

RANCANGAN AWAL DAN STRATEGI PENGEMBANGAN RUDAL JELAJAH LAPAN

Triharjanto R. H., Sofyan E., Rlyadi A., Marian! L, Putro I. E
Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara, LAPAN

ABSTRACT

The paper describes academic exercise of designing a cruise missile for Indonesian Armed Forces. The missile is intended to deliver 300 kg ordinance to the distance of 1000 km. The baseline design yield a vehicle with diameter of 530 mm, total length (with booster) of 4,6 m, and weight of 1300 kg. The vehicle has solid rocket booster and turbojet sustainer engine. The vehicle will have the capacity to fly to the pre-programmed target area autonomously by the use of its GNSS-INS system and homing to their target by the use of its optical target seeker or homing radar. The paper also discusses the strategy to develop the aforementioned missile. The design and the development strategy consider the limitation that Indonesian resources have in developing/supplying the missile's components. Therefore, the strategy development method involves capacity survey. The study resulted into missile development steps that grow in size and complexity. The milestones of the development are establishment of test vehicle with diameter of 100 mm for vehicle dynamic survey, test vehicle with diameter of 150 mm to study the deployable wing, handling of turbojet system and autopilot qualification, and test vehicle with diameter of 320 mm for seeker and dummy warhead.

Keywords : *Prelimenary design, Guided missile*

ABSTRAK

Makalah ini adalah kajian akademik membahas desain dan strategi pengembangan rudal jelajah bagi Tentara Nasional Indonesia. Prasyarat bagi rudal ini adalah membawa 300 kg senjata ke jarak 1000 km. Proses desain awal menghasilkan wahana dengan diameter 530 mm dan panjang total (termasuk booster) 4,6 m dan berat total 1300 kg. Rudal ini akan menggunakan *booster* berbahan bakar padat dan *sustainer turbojet*. Dengan menggunakan sensor GNSS-INS, wahana ini akan mempunyai kemampuan untuk terbang secara otomatis ke lokasi yang telah diprogramkan dan mengenali sasaran dengan optikal target *seeker* atau *homing* radarnya. Makalah ini juga mendiskusikan strategi pengembangan rudal dimaksud. Disain awal serta strategi pengembangan dalam makalah ini juga memperhatikan keterbatasan-keterbatasan pada sumber daya Indonesia dalam pengembangan dan pemasokan komponen/bahan baku. Strategi pengembangai yang dipilih adalah mengoptimalkan produk yang tersedia di LAPAN dan pendekatan dengan wahana uji yang meningkat dalam ukuran dan kompleksitas. Wahana uji yang akan digunakan pada proses pengembangan adalah berdiameter 100 mm untuk studi dinamika wahana, wahana berdiameter 150 mm untuk pengujian sistem sayap Upat, penanganan *sustainer turbojet*, dan kualifikasi *autopilot*, dan wahana berdiameter 320 untuk pengujian *seeker* dan simulasi *warhead*.

Kata kunci: *Rancangan awal, Rudal*

1 PENDAHULUAN

LAPAN adalah inslansi pemerintah yang bertugas melakukan riset di bidang

teknologi kedirgantaraan, yang salah satu tugasnya adalah mengevaluasi pemanfaatan teknologi kedirgantaraan

yang mungkin dapat menguntungkan Indonesia. Salah satunya adalah penggunaan peluru kendali sebagai sistem senjata penjaga selat dan perairan Indonesia yang luas. Sebagai sistem senjata, pasar bagi rudal tidaklah terbuka. Ketersediaannya amat dibatasi oleh kemauan politik Negara pembuat, oleh sebab itu LAPAN mencoba menelaah kemungkinan pengadaan sistem senjata ini dengan sedikit keterlibatan dari luar negeri.

Rudal atau peluru kendali adalah senjata yang dihantarkan menuju sasaran melalui proses penerbangan. Untuk mendapatkan waktu mencapai sasaran yang singkat umumnya mempunyai pendorong berbasis roket. Pada sistem rudal terdapat 2 moda untuk dapat mencapai sasaran, yakni secara balistik (hukum fisika tentang benda jatuh) atau dengan menggunakan daya angkat aerodinamis. Moda kedua menghasilkan rudal lebih efisien, terutamanya jika menggunakan motor yang menggunakan oksigen dari atmosfer (*air-breathing engine*), dan mudah dikendalikan, karena kecepatannya lebih rendah. Karena terbang pada trayektori datar, rudal moda ini disebut rudal jelajah (*cruise missile*).

Makalah ini adalah kajian akademik membahas desain dan strategi pengembangan rudal jelajah bagj Tentara Nasional Indonesia. Prasyarat bagi rudal ini adalah membawa 300 kg senjata ke jarak 1000 km. Makalah ini juga mendiskusikan strategi pengembangan rudal dimaksud. Karena rudal akan dibuat di Indonesia, desain awal serta strategi pengembangan yang disampaikan dalam makalah ini telah memperhatikan keterbatasan-keterbatasan pada sumberdaya Indonesia dalam pengembangan dan pemasokan komponen/bahan baku.

2 BATASAN/PRASAYARAT DESAIN

Prasyarat untuk jarak jangkau 1000 km adalah dengan mengasumsikan bahwa Tentara Nasional Indonesia akan membutuhkan senjata artileri presisi untuk bisa menutup seluruh

perairan Indonesia dari satuan tembak darat. Moda operasi adalah menggunakan *booster* yang terbuat dari roket berbahan bakar HTTB (hydroxyl-terminated polybutadien) dan sustainer dari mesin *turbojet* mini. *Booster* akan menghantarkan wahana ke ketinggian dan kecepatan tertentu, di mana *sustainer* akan melanjutkan dengan terbang secara otomatis mendekati target. Pilihan sistem propulsi didasari oleh studi yang menyimpulkan bahwa kedua moda tersebut merupakan yang paling optimal untuk performa dan dimensi/berat yang diprasyaratkan (Fleeman, E.L., 2006 dan Georgia Institute of Technology, 2001).

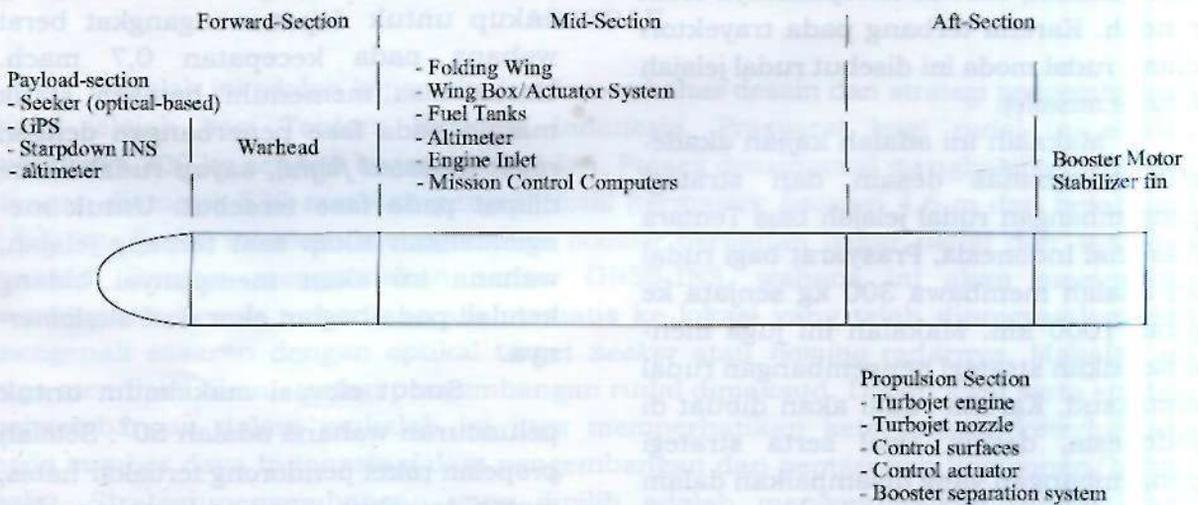
Dalam disain> ketinggian jelajah ditentukan oleh kinerja *sustainer* dan resiko terhadap deteksi radar lawan. Berdasarkan kinerja *turbojet* yang ada pada literatur, kecepatan jelajah yang optimal (konsumsi bahan bakar terendah) adalah 0,7 mach pada ketinggian di atas 3 km.

Berdasarkan batasan tersebut, konfigurasi rudal saat terbang jelajah harus memiliki sayap dengan luas yang cukup untuk dapat mengangkat berat wahana pada kecepatan 0,7 mach. Untuk bisa memenuhi batasan statik margin pada fase penerbangan dengan roket [*boosted flighty*], sayap rudal harus dilipat pada fase tersebut. Untuk mengendalikan sikap saat terbang jelajah, wahana ini akan mempunyai bidang kendali pada bagian ekor dari *sustainer*-nya.

Sudut elevasi maksimum untuk peluncuran wahana adalah 50°. Setelah propelan roket pendorong terbakar habis, motor tersebut akan dilepaskan dari roket. Dengan berkurangnya gaya dorong hingga lebih kecil dari berat rudal, sudut elevasi dan kecepatan rudal akan berkurang. Saat sudut elevasi di bawah 20° dan kecepatan di bawah transonik, sayap rudal akan dikembangkan. Selanjutnya, bidang kontrol akan melakukan stabilisasi atas *roll* dan melakukan *trim* atas *pitch*, sehingga rudal dapat terbang dengan memanfaatkan gaya angkat dari sayapnya.



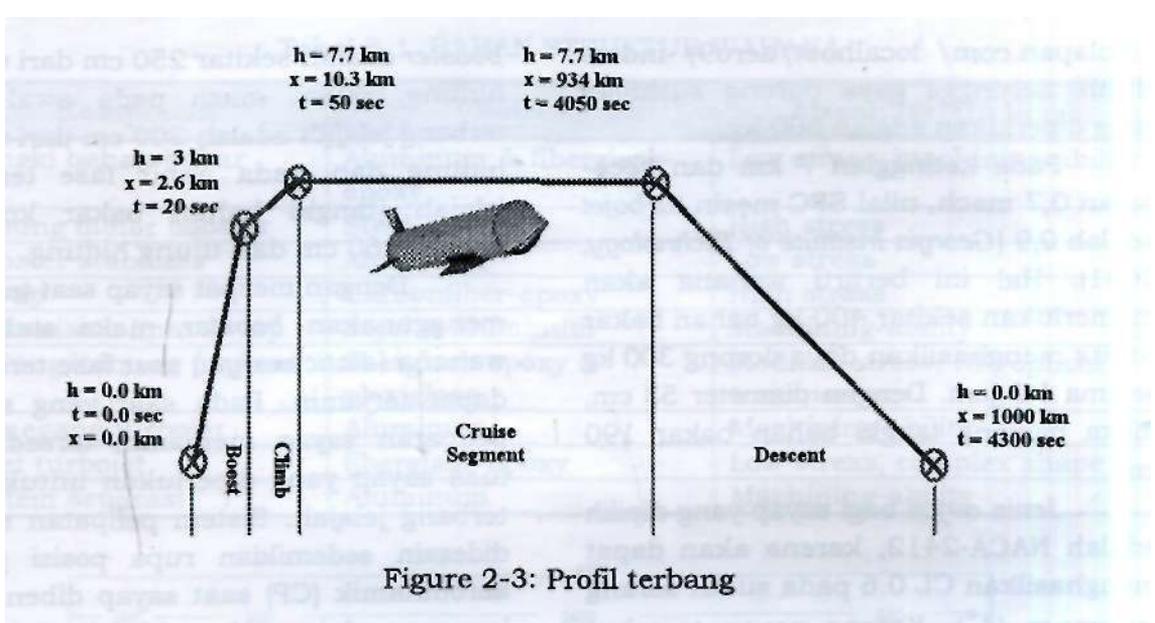
Gambar 2-1: Ilustrasi dayajangkau rudal



Gambar 2-2: Konfigurasi rudal

Saat terbang jelajah, rudal akan secara otomatis terbang menuju daerah target sesuai dengan programnya. Koreksi atas gangguan trayektori dilakukan berdasarkan data yang didapatnya dari sistem *Global Navigation Satellite System* (GNSS)-*Inertia Navigation System* (INS). Rudal akan memulai mengurangi

ketinggian pada jarak 70 km dari target (sudut turun 6-7). Pada fase ini *seeker* akan diaktifkan untuk mencari target sasaran. *Seeker* berbasis optik ini akan mencari posisi target relatif terhadap heading rudal dan menuntun rudal ke targetnya.



Dengan moda penerbangan yang otomatis dan tidak melibatkan emisi gelombang radio membuat sistem rudal ini tidak terpengaruh 'jamming'. Namun sensor tersebut juga memiliki keterbatasan untuk hanya beroperasi saat siang hari/cuaca cerah. Jika diinginkan rudal dapat beroperasi pada malam hari/kemampuan pandang terbatas, maka *seeker* akan diganti dengan sistem radar *homing*.

Akurasi yang diharapkan dari rudal ini kurang dari 30 m, sehingga senjata yang dibawa didisain untuk tetap dapat menjalankan misinya dengan akurasi tersebut.

3 DISAIN AWAL

3.1 Budget dari Sistem

Diameter 530 mm ditentukan sebagai batasan awal bagi rudal jelajah karena dianggap ruang yang dimiliki cukup untuk mengakomodasi *aperture* dari *seeker*, *warhead*, dan luas yang diperlukan untuk menghasilkan gaya dorong saat jelajah (*sustainer*).

Untuk kemampuan mobilitasnya, berat maksimum dari rudal ini harus kurang dari 1500 kg. Dengan berasumsi bahwa berat dari wahana yang akan melakukan terbang jelajah adalah 1000 kg, maka *booster* yang diperlukan seberat 250 kg (dengan berat propelan 200 kg). *Booster* akan berbasis motor roket

Aluminum/Ammonium Perchlorate/HTPB yang dikembangkan LAPAN dari pengalamannya membuat roket sonda. Propelan ini memiliki *impulse specific* (Isp) 220 s, dan masa jenis 1600 kg/m^3 . Panjang motor yang diperlukan adalah 65 cm (panjang propelan *booster* 55 cm).

Untuk alasan yang sama pula panjang maksimum dari wahana tidak lebih dari 5 m. Perhitungan awal menunjukkan bahwa panjang *booster* adalah 65 cm. Panjang dari *sustainer* adalah panjang dari *turbojet* dan tangki bahan bakar, yang akan ditentukan oleh jumlah bahan bakar yang diperlukan wahana. Sementara panjang bagian *payload* akan terdiri dari panjang *warhead* ditambah sistem *seeker* dan kendali.

3.2 Aerodinamika-Propulsi

Dengan panjang *cord* sayap 0,26 m, total bentang sayap 2 m, dan pada ketinggian 7 km di atas permukaan laut serta kecepatan 0,7 Mach, *Coefficient of Lift* (CL) yang diperlukan *wing* untuk bisa mengangkat wahana adalah 0,6. Pada tingkat CL ini, sayap akan mempunyai *Coefficient of Drag* (CD) sebesar 0,04. Sementara tabung wahana diperkirakan mempunyai CD sebesar 0,3 karena geometri hidung rudal yang rasio LN/D nya rendah untuk mengakomodasi optik bagi *seeker* (http://en.wikipedia.org/wiki/General_Electric_J85; [106](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

aerolapan.com/ localhost/aero9/ index.html). Sehingga gaya dorong *sustainer* yang diperlukan adalah 300 kg.

Pada ketinggian 7 km dan kecepatan 0,7 mach, nilai SFC mesin *turbojet* adalah 0,9 [Georgia Institute of Technology, 2001). Hal ini berarti wahana akan memerlukan sekitar 400 kg bahan bakar untuk menghasi/kan daya dorong 300 kg selama 1,2 jam. Dengan diameter 53 cm, maka panjang tangki bahan bakar 190 cm.

Jenis airfoil bagi sayap yang dipilih adalah NACA-2412, karena akan dapat otenghasUkan CL 0.6 pada sudut serang *minimum* (4 J. Karena sayap tersebut akan dilipat, sudut dihedralnya akan nol, sehingga sudut serang yang diperlukan akan dihasilkan oleh *trim* dari *elevator*.

Mesin *sustainer* diasumsikan untuk bisa dihasilkan oleh industri Indonesia dengan memodifikasi mesin *turbojet* mini yang ada di pasaran hingga dapat menghasilkan daya dorong/per dimensi yang diperlukan.

3.3 Struktur-Sistem Hekanik

Karena jumlah berat bahan bakar *sustainer* dan *warhead* sudah mencapai 700 kg, jumlah berat dari sistem avionik, struktur dan mesin *turbojet* tidak bisa lebih dari 300 kg. Sehingga, struktur akan terbuat dari bahan yang ringan namun mempunyai kekuatan tinggi. Dengan mempertimbangkan kemampuan manufaktur dan biaya, didapat kandidat bahan struktur wahana seperti pada Tabel3-1.

Rudal yang dirancang mempunyai konfigurasi seperti di atas dengan berasumsi bahwa sistem pemandu, navigasi, dan komputer pengendali akan masuk dalam hidung pesawat, sementara sistem *warhead* mempunyai bentuk silinder dengan radius 50 cm dan panjang 60 cm. Prediksi dari titik berat (CGJ juga diilustrasikan pada gambar tersebut, di mana pusat masa saat penyalan

booster adalah sekitar 250 cm dari ujung hidung, pusat masa pada awal fase terbang jelajah adalah 200 cm dari ujung hidung dan pada akhir fase terbang jelajah (tangki bahan bakar kosong) sekitar 160 cm dari ujung hidung.

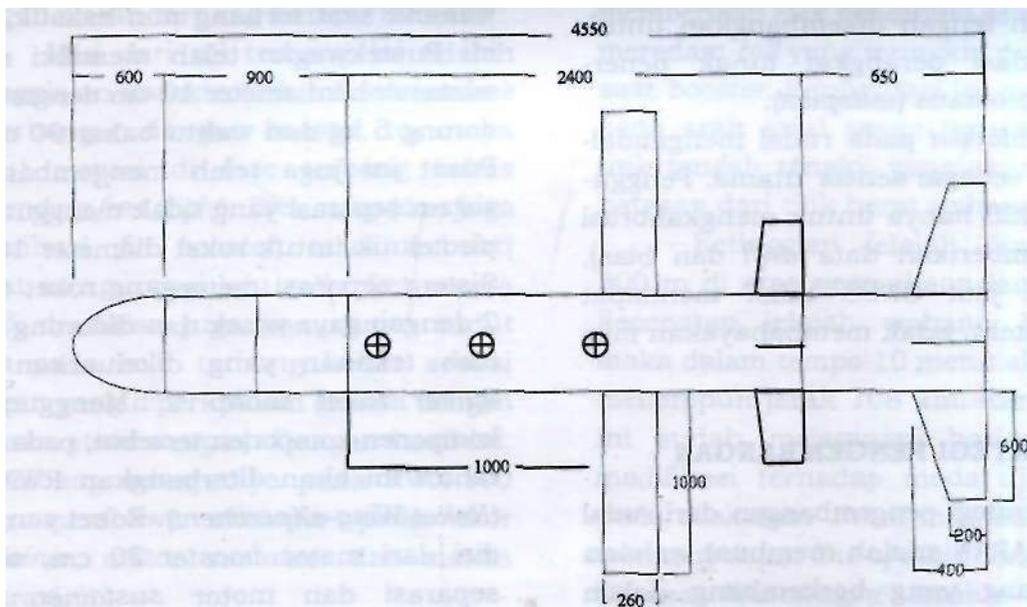
Dengan melipat sayap saat terbang menggunakan booster, maka stabilitas wahana (*static margin*) saat fase tersebut dapat terjamin. Pada saat yang sama, pelipatan sayap menjamin terscdianya luas sayap yang diperlukan untuk fase terbang jelajah. Sistem pelipatan sayap didesain sedemikian rupa posisi pusat aerodinamik (CP) saat sayap dibcntangkan memadai untuk menjamin stabilitas wahana.

Tangki bahan bakar yang terintegrasi dengan sistem pompa didisain untuk meminimalkan perubahan titik berat. Walaupun *static margin* sudah pasti positif, namun pembatasan akan laju perubahan diperlukan untuk memudahkan sistem *autopilot* pada rudal.

Trade-off study dilakukan pada moda penyalan *sustainer*. Salah satu skenario adalah menyalakan *turbojet* pada saat wahana masih berada di peluncur. Saat gaya dorong dari *sustainer turbojet* stabil, pada moda peluncuran darat dan laut, roket *booster* dinyalakan, atau, pada moda peluncuran dari pesawat, pin pemegang wahana dilepaskan. Skenario kedua hanya berbeda pada moda peluncuran darat/laut, dimana *sustainer* dinyalakan di udara setelah roket *booster* dilepaskan dan kecepatan wahana turun di bawah transonik. Skenario pertama akan menghilangkan kebutuhan untuk membawa motor penyalan dan baterainya, namun akan menambah kompleksitas dari sistem pemisah *booster*. Sistem pemisah *booster* akan mengakomodasi aliran *jet* dari *sustainer*. *Jet* ini harus diatur agar efeknya terhadap stabilitas wahana minimal.

Tabel 3-1: BAHAN STRUKTUR WAHANA

Komponen	Bahan	Alasan (selain berat)
Tangki bahan bakar	Aluminum & fiberglass-epoxy	Low stress, machining-ability
Tabung motor booster	Steel	High stress
Booster stabilizer	Aluminum	Low stress
Sayap	Carbonfiber-epoxy	High stress
Mekanisme lipat sayap	Steel & aluminum	Machining-ability
Hidung/tabung payload	fiberglass-epoxy & plexiglass	Medium stress, RF/optical transparency
Pemegang turbojet	Aluminum	Machining-ability
Inlet turbojet	fiberglass-epoxy	Low stress, complex shape
Sistem separasi	Aluminum	Machining-ability



Gambar 3-1: Konfigurasi dasar rudal jelajah LAP AN dengan sayap dibentangkan (tidak sesuai skala)

Skenario penyalan *sustainer* di darat juga menambah kompleksitas pada desain *inlet turbojet*. Karena kecepatan maksimum saat penyalan *booster* adalah 400 m/s, *inlet turbojet* harus mempunyai pintu yang tegak lurus dengan arah terbang sehingga turbojet tidak mengalami *stall*. Desain tersebut akan diakomodasi oleh sistem saluran udara ke kompresor *turbojet*, karena kompleksitas geometrinya akan dibuat dari *fiberglass epoxy*.

Komponen struktur yang paling kompleks dalam wahana pada skenario ini adalah sistem pemisah *booster* yang terintegrasi dengan *tail* dan nosel dari *sustainer*. Komponen tersebut akan menjadi tempat bagi aktuator pengem-

dali, nosel *turbojet* dan sistem pemisah *booster*.

3.4 Guidance, Navigation and Control

Untuk memenuhi persyaratan terbang otomatis, sistem pandu rudal terdiri dari INS, altimeter, GNSS, dan *optical seeker*. Untuk pengendalian sikap, rudal akan menggunakan servo elektromekanis guna menggerakkan bidang kendalinya.

LAPAN telah memulai pengembangan sistem pengukuran kinerja terbang pada program roket sondanya. *Payload* yang biasa dibawa roket LAPAN adalah sistem telemetri yang memberi data posisi dari GNSS dan data daya dorong roket dari akselerometer yang

ditransmisikan via radio UHF. Pengembangan INS juga telah dimulai, dimana komponennya terdiri dari akselerometer dan *piezoelectric gyro* yang diintegrasikan dalam 3-axis. Komponen yang digunakan adalah spesifikasi industri namun telah menjalani kualifikasi beban mekanik dengan uji terbang pada RX-150 dan RX-250. Perangkat lunak yang mengintegrasikan bacaan sensor tersebut divalidasi dengan simulator *hardware-in-the-loop* (HWIL) dan uji terbang awal dengan pesawat aeromodel (*flow speed test bed*). Wahana uji dengan kecepatan 0,3 Mach tengah dikembangkan untuk memvalidasi perangkat lunak penerbangan otomatis (*autopilot*).

Autopilot pada rudal mengandalkan INS sebagai sensor utama. Penggunaan GNSS hanya untuk mengkalibrasi INS (memberikan data *drift* dan bias), sehingga jika GNSS tidak mendapat signal satelit, tidak membahayakan misi rudal.

4 STRATEGI PENGEMBANGAN

Strategi pengembangan dari rudal jelajah LAPAN adalah membuat wahana uji terbang yang berkembang dalam ukuran dan kompleksitasnya. Pengembangan ini akan menggunakan pengalaman dan fasilitas yang ada di Pusat Teknologi Wahana Dirgantara (Pustekwagan), LAPAN.

Pusat ini memiliki tugas utama untuk mengembangkan roket sonda, dimana saat ini telah berhasil mengembangkan prototip motor roket dengan diameter 15 cm dan panjang 120 cm serta motor dengan diameter 25 cm dan panjang 300 cm, dengan berbagai konfigurasi (bintang 7, *wagon wheel* dan silinder). Selain itu pusat ini juga telah mengembangkan motor dengan diameter 10 cm dan panjang 20, 40, dan 100 cm untuk tujuan pengujian sensor.

Pustekwagan juga memiliki akses terhadap 2 fasilitas uji terbang roket. Yang pertama adalah stasiun peluncuran Pameungpeuk, Jawa Barat, yang

mempunyai *downrange* (darat-laut) hingga 200 km dan *opening range* 50°. Yang kedua adalah Stasiun Peluncuran Pandanwangi, Jawa Timur, yang mempunyai *downrange* (darat-darat) 10 km dan lebar 3 km, serta 2 anjungan pengamat di tengah *downrange*.

4.1 RWX-100

Karena pengalaman LAPAN selama ini hanya pada roket balistik, pendekatan dalam pengembangan rudal jelajah dimulai dengan mempelajari dinamika wahana saat terbang non-balistik. Saat ini Pustekwagan telah memiliki motor *sustainer* berdiameter 10 cm dengan gaya dorong 5 kg dan waktu bakar 90 menit. Pusat ini juga telah mengembangkan sistem separasi yang tidak menggunakan piroteknik untuk roket diameter 10 cm. Sistem separasi memegang roket tahap 2 dengan gaya gesek dan didorong lepas oleh tekanan yang dikeluarkan oleh *igniter* roket tahap 2. Menggunakan komponen-komponen tersebut, pada akhir tahun ini akan diterbangkan RWX-100 (*Roket-Wing-eXperiment*). Roket yang terdiri dari motor *booster* 20 cm, sistem separasi dan motor *sustainer*. Pada tabung *payload* akan dipasang sayap dengan *cord* 20 cm dan bentang 20 cm. Karena sayap ini tidak dilipat, untuk menjamin stabilitas (*static margin* 1,0), akan dipasang *Jin* yang cukup besar pada booster-nya.

Sensor yang akan dipasang pada rudal ini adalah GNSS, akselerometer di arah *axial* dan *gyro* arah *roll*. Sistem telemetri UHF akan digunakan karena laju transmisi datanya masih rendah.

Aktuator yang ditempatkan pada ekor *sustainer* akan mengendalikan sudut *roll* wahana dengan melakukan *closed-loop* dengan *gyro roll*

Uji terbang RWX-100 telah dilakukan di fasilitas uji terbang Pandanwangi, dengan metode darat-laut, pada bulan November tahun 2007.

Karena merupakan uji terbang yang pertama, *sustainer* tidak diisi motor

roket, sehingga wahana tidak terlalu memerlukan sistem separasi. Karena tabung *booster* tidak akan terpisah, maka ekor *sustainer* juga dibuat kaku (tanpa aktuator).

Total berat wahana 45 kg dengan gaya dorong *booster* 140 kg, dan wahana diluncurkan dengan elevasi peluncuran 50° . Hasil uji menunjukkan bahwa prediksi dinamik wahana cukup akurat karena wahana dapat terbang dengan stabil (trayektori wahana mengikuti profil balistik) hingga mencapai jarak 6 km dengan waktu terbang hampir 80 detik.

Misi dari uji terbang ini adalah mempelajari karakteristik *roll* selama fase penerbangan dengan *booster*, turunnya sudut elevasi di fase terbang bebas [*ascending free flight*]. Efek *wing* (dan juga kontribusi *fin booster*) telah terbukti dapat mengurangi laju *roll* roket secara pasif, demikian juga penurunan sudut *pitch* pada saat terbang bebas sesuai dengan yang diperkirakan (sesuai dengan besaran *static margin*). Dengan hasil ini, uji terbang selanjutnya pada RWX-100 akan membawa aktuator pada ekor *sustainer*, motor *sustainer* dan sistem separasi.

4.2 RWX-150-TJ

Perancangan RWX-150-TJ {*turbojet*[^] diawali dengan tersedianya mesin *turbojet* mini (diameter 10 cm) dengan gaya dorong 10 kg. Selain menjadi *test-bed* bagi sistem pemasangan *turbojet* pada roket, wahana ini juga akan menguji mekanisme pelipatan sayap dan *autopilot Turbojet* yang ada memiliki laju konsumsi bahan bakar 0,25 liter/menit/kg gaya dorong.

Perhitungan menunjukkan bahwa jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menyalakan *turbojet* selama 10 menit adalah 28 liter. Pada diameter 15 cm, panjang tangki bahan bakar yang diperlukan adalah 140 cm. Sehingga panjang wahana jelajah 240 cm dan beratnya 62 kg. Untuk dapat membawa wahana ke kecepatan 220 m/s, diper-

lukan *booster* dengan panjang 40 cm dan diameter 15 cm. Berat *booster* ini 27 kg, sehingga berat total wahana 89 kg.

Moda pelipatan sayap adalah *Switch-blade*, yakni sayap dibentangkan dengan memutar titik tengah kedua sayap. Dengan demikian panjang *cord* bisa semaksimal mungkin. Hal ini menjadi penting karena sayap dilipat/dipasang pada V^* diameter di atas garis axi-simetris agar dapat memberikan atabilitas *roll* secara pasif. Diharapkan pada saat dibentangkan, sayap akan memberikan efek pendulum sehingga bisa meredam *roll* yang mungkin diakibatkan saat *booster*. Konfigurasi ini menjadikan pada arah axial sayap terpasang pada titik tengah tangki, yang akan menjadi batasan dari titik berat wahana.

Ketinggian jelajah diperkirakan 500 m di atas permukaan laut. Karena kecepatan jelajah wahana 180 m/s, maka dalam tempo 10 menit akan dapat menempuh jarak 108 km. Karena jarak ini sudah melampaui horizon, maka modifikasi terhadap moda uji terbang perlu dilakukan untuk menjamin stasiun telemetri dapat *line-of-sight* dengan roket. Karena *line-of-sight* stasiun telemetri Pameungpeuk pada ketinggian 500 m hanya kurang dari 50 km, stasiun telemetri kedua dapat ditempatkan di atas kapal yang berada 50 km dari pantai Pameungpeuk. Alternatif kedua adalah melakukan peluncuran roket searah dengan garis pantai dari atas kapal yang membuang sauh 10 km dari pantai. Hal ini memungkinkan menempatkan beberapa stasiun telemetri di sepanjang garis pantai.

Karena tidak ada persyaratan transparansi optik pada hidung wahana RWX-150-TJ dirancang untuk raempunyai hidung *ogive* yang tajam untuk dapat mencapai CD 0,27.

Avionik berbasis GNSS-INS akan dipasang pada wahana ini termasuk kamera CCD mini yang berfungsi untuk menangkap gambar sistem separasi dan pembentang sayap. Karena kebutuhan

laju data semakin besar, maka sistem telemetri akan menggunakan frekwensi S-band. 7% dari berat wahana akan didedikasikan untuk baterai yang akan memberi listrik untuk transmisi telemetri selama 12 mer.it.

Diperkirakan uji terbang sistem ini bisa dilakukan dalam tempo setahun setelah uji terbang RWX-100.

4.3 RWX-320-OS

Tujuan diperbesarnya wahana ke diameter 32 cm adalah untuk memberikan luas hidung yang cukup untuk menguji sistem *seeker* optik. Selain itu, dengan memperbesar diameter akan dapat meningkatkan gaya dorong *turbojet* (yang luas nozel gas buangnya lebih besar). Gaya dorong yang lebih besar akan mengakomodasi gaya angkat yang lebih besar.

Rencana pengembangan ini berasumsi pada ketersediaan mesin *turbojet* dengan diameter 25-30 cm yang dapat memberi gaya dorong 45 kg dan memiliki efisiensi (laju konsumsi bahan bakar) seperti mesin diameter 100 cm.

Persyaratan untuk *aperture* bagi *seeker* elektro-optik menjadikan hidung wahana terbuat dari material yang transparan dan berbentuk tumpul. Konfigurasi ini akan menambah *drag* yang harus dikompensasi.

Perhitungan menunjukkan bahwa panjang total wahana adalah 380 cm dengan berat total 362 kg. Panjang *booster* 45 cm akan memberikan gaya dorong sebesar 470 kg. *Booster* akan membawa wahana pada kecepatan 180 m/s dan ketinggian 1,2 km. Wahana jelajah akan membawa 126 kg bahan bakar yang diperlukan untuk terbang selama 15 menit. Sayap wahana dirancang dengan prinsip yang sama dengan RWX-150 (memanfaatkan panjang dan lebar tangki bahan bakar pada posisi 'A diameter di atas garis axi-simetris). Diperkirakan wahana ini bisa mengakomodasi *warhead* mini yang berbentuk silinder D32x80 cm dengan berat 50 kg. Jarak jangkauannya diperkirakan 162 km.

5 RENCANA UJI KUALIFIKASI

5.1 Pengujian Tingkat Komponen

a. Avionik

Komponen kunci dalam pengembangan wahana terbang tanpa awak adalah *avtonic* yang handal. Pada konteks ini berarti the *strap-down* INS dan altimeter. Untuk mengembangkan INS, Bidang Kendali Pustekwagan LAPAN mengembangkan simulator *hardware-in-the-loop* (HWIL). Alat ini di antaranya terdiri dari *platform* di atas gimbal 3-axis yang digunakan untuk mengkalibrasi *gyro* dan menguji perangkat lunak pengendali yang dikembangkan. HWIL telah dapat beroperasi pada akhir tahun 2007, dan pengujian akan dimulai awal tahun 2008.

Setelah terkalibrasi sensor perilaku terbang dan komputer pengendalinya akan diuji dengan menggunakan pesawat tanpa awak. Pengujian akan mencakup sistem *autopilot* untuk :

- terbang level dengan menggunakan *gyro* dan altimeter;
- terbang mengikuu' *waypoint* yang sudah diprogramkan dengan panduan INS;
- re-kalibrasi INS selama penerbangan dengan menggunakan GPS.

Hal ini penting untuk mendapatkan platform pengujian yang mendekati kondisi terbang sesungguhnya. Untuk tujuan tersebut, Bidang Kendali Pustekwagan LAPAN tengah mempersiapkan pesawat tanpa awak dengan ukuran menengah (panjang sekitar 2,5 m) yang dapat terbang hingga kecepatan 100 m/s (0,3 Mach), meggunakan mesin *turbojet*

b. *Sustainer*

Untuk mempelajari karakteristik dari mesin *turbojet* yang akan digunakan untuk *sustainer*, *platform* pengujian statik akan dibangun. Platform tersebut untuk mempelajari karakteristik gaya dorong *sustainer* dan pola konsumsi bahan bakarnya.

5.2 Pengujian dengan Terowongan Angin

Terowongan angin subsonik LAPAN memiliki kecepatan udara maksimum kurang dari 50 m/s (0,14 Mach) dan seksi uji seluas 175 x 225 cm. Sementara itu, terowongan angin supersonik LAPAN mempunyai kecepatan udara 267 hingga 400 m/s dan luas seksi uji 40 x 40 cm (<http://aerolapan.com/localhost/aero9/index.html>). Karena terowongan angin yang tersedia belum mendekati kecepatan terbang (fase *sustainer*) wahana yang didisain, pengujian terbatas akan dilakukan untuk memahami karakteristik wahana secara kualitatif. Dari pemahaman tersebut, pemodelan komputasi numerik yang lebih mendekati kondisi terbang akan dilakukan untuk mensimulasikan karakter wahana. Diharapkan pendekatan ini akan dapat mematangkan persiapan menuju uji terbang.

Pengujian dengan terowongan angin yang telah dilakukan pada akhir tahun 2007 adalah pada model skala penuh RWX-150 di terowongan angin subsonik. Tujuan pengujian adalah :

- Memahami stabilitas *pitch-roll-yaw* dari wahana saat konfigurasinya berubah saat *booster* dilepas dan sayap dibentangkan,
- Menguji keandalan sistem pemisah *booster* dan mekanisme pembentang sayap,
- Menguji sistem kendali wahana; kemampuan sensor untuk membaca gangguan pada sistem stabilitas dan kemampuan aktuator untuk mengatasinya.

Hasil pengujian tahap awal mempunyai validitas data yang rendah, karena sensor yang dipasang tidak bekerja dengan baik. Pengujian ini akan diulangi lagi setelah perbaikan sensor di awal tahun 2008.

6 KESIMPULAN

Disain awal untuk rudal jelajah LAPAN telah dilakukan. Disain tersebut telah memperhatikan strategi pencapaian yang sesuai dengan batasan-batasan yang dimiliki oleh LAPAN.

Strategi pencapaian yang dipilih adalah '*growing in size and complexity*'. Tahapan yang dilalui menggunakan *booster* adalah roket standar yang telah ada (RX-100 dan RX-150) dan akan ada (RX-320) di LAPAN. Tahapan yang sama juga akan diambil untuk motor *sustainer*. Tahapan yang akan dilalui oleh avionik adalah '*growing in speed*' dimana uji darat, termasuk pengujian terowongan angin dilalui, sebelum diuji terbang dengan pesawat tanpa awak dengan kecepatan 0,1 Mach dan 0,3 Mach, dan pada akhirnya menggunakan roket.

Tahapan uji yang telah dilakukan di tahun 2007 adalah uji terbang model awal RWX-100 (tanpa moto *sustainer* dan permukaan kendali aktif) dan uji awal terowongan angin pada model RWX-150. Hasil uji terbang dapat menjadi acuan untuk melakukan uji terbang konfigurasi penuh RWX-100. Sementara uji terowongan angin perlu diulangi karena bacaan sensor belum optimal.

DAFTAR RUJUKAN

- Fleeman, EX., 2006. *Tactical Missile Design*, AIAA Education Series, Reston, USA.
- Georgia Institute of Technology, Final Report of Navy Tactical Surface-to-Surface Missile (NTSSM) Design; 2001, Atlanta, USA.
- http://en.wikipedia.org/wiki/General_Electric_J85.
- <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane>.
- <http://aerolapan.com/localhost/aero9/index.html>.
- Shevell, R.S.; *Fundamental of Flight*, 2nd Ed., Prentice Hall Inc, 1999, New Jersey, USA.