot	Alternatif Variasi Konsep						Nilai Optimal
		I	II	III	IV	V	VI	
Modular desain	25	4	100	3	75	3	75	125
Komponen standar	25	4	100	3	75	3	75	125
Kemudahan dalam perawatan	20	3	60	3	60	2	40	100
Biaya perawatan	20	3	60	3	60	3	60	100
Pemilihan Material	10	4	40	3	30	3	30	50
Nilai	100		360		300		280	500
Persentase			72%		60%		56%	100%

Skala penilaian: 1 = Sangat kurang

2 = Kurang

3 = Cukup

4 = Baik

5 = Sangat baik

Berdasarkan tabel IV dan tabel V yang menyajikan data perbandingan alternatif variasi konsep mana yang paling optimal menurut penilaian teknis dan ekonomis, dipilih **Alternatif Variasi Konsep 1 (AVK I)** sebagai konsep rancangan yang akan dibuatkan gambar *assembly*, sub *assembly* dan gambar kerja *part*. AVK 1 mendapatkan **nilai tertinggi** untuk aspek teknis sebesar 84% dan aspek ekonomis sebesar 72%. Sedangkan untuk **Alternatif Variasi Konsep 2 (AVK 2)** mendapatkan nilai untuk aspek teknis sebesar 80% dan aspek ekonomis sebesar 60%. Untuk **Alternatif Variasi Konsep 3 (AVK 3)** mendapatkan nilai untuk aspek teknis sebesar 70% dan aspek ekonomis sebesar 56%.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan Alternatif Variasi Konsep terpilih, tim desain melakukan perhitungan spesifikasi komponen dan kontrol terhadap konstruksi dari konsep *firefighting system* tersebut untuk memastikan bahwa mesin hasil rancangan dapat memenuhi fungsi. Perhitungan dan kontrol terutama dilakukan pada komponen-komponen yang dianggap kritis dan yang menerima beban maksimal pada konstruksi *firefighting system* tersebut.

A. Spesifikasi Motor Pelontar

Tahapan pertama yaitu perhitungan motor pelontar pada alat. Perhitungan dilakukan untuk menentukan rpm motor penggerak yang digunakan agar jarak lontaran yang dibutuhkan dapat terpenuhi. Jenis motor yang digunakan adalah motor DC 12v . Berikut adalah rincian perhitungan yang dilakukan.

Berat bola (Wb) : 1.3 kg

Gravitasi (g) : 9.81 m/s²

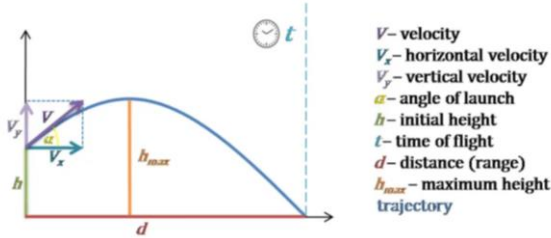
Jarak lontar minimal (x) : 5 m

Ketinggian alat minimal (h1) : 10 m

Ketinggian target (h2) : 9.5 m

Diameter roda pelontar (D) : 100 mm

Sudut lontaran (α) : 0 s/d 15°



Gambar 28. Gerak Parabola

a. Waktu (t)

$$t = \frac{x}{V_x} \quad (1)$$

$$t = \frac{x}{V_o \times \cos \alpha^\circ}$$

b. Kecepatan awal (V_o)

$$y = h + Vy \times t - \frac{1}{2} \times g \times t^2 \quad (2)$$

$$y = h + Vy \times \frac{x}{V_x} - \frac{1}{2} \times g \times \frac{x^2}{V_x^2}$$

$$y = h + x \times \frac{V_o \times \sin \alpha^\circ}{V_o \times \cos \alpha^\circ} - \frac{1}{2} \times g \times \frac{x^2}{V_o^2 \times \cos^2 \alpha^\circ}$$

$$y = 0.5m + 5m \times V_o \times 0 - 4.905m/s^2 \times \frac{25m^2}{V_o^2 \times 1}$$

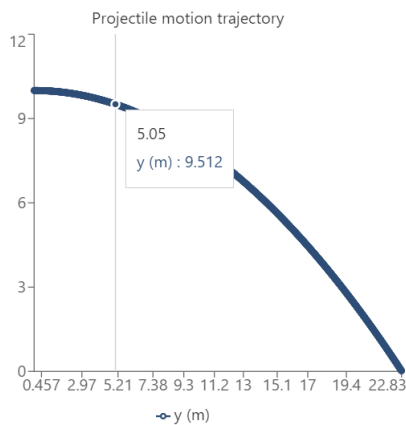
$$y = 0.5m + 0 - \frac{122.625m^3/s^2}{V_o^2}$$

$$0.5m = \frac{122.625m^3/s^2}{V_o^2}$$

$$V_o^2 = \frac{122.625m^3/s^2}{0.5m}$$

$$V_o = 15.6604m/s$$

$$V_o \approx 16m/s$$



Gambar 29. Grafik Parabola berdasarkan perhitungan (dengan Omni Calculator)

Pada grafik tersebut terlihat, dengan sudut lontaran 0° dan kecepatan awal sebesar 15.6604m/s, target dapat berada pada ketinggian 9.512m (selisih 0.488m dari ketinggian alat) dan mencapai jarak sebesar 5.05m

c. Kecepatan sudut (ω)

$$v = \omega \times \frac{1}{60} \times 2\pi r \quad (3)$$

$$16m/s = \omega \times \frac{1}{60} \times 2 \times \pi \times 0,05m$$

$$\omega = \frac{16m/s \times 60}{2 \times \pi \times 0,05m}$$

$$\omega = 3055.7749 \frac{rev}{min}$$

$$\omega \approx 3100 \frac{rev}{min}$$

d. Daya motor (P)

$$P = \frac{\tau \times \omega \times 2\pi}{60000} = 0.0096342 kW \quad (3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dibutuhkan sebuah motor penggerak dengan jumlah putaran/menit senilai 3100rpm untuk dapat melontarkan bola APAR seberat 1.3kg sejauh 5m. Pada konstruksi dipasangkan sepasang motor penggerak di sisi kiri dan kanan, maka jumlah putaran/menit yang dibutuhkan masing-masing motor adalah 1550rpm.

Maka, spesifikasi motor penggerak yang dipilih adalah motor DC dari SUMOTOR tipe R5166 DC12v dengan 2300 rpm dengan berat 0.4kg.

B. Spesifikasi Motor Pitching

Perhitungan sistem pitching meliputi penentuan spesifikasi motor penggerak dan kontrol kekuatan mounting motor.

Berat Housing (Wh) : 7.8 kg
 Berat poros pivot (Wp) : 0.4 kg
 Berat kopling (Wc) : 0.05 kg
 Diameter poros (\emptyset p) : 0.015 m
 Gravitasi (g) : 9.81 m/s²

1. Gaya total (F_{tot})

$$F_{tot} = (Wh + Wp + Wc) \times g = 80.9325 N \quad (4)$$

$$F_{tot} \approx 81 N$$

2. Torsi motor penggerak (τ)

$$\tau = F_{tot} \times r \times g = 5.9595 Nm \quad (5)$$

$$\tau \approx 6 Nm$$

Penulis mengambil dari katalog standar motor DC worm gear dari Bringsmart tipe 1260 dengan jumlah putaran/menit senilai 13 rpm

C. Total Daya Motor

SUMOTOR R5166 DC 12v : 0.0096342 kW (2 unit)
 Bringsmart 1260 12v : 0.0081681 kW (1 unit)
 Servo MG995 6v : 0.06545 kW (1 unit)

• Untuk motor 12v:

$$\text{Total daya} = 0.0274365 KW$$

$$0.0274365 kW = 27.4365 W$$

$$27.4365 W \times 1 jam = 27.4365 Wh$$

$$27.4365 Wh = 2286.375 mAh$$

• Untuk motor 6v:

$$\text{Total daya} = 0.06545 KW$$

$$0.06545 kW = 65.45 W$$

$$65.45 W \times 1 jam = 65.45 Wh$$

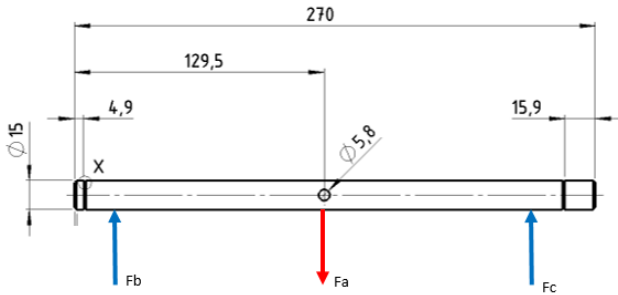
$$65.45 Wh = 10908.333333 mAh$$

Maka total muatan listrik yang dibutuhkan oleh 4 unit motor adalah 13194.7083 mAh. Total muatan tersebut

mencukupi kapasitas maksimal baterai drone, yaitu sebesar 32000 mAh.

D. Kontrol Poros Pivot

Diameter poros pivot (\varnothing_p) : 15 mm
 Panjang lengan Fb-Fc (L1) : 222 mm
 Panjang lengan Fa-Fb/Fa-Fc (L2/L3) : 111 mm
 Berat total alat (Wt) : 8.2 Kg
 Diameter lubang (\varnothing_l) : 5.8 mm
 Gravitasi (g) : 9.81 m/s²
 Material St. 37 (Re) : 240 N/mm²
 Sf (Dinamis berulang) : 2



Gambar 30. Gaya yang Terjadi Pada Poros Pivot

$$\sigma_{izin} = \frac{Re}{Sf} = 120 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

a. Gaya total (Fa)

$$Fa = Wt \times g \quad (7)$$

$$Fa = 80.442 \text{ N}$$

$$Fa \approx 81 \text{ N}$$

b. Momen di a (Mba)

$$\Sigma M_{ba} = 0 \text{ (Cw +)} \quad (8)$$

$$(Fa \times L2) - (Fc \times L1) = 0$$

$$Fc = \frac{(Fa \times L2)}{L1} = 40.5 \text{ N}$$

c. Gaya tumpuan b (Fb)

$$Fb - Fa + Fc = 0 \quad (9)$$

$$Fb = Fa - Fc = 40.5 \text{ N}$$

$$Fb = Fc$$

d. Tegangan Bengkok

$$Mb1 = Fb \times L2 = 4495 \text{ Nmm} \quad (10)$$

$$w = 0.1 \times D^3 - 0.17 \times d \times D^2 \quad (11)$$

$$w = 0.1 \times 20^3 - 0.17 \times 7 \times 20^2$$

$$w = 108 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{Mb1}{w} = 41.62 \text{ N/mm}^2 \quad (12)$$

e. Tegangan Geser

$$\tau_g = \frac{Fb}{A} \quad (13)$$

A = Luas Lingkaran – Luas Lubang

$$\tau_g = \frac{Fb}{\frac{\pi \times \varnothing_p^2}{4} - 87.5522 \text{ mm}^2} = 0.4668 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

f. Tegangan Gabungan

$$\sigma_{gab} = \sqrt{(\sigma_b)^2 + 3 \times (\alpha_0 \times \tau_g)^2} =$$

$$41.6279 \text{ N/mm}^2 \text{ (Kuat)}$$

Dari hasil perhitungan kontrol komponen kritis diketahui, Tegangan gabungan (σ_{gab}) pada patahan lebih kecil dari pada tegangan izin (σ_{izin}).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil proses perancangan yang telah dilakukan mengenai *drone firefighting system*, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Alternatif Varian Konsep terbaik yang terpilih yaitu AVK 1 dengan nilai untuk aspek teknis sebesar 84% dan aspek ekonomis sebesar 72%;
2. *Fire fighting system* ini memiliki dimensi pemasangan pada *drone* sebesar 600x600x400 mm;
3. Dengan spesifikasi hasil seleksi konsep: Konstruksi sistem *pitching* menggunakan *worm gear* motor DC, yaitu motor listrik dengan sistem transmisinya berupa *worm gear* yang menyatu dengan motornya.
4. Kecepatan awal lontaran sebesar 15.6604 m/s ($\approx 16 \text{ m/s}$), target dapat berada pada ketinggian 9.512m (selisih 0.488m dari ketinggian alat) dan mencapai jarak sebesar 5.05 m
5. Motor penggerak dengan jumlah putaran/menit senilai 3100 rpm untuk dapat melontarkan bola APAR seberat 1.3 kg sejauh 5.05 m. Pada konstruksi dipasangkan sepasang motor penggerak di sisi kiri dan kanan, maka jumlah putaran/menit yang dibutuhkan masing-masing motor adalah 1550 rpm.
6. Total muatan listrik yang dibutuhkan oleh 4 unit motor adalah 13194.7083 mAh. Total muatan tersebut mencukupi kapasitas maksimal baterai drone, yaitu sebesar 32000 mAh.
7. Tegangan yang terjadi pada poros pivot sebesar 41.6279 N/mm² karena pembebanan yang diterima berada dalam kondisi aman (kuat), karena tidak melebihi batas tegangan izin sebesar 120 N/mm²

DAFTAR RUJUKAN

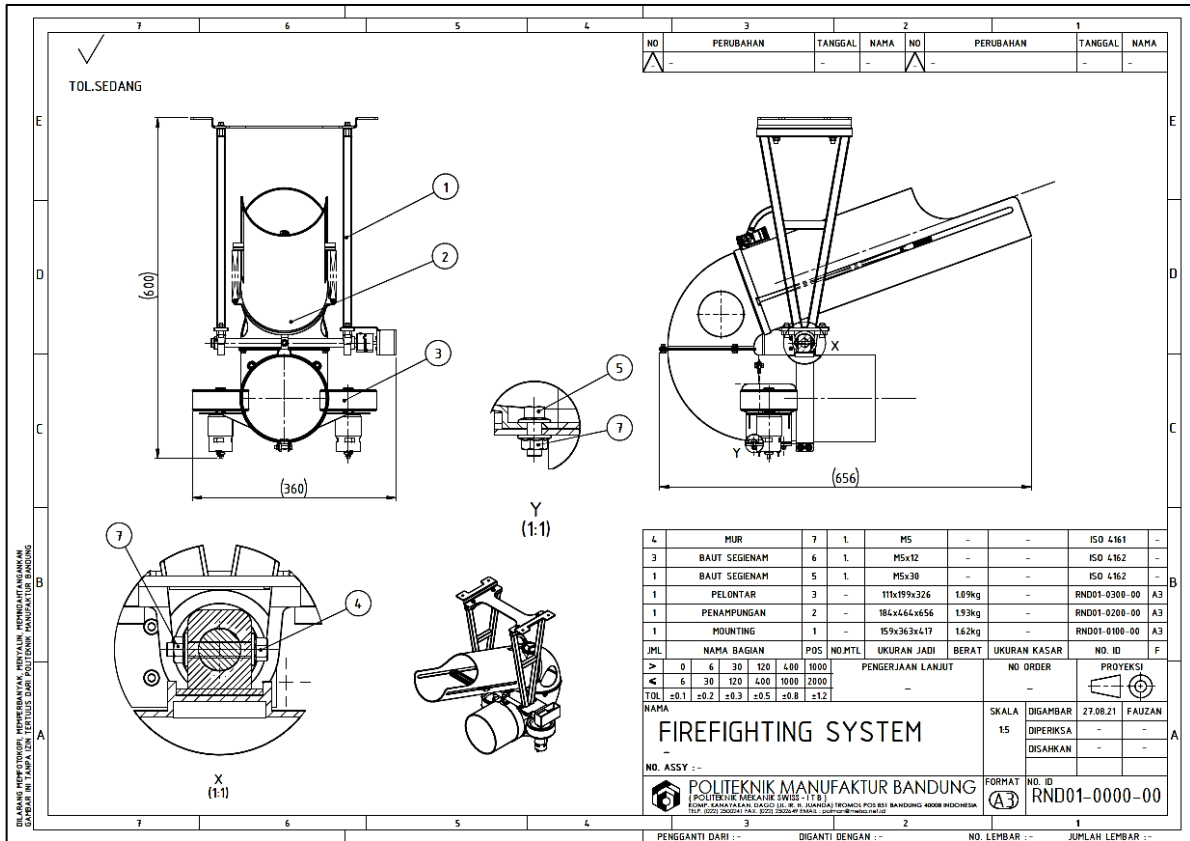
[1] Ausonio, E., Bagnerini, P., Ghio, M., *Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework. Drones*, 5(1):17, MDPI, 2021.

[2] Aydin, Burchan., Selvi, Emre., Tao, Jian., Starek, Michael J., Use of Fire-Extinguishing Balls for a Conceptual System of *Drone-Assisted Wildfire Fighting*, Volume 3 no.1, 2019, pp. 1-17.

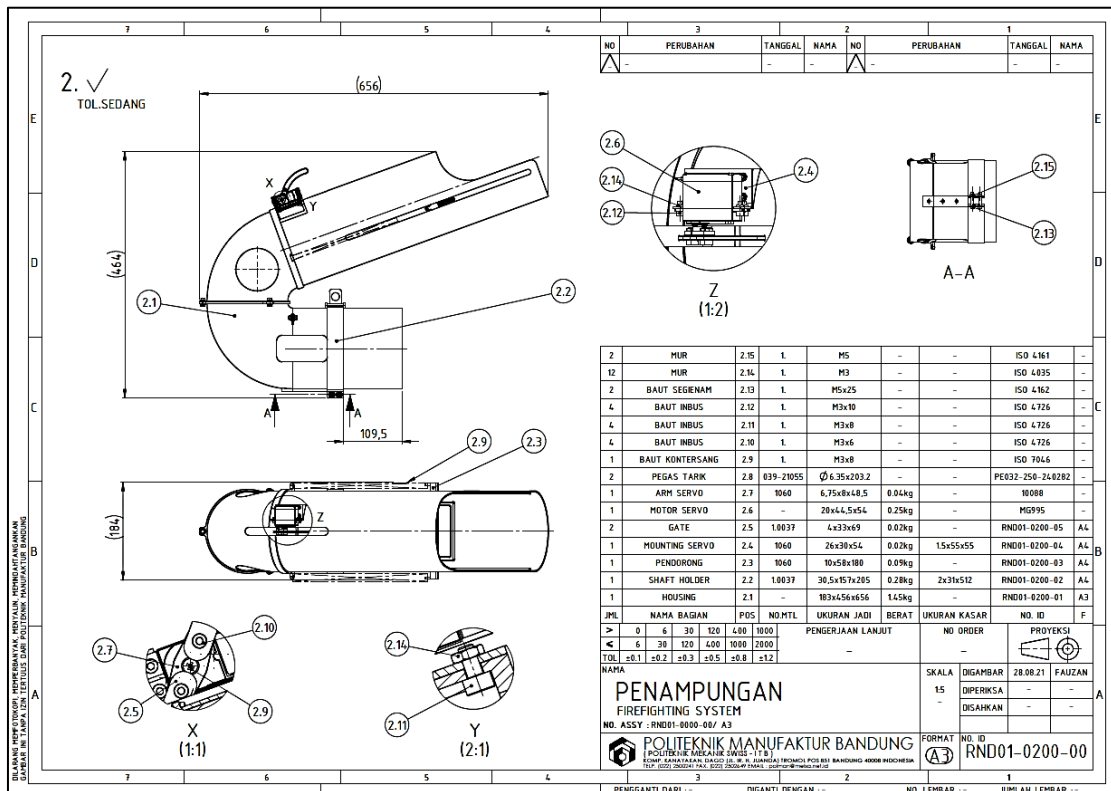
- [3] DAMKAR Kab. Sukabumi, Teori Segitiga Api, Retrieved from <https://dinasdamkar.sukabumikab.go.id/2017/12/15/teori-segitiga-api/>, 15 Desember 2017.
- [4] DAMKAR Kota Aceh, Jenis – jenis, Fungsi dan Cara menggunakan APAR (Alat Pemadam Api Ringan), Retrieved from <http://damkar.bandaacehkota.go.id/2020/07/08/jenis-jenis-fungsi-dan-cara-menggunakan-apar-alat-pemadam-api-ringan/>, 8 Juli 2020.
- [5] DOSS Camera & Gadget, News: Mengenal Istilah, Pengertian, Dan Jenis *Drone*, Retrieved from <https://doss.co.id/news/MENGENAL-ISTILAH-PENGERTIAN-DAN-JENIS-DRONE>, 14 April 2020
- [6] Efendi, Iman Apriana., Pedoman Penulisan Proyek Akhir, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung, 2017.
- [7] Farouq, A.A., Riansyah, M.I., Habibi, A., *Unmanned Aerial Vehicle Robot* untuk Pemadam Api dengan Rancangan Alat Pemadam yang Efisien, Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol. 10, No. 1, March 2021
- [8] Gasperz, V., Pedoman Implementasi Program Six Sigma, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2022
- [9] Hakim, Adies Rahman., Kekuatan bahan dasar, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, 2022.
- [10] Hurst, K., Prinsip-prinsip Perancangan Teknik, Erlangga, Jakarta, 2006.
- [11] Komara, Asep Indra., Saepudin, Aplikasi Metoda VDI 2222 Pada Proses Perancangan Welding Fixture Untuk Sambungan Cerobong Dengan Teknologi Cad/Cae, JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN CYLINDER, Vol. 1 No. 2, 2014, pp. 1-8.
- [12] Mahmudah, Aida., Gambar Teknik Mesin. Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, 2000.
- [13] Nurkarim, Y.A., Latipah, A.J., Suryawan, S.H., *Drone UAV Pemadam Kebakaran Hutan Otomatis*, Jurnal TEKNIMEDIA : Volume 01, Nomor 2, Desember 2020, pp. 1 – 6.
- [14] Puspitasari, Ratna., Maulana, Eby., , Pengembangan Desain *Drone* Sebagai Alat Bantu Evakuasi Bencana, Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur, FTSP ITATS - Surabaya, 20 Juni 2021.
- [15] POLMAN, Elemen Mesin 3, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung, 1992.
- [16] POLMAN, *STANDAR POLMAN SERI 0*, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung, 2000.
- [17] SAE, Potential Failure Mode and Effects Analysis in design (Design DFMA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)_J1739_200208, SAE International, 2008.
- [18] Vimalkumar. R., Shaw, Karan Kumar., Design and Development of Heavy *Drone* for Fire Fighting Operation, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 9 Issue 06, June 2020.

LAMPIRAN

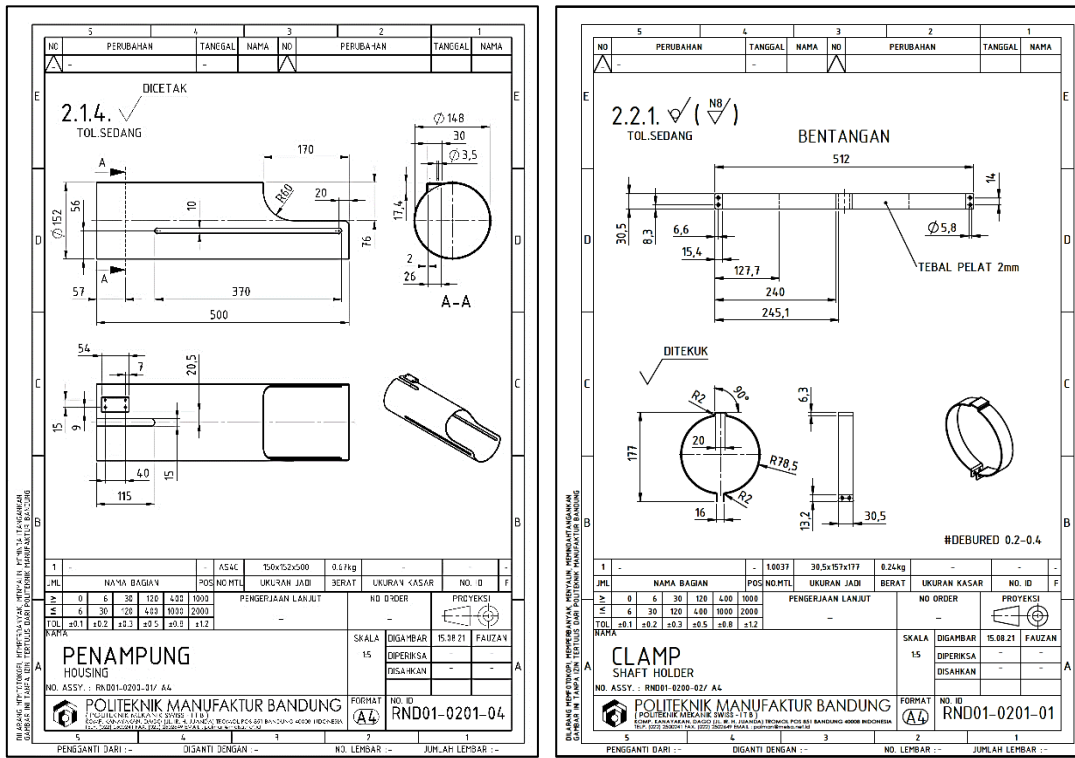
Gambar *Assembly*, *Sub Assembly* dan beberapa *Part*



Gambar 27. Gambar kerja assembly



Gambar 28. Gambar kerja sub assembly



Gambar 29. Beberapa Gambar kerja part