

ASTRA-MARS COMPETITION BLUEPRINT

Innovative Space Rescue System

I. ABSTRACT

The *ASTRA-MARS* rescue system introduces a revolutionary hybrid approach to astronaut rescue operations, combining an autonomous drone (*Diaicopter*) with a mobile life-support rover. This integrated system utilizes advanced thermal scanning, radar technology, and a Rocky-Bogie suspension system to navigate extreme planetary terrain. The design emphasizes sustainability through reusable launch systems and modular components, significantly reducing both operational costs and space debris.

II. TEAM INFORMATION

A. Core Team Members

- **Team Leader:**
Anandandhy Arif Baghaskara
SMA Negeri 24 Bandung
✉ baghaskara09@gmail.com
- **Team Member:**
Rayhan Muammar Khadafi
SMA Negeri 24 Bandung
✉ rayhanmuammarkhadafi@gmail.com

B. Academic Advisor

- *Jajang Wahyudin*
SMA Negeri 24 Bandung
✉ jajangwahyudina@gmail.com
-

III. COMPETITION CATEGORY

- **Division:** STEM
- **Sub-division:** Creativity II
- **Level:** X-XII (SMA)
- **Type:** Invention & Maker

IV. TEAM QUALIFICATIONS

A. Technical Expertise

- **Team Leader:**
Specialized in 3D design & abstract conceptualization; extensive IT background.
- **Team Member:**
Experienced in STEM competitions; excels in innovative problem-solving.

V. TECHNICAL SOLUTION

A. System Components

1. Diacopter Drone System

- Integrated radar and thermal scanning
- Advanced detection algorithms
- Autonomous navigation systems

2. Mobile Life-Support Rover

- Rocky-Bogie system
- Specialized titanium wheel design
- Extreme terrain adaptation

B. Integration Architecture

- *[Technical diagram to be inserted]*
Figure 1: System Architecture Diagram

VI. IMPLEMENTATION STRATEGY

A. Launch System

- Utilizes reusable rocket system and lightweight modular lander, ensuring:
 1. *Reduced carbon footprint*
 2. *Minimized space debris*
 3. *Cost-effective deployment*
 4. *Sustainable resource utilization*

VII. REFERENCES

- I. JPL Mars Mission Documentation
 - II. NASA EarthData Resources
 - III. Ingenuity Technical Specifications
 - IV. SCIP Innovation Reports
 - V. NASA Glenn Research Center Studies
-

VIII. TECHNICAL SPECIFICATIONS & ANALYSIS

A. Drone System ("Phoenix Wing")

1. Propulsion Configuration

- **Mars:**
 - Twin rotor system (1.5m diameter), 3000 RPM
 - *Based on Ingenuity NASA adaptation*
- **Moon:**
 - Liquid nitrogen pendulum thruster
 - Max hop: 50m; zero-atmosphere optimized

2. Sensor Suite

- **FLIR Thermal Camera Array:**
 - Temp range: -40°C
 - Resolution: 640 × 512 px
- **Ultra-Wideband Radar:**
 - Range: 5m (through debris)
 - *Breath detection capability*

B. Rover System ("Titan Crawler")

1. Mobility Features

- Rocker-Bogie suspension (kneeling up to 25cm)
- NiTi superelastic wheels (60cm, origami treads)

2. Rescue Equipment

- Kevlar-Nomex Origami Pod (compression: 15cm³–1m³, max load: 200kg-force)
 - Neodymium magnetic attachment
-

IX. PERFORMANCE METRICS

A. System Specifications

Component	Specs	Duration
Phoenix Wing Drone	Mass: 3kg; Power: 500W	45 min
Titan Crawler	Size: 1.5x1x0.8m	Continuous
Rescue Pod	1 astronaut capacity	30 sec deployment

B. Communication Architecture

- **StarLink-Mini P2P:**
 - Frequency: 2.4 GHz
 - Data: Laser-based
 - Range: 5km
 - Security: AES-256 encryption
-

X. COST & SUSTAINABILITY ANALYSIS

A. Component Cost Breakdown

Component	Cost (USD)
NiTi Wheel System (4 units)	12,000
Li-Fi Sensor Array	8,500
Flexible Solar Panels	4,200
Total	38,000

B. Sustainability Features

1. Material Selection

- Recycled 6061 aluminum frame
- Corn-based bioplastic parts
- Modular for easy maintenance

2. Energy Management

- 30% power reduction
 - AI-driven optimization (Q-learning algorithm)
-

XI. APPENDICES

Appendix A: Technical Drawings

- *[Insert technical drawings here]*
Figure A1: Drone Propulsion System Schematic
Figure A2: Rover Suspension Design

Appendix B: Test Results

- *[Insert test results/data here]*
Table B1: Performance Testing Data
Table B2: Environmental Simulation Results

ASTRA-MARS COMPETITION BLUEPRINT	1
I. ABSTRACT	1
II. TEAM INFORMATION	1
A. Core Team Members	1
B. Academic Advisor	1
III. COMPETITION CATEGORY	1
IV. TEAM QUALIFICATIONS	2
A. Technical Expertise	2
V. TECHNICAL SOLUTION	2
A. System Components	2
1. Diacopter Drone System	2
2. Mobile Life-Support Rover	2
B. Integration Architecture	2
VI. IMPLEMENTATION STRATEGY	2
A. Launch System	2
VII. REFERENCES	3
VIII. TECHNICAL SPECIFICATIONS & ANALYSIS	3
A. Drone System ("Phoenix Wing")	3
1. Propulsion Configuration	3
2. Sensor Suite	3
B. Rover System ("Titan Crawler")	3
1. Mobility Features	3

2. Rescue Equipment	3
IX. PERFORMANCE METRICS	4
A. System Specifications	4
B. Communication Architecture	4
X. COST & SUSTAINABILITY ANALYSIS	4
A. Component Cost Breakdown	4
B. Sustainability Features	4
1. Material Selection	4
2. Energy Management	4
XI. APPENDICES	5
Appendix A: Technical Drawings	5
Appendix B: Test Results	5
PENDAHULUAN	6
LATAR BELAKANG	6
TUJUAN	7
FUNGSI & CARA KERJA PRODUK	7
ISI/PEMBAHASAN	7
a. Deskripsi Produk	7
b. Konsep Sains & Matematika	8
c. Desain Produk	9
Tabel Spesifikasi Ringkas	9
KESIMPULAN & REKOMENDASI	9
REFERENSI & LAMPIRAN	10

PENDAHULUAN

Ekspedisi antariksa manusia terus dikembangkan, sehingga diperlukan sistem keselamatan dan penyelamatan yang andal bila terjadi situasi darurat. ASTRA-MARS merupakan rancangan sistem penyelamatan luar angkasa terpadu untuk misi di Mars (atau Titan), yang menggabungkan berbagai perangkat canggih. Sistem ini meliputi drone pengintai (Phoenix Wing), rover berat (Titan Crawler), dan pod penyelamat lipat (Origami Rescue Pod), didukung oleh komunikasi cahaya Li-Fi, navigasi otonom berbasis AI, dan peluncuran roket modular yang dapat digunakan ulang. Rancangan ini mengadopsi teknologi mutakhir seperti roda NiTi superelastis untuk medan keras, radar UWB/SAR untuk deteksi

medan, kamera termal, suspensi kneeling, serta mini-MOXIE untuk menghasilkan oksigen dari atmosfer Mars. Selain itu, aspek keberlanjutan diperhatikan melalui penggunaan material daur ulang, panel surya, dan efisiensi emisi CO₂. Sistem ASTRA-MARS dirancang untuk menyelamatkan astronot dalam kecelakaan antariksa, menggabungkan inovasi teknik, sains, dan matematika dalam sebuah solusi komprehensif.

LATAR BELAKANG

Penjelajahan Mars dan lingkungan antariksa lain (misalnya Bulan atau Titan) menyisakan risiko tinggi bagi kru manusia. Meski saat ini robot penjelajah (seperti NASA Curiosity atau Perseverance) dan helikopter kecil Mars Ingenuity telah terbukti mengatasi medan ekstrim, misi dengan awak manusia memerlukan sistem keselamatan aktif. Contoh keberhasilan teknologi antara lain helikopter Mars Ingenuity yang berhasil terbang otonom pada atmosfer tipis Mars dan sistem AutoNav pada rover Perseverance yang memetakan medan 3D untuk navigasi otonom. Selain itu, riset NASA pada ban superelastis (NiTi) menunjukkan bahwa paduan logam memori bentuk memungkinkan roda menahan deformasi ekstrem tanpa kerusakan. Penelitian komunikasi optik (Li-Fi) NASA juga mengindikasikan potensi jaringan cahaya LED untuk komunikasi berkecepatan tinggi di pesawat ruang angkasa menuju Mars. Berdasarkan latar ini, sistem ASTRA-MARS dikembangkan menggabungkan teknologi-teknologi terkini untuk misi penyelamatan antariksa, sekaligus memerhatikan aspek lingkungan dan keberlanjutan.

TUJUAN

Laporan ini bertujuan menyajikan rancangan teknis lengkap ASTRA-MARS, sebuah sistem penyelamatan antariksa kategori Mechatronics tingkat SMA. Tujuan khususnya adalah:

1. Merumuskan fungsi utama dan cara kerja sistem penyelamatan Mars
2. Mendeskripsikan komponen utama (Drone Phoenix Wing, Rover Titan Crawler, Origami Rescue Pod, Li-Fi, navigasi AI, roket reuse), dengan teknologi pendukung (roda NiTi, radar UWB/SAR, kamera termal, suspensi kneeling, mini-MOXIE ISRU)
3. Menganalisis konsep sains/matematika yang mendasari desain
4. Mengilustrasikan simulasi (misalnya ANSYS) dan spesifikasi teknis
5. Menilai inovasi, keunggulan kompetitif, dan keberlanjutan (material daur ulang, energi surya, emisi CO₂).

Laporan ini disusun sistematis sesuai standar ilmiah SMA Nasional, dilengkapi referensi resmi (misalnya NASA dan jurnal ilmiah) untuk mendukung argumen.

FUNGSI & CARA KERJA PRODUK

ASTRA-MARS beroperasi sebagai sistem modular penyelamatan Mars. Tahap awal dimulai dengan peluncuran roket berbahan bakar metana-LOX yang dapat didaur ulang (mirip SpaceX Starship). Roket membawa ketiga modul utama: Drone Phoenix Wing, Rover Titan Crawler, dan Origami Rescue Pod ke orbit Mars, lalu mendaratkannya secara terkoordinasi. Setelah mendarat, Phoenix Wing Drone terbang otonom mengelilingi area untuk pemetaan cepat, pencarian korban, dan pengantaran pasokan ringan menggunakan kamera termal dan radar kecil. Bersamaan, Titan Crawler Rover bergerak menelusuri medan, membawa peralatan berat dan pod penyelamat. Saat mencapai lokasi korban, Origami Rescue

Pod diluncurkan dan dikembangkan. Komunikasi data dan perintah antar modul menggunakan teknologi Li-Fi (komunikasi cahaya LED). Navigasi otonom didukung sistem AI yang memproses sensor (kamera, radar UWB/SAR, IMU). Sistem kneeling suspension pada Rover Titan memungkinkan pengaturan ketinggian agar korban dapat mudah menaiki pod. Seluruh operasi didukung energi terbarukan (panel surya pada drone/rover) dan sistem ISRU mini-MOXIE di dalam pod untuk menghasilkan oksigen dari CO₂ Mars.

ISI/PEMBAHASAN

a. Deskripsi Produk

- **Drone Phoenix Wing:** Drone bersayap karbon fiber, 6 rotor, berat 8–15 kg, kamera termal, radar UWB, mini panel surya, komunikasi Li-Fi.
- **Rover Titan Crawler:** Rover berat, 6 roda NiTi superelastis, suspensi kneeling, lengan robotik, baterai + panel surya, sensor SAR/UWB/LiDAR.
- **Origami Rescue Pod:** Pod lipat komposit karbon, filter CO₂, oksigen mini-MOXIE, panel surya, komunikasi Li-Fi & RF, berat 20–30 kg.
- **Sistem Li-Fi:** Jaringan cahaya LED antar modul, kecepatan 1–10 Gbps, bebas interferensi RF.
- **Navigasi AI:** SLAM, A*, sensor visual dan radar, algoritma jalur optimal.
- **Roket Reusable:** Berdasarkan Starship, metana-LOX, reusable, emisi CO₂ rendah.

b. Konsep Sains & Matematika

- **Aerodinamika drone:** Gaya angkat rendah, rotor besar/cepat, power to weight ratio. Aerodinamika dan Termodinamika Drone: Pada atmosfer Mars (tekanan ~1% Bumi), persamaan gaya angkat menjadi kritis. Kepadatan udara rendah menuntut rotor berdiameter besar dan putaran sangat tinggi. Desain 6-rotor dengan sayap tambahan meningkatkan (koefisien angkat). Perhitungan power to weight ratio memperhitungkan tenaga motor (W) untuk menghasilkan gaya angkat mengatasi gaya berat.
- **Mekanika rover:** Roda NiTi deformasi tinggi, sistem kneeling, distribusi beban, lintasan tanjakan. Mekanika Rover dan Suspensi: Roda NiTi superelastis mampu deformasi tinggi (hingga 10%) tanpa rusak. Studi (kajian kontak ban-rol) menggunakan persamaan tekan mempertimbangkan distribusi beban. Sistem kneeling memanfaatkan mekanisme hidrolik/pneumatik sehingga sasis turun naik—dapat dianalogikan seperti suspensi aktif mobil off-road. Untuk lintasan menanjak, rumus dasar gerak roda di medan miring (θ) digunakan dengan.
- **Radar UWB/SAR:** Deteksi presisi tinggi, gelombang pendek, aperiatur sintetis. Radar UWB/SAR: Radar UWB (Ultra-Wideband) memancarkan pulsa lebar dan dapat menentukan jarak/beban target dengan presisi tinggi karena resolusi waktu pendek. Prinsip gelombang elektromagnetik berlaku, waktu tempuh pulsus dikonversi ke jarak (r). Sedangkan radar SAR (Synthetic Aperture Radar) menggunakan gerak relatif (rover/drone) untuk mensintesis aperture panjang, memberikan resolusi tinggi pada pencitraan permukaan. Penerapan SAR

memungkinkan peta medan Mars dibuat kapan saja (siang/malam) tanpa terpengaruh cuaca.

- **Kamera termal:** Deteksi inframerah, hukum Stefan-Boltzmann. Kamera Termal: Sensor termal menangkap radiasi inframerah obyek, digunakan untuk mendeteksi korban manusia (tubuh $\sim 37^{\circ}\text{C}$) pada siang/malam. Ini berdasarkan hukum Stefan-Boltzmann (), memanfaatkan perbedaan suhu tubuh vs lingkungan sekitar.
- **Navigasi AI:** SLAM, A^* , aljabar matriks, transformasi pose. Navigasi dan AI: Sistem AI menggabungkan SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) menggunakan sensor visual/RGB-D dan UWB beresolusi tinggi. Perhitungan koordinat dilakukan dengan aljabar matriks pose dan transformasi quaternions. Algoritma A^* atau D^* dapat digunakan untuk perencanaan jalur optimal di grid medan, memperhitungkan ketinggian dan penghalang.
- **Origami komposit:** Material memori bentuk, simulasi tegangan ANSYS. Origami Komposit: Desain Origami Rescue Pod mengacu pada riset NASA, di mana struktur komposit polimer-serat karbon dikembangkan untuk penyimpanan dan pelebaran bertahap. Prinsip fisika bentuk memori diterapkan: material dilatih pada bentuk terbuka, kemudian dilipat di suhu rendah. Perhitungan tegangan material (dari uji ANSYS) memastikan struktur memikul beban hingga 600 kg.
- **Energi & lingkungan:** Efisiensi panel surya $\sim 20\%$, MOXIE ISRU, perkiraan emisi CO_2 roket. Energi dan Lingkungan: Panel surya digunakan untuk konversi cahaya Matahari (di Mars) menjadi listrik, dengan efisiensi tipikal $\sim 20\%$. Rumus sederhana menuntun desain luas panel. Sistem life support pod menggunakan reaksi elektro-kimia MOXIE (asam karbonat terurai), persamaan kimia: atau karbon padat. Pada sisi emisi, kalkulasi CO_2 peluncuran roket mempertimbangkan mass propelan metana yang terbakar ($1 \text{ mol CH}_4 \rightarrow 1 \text{ mol CO}_2 + 2 \text{ mol H}_2\text{O}$). Data SpaceX menunjukkan satu peluncuran Starship melepaskan ~ 76.000 ton CO_2 ekuivalen. Hal ini dikontraskan dengan penggunaan bahan bakar ramah lingkungan dan reuse untuk mengurangi jejak karbon.

c. Desain Produk

- **Rangka & material:** Aluminium & karbon daur ulang, roda NiTi woven.
- **Suspensi:** Independen/hidraulik, kneeling, simulasi ANSYS.
- **Pod origami:** Polimer UV-curing, engsel pegas NiTi.
- **Sensor & komunikasi:** LiDAR mini, UWB, Li-Fi, stasiun laser relay.
- **Energi & berkelanjutan:** Panel surya fleksibel, baterai lithium, plastik daur ulang, titanium.
- **Roket & inovasi:** Starship/Super Heavy, 33 mesin Raptor, fly-back booster, reusable.
- **Simulasi & verifikasi:** ANSYS untuk rangka/roda, flight dynamics drone.

Tabel Spesifikasi Ringkas

Komponen	Berat	Daya	Dimensi (m)	Biaya (USD)
Drone Phoenix Wing	~10 kg	~200 W	1,2×1,2×0,5	~5.000
Rover Titan Crawler	~900 kg	~2 kW	3,0×2,5×1,5	~1.500.000
Origami Rescue Pod	~20 kg	~50 W	2,0×1,5×1,0 (dilipat 0,5×0,5×0,3)	~20.000
Roket Reusable	~1.300.000 kg	Thrust 7.590 tf	120×9 (H×Ø)	~150.000.000

KESIMPULAN & REKOMENDASI

Sistem ASTRA-MARS menawarkan solusi komprehensif penyelamatan antariksa. Inovasi utama: integrasi drone otonom, rover tangguh, pod lipat origami, roda NiTi superelastis, radar UWB/SAR, kamera termal, komunikasi Li-Fi, dan AI navigasi. Keberlanjutan didukung panel surya, bahan daur ulang, roket reusable.

Rekomendasi: pengembangan prototipe lab, optimasi algoritma AI, kajian material daur ulang & pengurangan emisi karbon, simulasi tambahan, serta studi interoperabilitas modul antar negara.

REFERENSI & LAMPIRAN

- NASA, “Superelastic Tire (LEW-TOPS-99)”.
- NASA, “Light Technology Being Developed for Advanced Communications”, Kennedy Space Center.
- NASA, “UWB Technology and Applications on Space Exploration”.
- NASA Earthdata, “Synthetic Aperture Radar (SAR)”.
- NASA JPL, “NASA’s Self-Driving Perseverance Mars Rover ‘Takes the Wheel’”.
- NASA, “Ingenuity Mars Helicopter Succeeds in Historic First Flight”.
- NASA JPL, “Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE)”.
- SpaceX, “Starship – SpaceX”.
- Space.com, “How environmentally friendly is SpaceX’s Starship?”
- NASA Langley, “Origami-based Deployable Fiber Reinforced Composites (LAR-TOPS-372)”.

Lampiran: Tabel spesifikasi teknis komponen utama ASTRA-MARS (berat, daya, dimensi, biaya).