

PENGEMBANGAN ROKET JARAK 100 KM GROUND TO GROUND R- HAN 450 TAHAP III-IV UJI STATIS



PENDAHULUAN.

Balitbang Kemhan bekerja sama dengan anggota Konsorsium Roket khususnya PT DAHANA yang menggandeng Pusat Riset Teknologi Roket BRIN telah melaksanakan penelitian dan pengembangan di bidang Roket Pertahanan jarak 100 Km *Ground to Ground* R-Han 450. Roket tersebut merupakan salah satu realisasi dari program prioritas riset nasional (PRN). Pengembangan roket pertahanan R-Han 450 diharapkan mampu memiliki jangkauan 100 km. Salah satu *output* dari program PRN bidang roket adalah prototipe roket

R-Han 450. Prototipe ini diharapkan sebagai salah satu wujud kemandirian Alutsista bangsa Indonesia untuk menjaga kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Pengembangan roket jarak 100 Km *Ground to Ground* R-Han 450 dalam program PRN ini direncanakan dalam IV Tahap, dimulai dari Tahap I pada tahun 2021 dan dilanjutkan tahap II pada tahun 2022 dan tahun 2024 adalah Tahap III

Pada tahap I Pengembangan roket jarak 100 Km *Ground to Ground* R-Han 450, di bulan Oktober 2021 telah dilakukan uji statis motor roket R-Han 450 untuk memverifikasi kinerja propelan motor roket. Verifikasi kinerja propelan ini diperlukan agar dapat dihitung apakah roket R-Han 450 aman dan mampu terbang sesuai prediksi/perhitungan dalam simulasi sama dengan dalam perencanaan, yakni mampu mencapai jarak jangkauan 100 km. Hasil uji statis pada bulan Oktober tahun 2021 tersebut masih menunjukkan terjadinya kegagalan motor roket. Yaitu terjadinya *over-pressure* sebesar 128 bar pada saat awal pembakaran, sehingga pada struktur grafit *nozzle* (pada bagian *konvergen nozzle* sebelum *throat*.) tidak mampu menahan beban *impact* yang mengakibatkan pecahnya grafit *nozzle* sehingga *thermal* langsung berdampak pada dinding material *nozzle* yang menyebabkan struktur baja *nozzle* mengalami perubahan sifat material, seperti pemanjangan termal, penurunan kekuatan, dan pengurangan kekakuan. Baja akan kehilangan kekuatan luluhnya dan tertekuk, menyebabkannya bengkok, terpelintir, dan akhirnya runtuh seperti disobek. Tersobeknya *casing nozzle* dan pecahnya grafit *throat* berubah menjadi besar mengakibatkan terjadi penurunan *thrust* maupun *pressure* yang drastis selama pembakaran propelan di ruang bakar. Litbang pengembangan Roket Jarak 100 Km *Ground to Ground* R-Han 450 tahap II-IV TA. 2022 merupakan Litbang lanjutan yang masih melaksanakan uji statis karena kegagalan uji statis di Tahap I.

Pada litbang pengembangan Roket Jarak 100 Km *Ground to Ground* R-Han 450 tahap II-IV TA. 2022 uji statis masih terjadi kegagalan pada struktur motor roket. Cap motor roket statis terjadi kebocoran karena adanya bagian cap yang tidak terlapis liner dengan sempurna sedangkan grafit *konvergen throat* yang sudah dipertebal mampu menahan beban *inapact* hingga 134 bar. Adapun fungsi liner adalah menghambat panas agar tidak langsung bersentuhan dengan material struktur baja pada motor roket. Akibat tidak sempurnanya lapisan liner menyebabkan *thermal* langsung

merambat bersentuhan pada bagian cap yang mengakibatkan hilangnya kekuatan luluh dan menyebabkan terjadinya kebocoran cap. Gagalnya struktur pada bagian motor roket berarti terjadinya kegagalan pada uji statis II sehingga perlu dilakukan kembali uji statis III.

METODOLOGI PENELITIAN.

Untuk melaksanakan kegiatan penelitian/pengembangan roket pertahanan jarak 100 km *ground to ground* R-Han 450 (kaliber 450 mm) dengan tujuan dapat mencapai jarak jangkauan 3 digit atau 100 km. Penyusunan naskah dalam Bab III Metodologi Penelitian, secara umum berisi tentang pembahasan langkah-langkah penelitian dan pengembangan, metode penelitian dan pengembangan, perancangan desain ulang dan teknik pengumpulan data, sehingga pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengembangan mempunyai arah dalam pencapaian Litbang.

PEMBAHASAN.

1) Rancang Bangun Rinci (*Detail Engineering Design*) yang selanjutnya disebut DED adalah dokumen desain teknis perencanaan Produk Prototipe motor roket R-Han 450 yang terdiri dari gambar teknis, spesifikasi teknis dan spesifikasi umum, volume serta biaya pekerjaan setelah adanya persetujuan terhadap konsep desain awal. DED memiliki beberapa fungsi penting dalam pekerjaan pembuatan prototipe motor roket R-Han 450 antara lain:

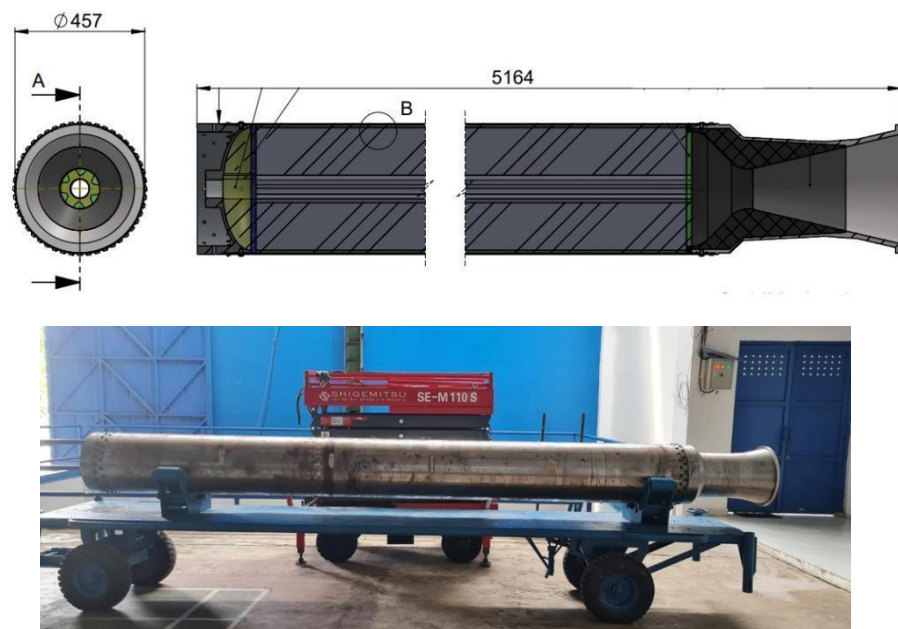
- a. Menghasilkan gambar kerja detail DED digunakan untuk menghasilkan gambar kerja detail dari prototipe atau struktur konstruksi. Gambar kerja detail ini akan menjadi panduan dalam melaksanakan pekerjaan.
- b. Menentukan spesifikasi material DED juga digunakan untuk menentukan spesifikasi material yang akan digunakan dalam pembuatan. Hal ini termasuk jenis bahan, ukuran, kualitas, dan sifat teknis lainnya.
- c. Meningkatkan efisiensi dalam pelaksanaan pekerjaan. Dengan adanya gambar kerja detail yang jelas dan akurat, dapat melaksanakan pekerjaan dengan lebih

efisien dan akurat. Hal ini dapat mengurangi kesalahan dan menghemat waktu dan biaya dalam pelaksanaannya.

2) Desain Produk Prototipe

Motor roket statis R-Han 450 adalah motor roket propelan padat berjenis HTPB komposit dengan konfigurasi *grain* berbentuk bintang enam. Struktur motor roket ini secara garis besar ditunjukkan pada gambar 4.1. Struktur motor roket terdiri atas tabung motor roket, *cap*, *nozzle*, serta *igniter*. Panjang total motor roket adalah 5164 mm dari ujung *cap* ke ujung *nozzle*. Panjang propelan 4200 mm. Propelan dilapisi dengan lapisan komposit *fiber glass* dan *fiber carbon*. Antara propelan yang sudah dilapisi komposit dengan tabung motor roket, terdapat material liner yang berfungsi untuk menjaga posisi propelan dan sekaligus sebagai lapisan *insulator thermal*.

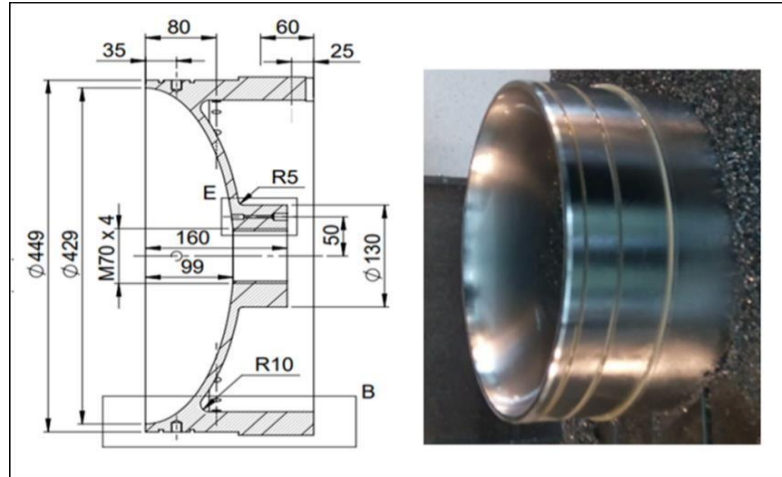
Dan di bagian depan motor roket, pada *cap* terpasang *igniter* yang berfungsi untuk penyalan awal motor roket. Gambar 4. 1 menunjukkan motor roket yang siap untuk diuji statis.



Gambar 1.11. Struktur Motor Roket

3) Cap Motor Roket

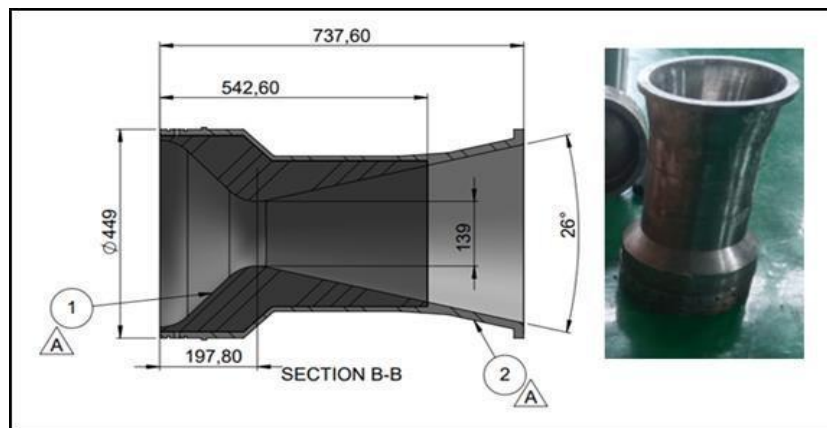
Cap Motor Roket R-Han 450 menggunakan material baja Carbon Steel S-45C. Baja ini memiliki kekuatan untuk diregangkan 570 – 700 MPa dan kekerasan Brinell di antara 170 dan 210.



Gambar 1.11. Bentuk Desain Cap Motor Roket R-Han 450

4) Nosel Motor Roket.

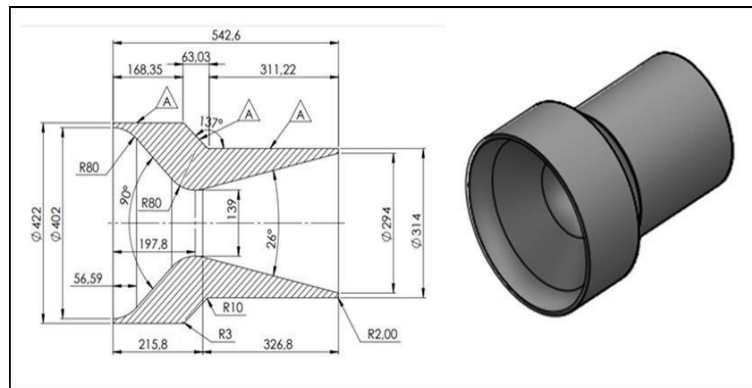
Nosel Motor Roket R-Han 450 menggunakan material baja karbon AISI 4340. Baja AISI 4340 adalah baja karbon sedang, baja paduan rendah yang dikenal karena ketangguhan dan kekuatannya di bagian yang relatif besar. AISI 4340 juga merupakan salah satu jenis baja nikel kromium molibdenum. Baja paduan 4340 umumnya dipasok dengan pengerasan dan temper pada kisaran tarik 930 - 1080 Mpa.



Gambar 1.12. Bentuk Desain Nosel Motor Roket R-Han 450

5) Grafit Motor Roket.

Grafit Motor Roket R-Han 450 menggunakan Isomolded Grafit. Isomolded grafit atau grafit isostatik adalah grafit yang dicetak secara isostatik, yaitu dengan menerapkan tekanan konstan ke semua sisi campuran bahan baku. Proses ini menghasilkan grafit berbutir halus dan anisotropik. Grafit adalah mineral yang terbentuk secara alami dari karbon. Grafit memiliki sifat-sifat unik, seperti konduktivitas listrik yang tinggi, ketahanan terhadap panas, dan kemampuan untuk mempertahankan integritas strukturalnya dalam kondisi ekstrem.



Gambar 1.13. Bentuk Desain Grafit Motor Roket R-Han 450

b. Analisa Hasil Uji Statis R-Han 450 Tahun 2024.

- 1) Dari data grafik dan hasil pengamatan visual diketahui bahwa terjadi over pressure di awal pembakaran (ignition transient) sebesar 154 Bar dan meningkat menjadi 267 Bar pada detik ke 0,8 yang mengakibatkan terlemparnya motor roket beserta nozzle. Setelah tabung terlepas dari cap, pecahan propelan berhamburan keluar dari dalam tabung motor roket. Hal ini menunjukkan terjadinya pressure yang sangat tinggi pada ruang bakar sehingga menyebabkan pecahnya propelan. Pengaruh ignition transient biasanya pada awal mula pembakaran propelan di detik 0 hingga detik ke 0,3.
- 2) Indikasi awal telah terjadi ignition transient yaitu interval waktu antara dimulainya aliran penyala dan terbentuknya aliran kuasi-stabil pada motor roket padat. Ini adalah periode operasi yang kritis dan kompleks dalam Solid Rocket Motor. Model

kuasi-satu dimensi teoritis diturunkan dari hukum kekekalan dasar, dengan mempertimbangkan inisiasi pembakaran oleh sinyal pelepasan penyala, perpindahan panas dari produk pembakaran penyala ke permukaan butiran propelan, medan aliran penyebaran api di ruang dan peningkatan tekanan ruang hingga ke kondisi operasi kuasi-stabil.

- 3) Karena hanya data profil perubahan gaya dorong yang dapat dipercaya, sehingga profil perubahan tekanan ruang bakar di konversi secara analitis dari profil perubahan gaya dorong. Dari hasil konversi didapatkan bahwa maksimum pressure diawal pembakaran adalah sebesar 154 Bar serta maksimum pressure setelah detik ke 0,8 adalah sebesar 267 Bar.
- 4) Indikasi ini terlihat dari grafik Thrust yang di konversi ke Pressure bahwa diawal pembakaran sudah terjadi lonjakan tekanan yang sangat tinggi karena terpicu oleh penyala awal yang secara visual video pengujian terlihat kecepatan penyalaan semburan api dan sebaran panas yang panjang (sekitar 2 meter) menyebabkan propelan terdekomposisi semakin mudah terbakar.
- 5) Konsep dasar combustion di pembakaran roket, laju bakar secara eksplisit fungsi dari mass flux yaitu kecepatan aliran gas panas di dalam chamber roket dari cap ke nozzle menyebabkan erosive burning. Mass flux motor roket (kecepatan dibagi luas area port) sangat tinggi karena port area-nya lebih kecil dibanding panjang roket. Sehingga laju bakar sangat besar dibandingkan uji di strand burner yang mana di strand burner laju bakar diuji tanpa cross flow.
- 6) Erosive burning adalah fenomena di mana laju pembakaran propelan meningkat akibat aliran gas berkecepatan tinggi di sepanjang permukaan propelan. Aliran gas ini mempercepat pelepasan panas dan massa dari permukaan propelan serta menyebabkan pembakaran yang lebih cepat dibandingkan kondisi normal. Fenomena ini sering terjadi di roket dengan laju

aliran gas yang tinggi, terutama di awal pembakaran atau saat gas mengalir melalui saluran sempit.

- 7) Dalam uji statis tahun 2024 ini digunakan igniter

jenis pyrogen agar dapat menurunkan kendala overpressure yang terjadi pada uji statis tahun 2021 dan 2022. Igniter pyrogen memiliki karakteristik penyalan dengan bentuk lidah api lebih memanjang ke arah tengah sekitar 70 cm sd 90 cm.

- 8) Di sisi lain hal ini dapat menyebabkan permukaan grain terbakar dengan sangat cepat secara bersamaan dengan jumlah besar sehingga menimbulkan tekanan yang sangat tinggi (over pressure) pada ruang bakar.

KESIMPULAN

- 1) Pada uji statis R-HAN-450 yang ketiga pada tahun 2024 ini masih terjadi over pressure pada awal pembakaran motor roket (terjadi hal yang sama pada uji statis di tahun 2021 dan 2022), dimana besaran over pressure pada tahun 2024 jauh lebih tinggi dibandingkan uji statis tahun 2021 dan 2022.
- 2) Belum ditemukan pemodelan untuk dapat mengendalikan laju bakar (*burning time*) motor roket guna menghindari terjadinya over pressure.
- 3) Perlu adanya pendalaman dan penelitian lebih lanjut terhadap dampak penggunaan igniter pyrogen pada roket R-HAN 450.
- 4) Kendala dalam penguasaan teknologi propelan dengan sumber acuan terbatas, transfer teknologi tidak ada, dan kesulitan mendapatkan bahan baku propelan membutuhkan kemandirian dalam litbang propelan.