

**MODEL EKONOMI WAHANA PELUNCUR REUSABLE  
DIBANDINGKAN TERHADAP  
WAHANA PELUNCUR EXPENDABLE**

**Alfred Sitindjak \*)  
Euis Susilawati \*\*)**

**PUSAT ANALISIS DAN INFORMASI KEDIRGANTARAAN  
LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL**

\*) Peneliti Madya Bidang Analisis Sistem, LAPAN

\*\*\*) Ajun Peneliti Madya Bidang Analisis Sistem, LAPAN

## ABSTRACT

*It is generally assumed by the community that reusable launch vehicles will dramatically reduce launch costs because the vehicle is not thrown away every time it is used. However, this is usually taken as an element of faith, without any substantive analysis to support the conclusion. The example of the Space Shuttle, originally sold to Congress of the United States of America on the basis of dramatically cutting launch costs, suggests that this conclusion might not be accurate under realistic conditions of development and operations.*

*This paper presents an economic model of the cost per launch of both expendable and reusable launch vehicles. The model is presented so as to facilitate comparison between the two launch vehicles, and each cost element involved is discussed in terms of the impact of reusability or discard of vehicles or components. The model is given in a fully analytic form and it is used to determine the broad economic conditions under which reusable or expendable will be more or less expensive. The expenses of the elements or components involved in each of the two launch vehicles are collected from various sources, and eventually becoming cost inputs for the model. One of the conclusions of the model outputs show that the reusable launch vehicle costs will be cheaper than the expendable launch vehicle costs at launch rates more than about 100 times per year over 15 years.*

## ABSTRAK

Umumnya, masyarakat menganggap bahwa wahana peluncur Reusable akan dapat mengurangi secara tajam biaya-biaya peluncuran karena wahana peluncur tersebut tidak dibuang setiap kali selesai peluncuran. Namun, hal itu hanya suatu kepercayaan tanpa adanya suatu analisis substansif untuk pembuktian anggapan tersebut. Sebagai contoh, Space Shuttle tadinya diusulkan kepada dan akhirnya disetujui oleh Congress dengan alasan akan dapat mengurangi biaya-biaya peluncuran. Dalam kenyataannya, biaya peluncuran Space Shuttle lebih besar dari biaya peluncuran wahana antariksa Expendable untuk misi antariksa yang sama, dan sekaligus menunjukkan bahwa konklusi tersebut tidak akurat dalam kondisi yang riil dalam pengembangan dan pengoperasian wahana peluncur tersebut.

**Makalah ini menyajikan sebuah model ekonomi bagi peluncuran wahana peluncur Expendable dan Reusable. Model disajikan sedemikian rupa agar dapat memfasilitasi perbandingan di antara kedua wahana peluncur tersebut. Setiap elemen biaya dari peluncuran dibahas dalam kaitannya dengan dampak dari penggunaan secara berulang atau pembuangan wahana peluncur atau komponen-komponennya. Model disajikan sepenuhnya dalam bentuk analitik, dan digunakan untuk menentukan kondisi ekonomi apakah penggunaan wahana peluncur**

Expendable atau Reusable lebih murah atau lebih mahal. Pengeluaran ataupun biaya elemen-elemen ataupun komponen-komponen dari masing-masing wahana peluncur (Expendable dan Reusable) dihimpun dari berbagai sumber, dan akhirnya menjadi input biaya bagi model. Salah satu konklusi dari luaran model menunjukkan bahwa biaya peluncuran wahana peluncur Reusable akan lebih murah dari biaya peluncuran wahana peluncur Expendable pada saat jumlah peluncuran lebih dari 100 kali per tahun selama 15 tahun.

## **1. PENDAHULUAN**

Negara-negara terutama yang melakukan kegiatan keantarkasaaan selalu berusaha untuk meningkatkan efisiensi pencapaian misi-misi antariksanya dengan biaya yang serendah-rendahnya. Peningkatan efisiensi ini diusahakan untuk semua jenis misi (ilmiah, militer, dan komersialisasi) dan semua segi yang terkait dengan misi-misi tersebut, seperti pengembangan (yang tidak berulang), pabrikasi (produksi), peluncuran, dan pengoperasian. Dalam kenyataannya, salah satu masalah besar dalam efisiensi misi antariksa terkait dengan biaya peluncuran yang cukup besar.

Saat ini terdapat paling sedikit 10 perusahaan industri ataupun badan di seluruh dunia yang telah berhasil mengembangkan dan mengoperasikan wahana peluncur. Walaupun industri ataupun lembaga tersebut terus berupaya untuk dapat memperkecil biaya peluncuran, namun dalam perkembangannya selama 30 tahun terakhir biaya peluncuran tetap besar dan tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Berkaitan dengan biaya peluncuran ini, sejumlah pakar teknologi tadinya memperkirakan bahwa salah satu cara untuk mengurangi biaya peluncuran adalah dengan menggunakan wahana peluncur yang dapat dimanfaatkan kembali (reusable launch vehicle, disingkat RLV). Sampai saat ini, hanya NASA (National Aeronautic and Space Administration), Amerika Serikat yang berhasil membuat Hpn mengoperasikan Space Shuttle sebagai RLV. Sayangnya bahwa Space Shuttle adalah wahana peluncur berawak (manned vehicle), jadi kurang tepat untuk dibandingkan dengan wahana peluncur sekali pakai (expendable vehicle) yang tentunya tak berawak. Alasan utama yang disampaikan oleh NASA untuk memperoleh persetujuan Congress bagi pembuatan Space Shuttle adalah bahwa biaya peluncuran akan dapat dikurangi secara dramatis. Nyatanya, walaupun Space Shuttle secara teknis telah berhasil dengan mengagumkan dan mempunyai keandalan yang paling tinggi di antara semua wahana peluncur, namun biaya peluncuran dengan menggunakan Space Shuttle tetap tidak dapat mengurangi biaya peluncuran, bahkan hampir 60 % lebih tinggi dari biaya peluncuran yang menggunakan jenis wahana peluncur sekali pakai.

Dalam makalah ini akan dicoba membangun suatu model ekonomi dari biaya-biaya wahana peluncur yang dapat memberikan perbandingan secara langsung biaya peluncuran antara yang menggunakan wahana peluncur sekali pakai dan yang menggunakan wahana peluncur yang dapat dimanfaatkan kembali (pakai ulang). Model ekonomi ini tentunya dapat digunakan oleh para analisis sistem ataupun perencana sistem (systems analysts or Systems engineers) dalam memberikan masukan kepada pengambil keputusan yang berkaitan dengan pilihan untuk pengembangan wahana peluncur sekali pakai atau wahana peluncur yang dapat dipakai kembali, dilihat dari sisi biaya.

## 2. METODOLOGI

Model ekonomi yang akan dibangun adalah sepenuhnya dalam bentuk analitik (fully analytic model). Dengan model seperti itu, pengguna model dapat membuat asumsi, data atau perkiraan sendiri tentang komponen-komponen biaya atau melakukan perubahan-perubahan mengenai pendekatan-pendekatan alternatif atau kondisi pasar. Dengan menggunakan model yang telah dibangun, juga sekaligus akan dikenali berbagai kondisi yang dapat mengurangi, baik biaya peluncuran dengan menggunakan wahana peluncur sekali pakai maupun biaya peluncuran dengan menggunakan wahana peluncur yang dapat dimanfaatkan kembali, atau yang kompetitif di antara kedua wahana peluncur tersebut.

Umumnya komponen biaya peluncuran, meliputi biaya-biaya pengembangan, produksi, operasi, penemuan dan pembaharuan (hanya untuk wahana peluncur pakai ulang), dan asuransi. Sedangkan kondisi, meliputi antara lain pasar (permintaan dan penawaran jasa peluncuran), teknologi dan subsistem-subsistem dalam masing-masing wahana peluncur tersebut.

## 3. MODEL EKONOMI BIAYA WAHANA PELUNCUR YANG DAPAT DIPAKAI ULANG DAN YANG HANYA SEKALI PAKAI

### 3.1. Model Umum

**Untuk selanjutnya, wahana peluncur yang hanya sekali pakai disingkat dengan Expendable dan yang dimanfaatkan kembali (pakai ulang) disingkat dengan Reusable.**

**Umumnya keseluruhan biaya peluncuran adalah penjumlahan dari 6 komponen biaya, dan secara matematik dapat dinyatakan sebagai berikut;**

$$C_{pl} = C_{pbang} + C_w + C_{op} + C_{pk} + C_{pb} + C_{as} \dots\dots\dots (1)$$

**Di mana**

$C_{pi}$  = biaya total untuk peluncuran wahana (tidak termasuk inflasi)

$C_{pbang}$  = Amortisasi biaya pengembangan wahana peluncur

$C_w$  s a. Expendable : Biaya produksi ulang (biaya Unit Pertama Teoritis dikurangi kurva pembelajaran)

b. Reusable: Amortisasi biaya produksi wahana peluncur

$C_{op}$  = Biaya total operasi untuk setiap peluncuran

$C_{pk}$  = Biaya penemuan kembali wahana peluncur (hanya untuk Reusable)

$C_{pb}$  s Biaya pembaharuan kembali wahana peluncur (hanya untuk Reusable)

$C_{ag}$  s Biaya asuransi peluncuran

Masing-masing komponen biaya tersebut di atas akan diuraikan secara rinci berikut ini.

3.1. Biaya Pengembangan Yang Tidak Berulang (Nonrecurring Development Cost)

Dalam model ekonomi biaya peluncuran (1),  $C_{pbang}$  s besarnya amortisasi per peluncuran dari biaya pengembangan yang tidak berulang lagi. Model amortisasi standar yang sama berlaku untuk kedua jenis wahana (Expendable dan Reusable). Model (1) merentang biaya pengembangan secara merata (uniform) dalam keseluruhan peluncuran. Dengan cara yang sama, pinjaman komersial juga merentang secara merata dalam pembayaran kembali yang dilakukan sebanyak jumlah keseluruhan peluncuran.

Bagaimana cara menentukan besarnya  $C_{pbang}$  ?. Misalkan besarnya pinjaman untuk pengembangan, disebut  $C_{tctatpmj}^*$  Dengan berpegang pada ketentuan di atas, yaitu  $C_{totalpi_nj}$  akan dibayarkan sebanyak  $N$  kali, setiap kalinya sama besar, dan dengan bunga tahunan (annual interest rate)  $i$ , maka:

$C_{p^g} = C_{mtalpioj} [i / (1+i)^N] / Lyr \dots\dots\dots (2)$

di mana

$$L_{yr} = \text{Jumlah peluncuran per tahun, Biaya total untuk pengembangan} = N \times \text{Pembayaran Per Tahun} = C_{pbang} \times \text{jumlah keseluruhan peluncuran, dan} \\ \text{Biaya keseluruhan bunga} = \text{Biaya total untuk pengembangan} - C_{totalpinj}$$

Industri ataupun badan dari negara-negara yang mengembangkan dan memproduksi wahana peluncur telah menerapkan nilai numerik nominal yang sama untuk semua elemen yang diamortisasi, amortisasi berlangsung selama 15 tahun, dan bunga sebesar 15% per tahun. Bunga ini oleh berbagai pihak terutama oleh badan-badan keuangan regional/internasional dianggap cukup rendah bagi suatu proyek seperti pengembangan wahana peluncur yang mempunyai risiko keuangan yang signifikan. Namun, pemerintah dari industri/badan pengembangan wahana peluncur memandangnya itu sebagai hal yang wajar untuk mendorong pembuatan wahana peluncur yang sarat dengan teknologi strategis.

Umumnya,  $C_{pbang}$  untuk Expendable lebih kecil dari  $C_{pbang}$  untuk Reusable. Hal ini disebabkan oleh lebih sedikit item yang akan dikembangkan dan keperluan untuk pengembangan juga lebih kecil. Artinya bahwa amortisasi biaya pengembangan yang tidak berulang akan lebih besar secara signifikan bagi Reusable dari pada Expendable.

Sebagaimana disebutkan dalam model umum ekonomi biaya peluncuran (butir 3.1.), inflasi tidak diperhitungkan dalam biaya. Dalam kenyataannya, bagi wahana peluncur yang expendable dengan biaya pengembangan berulang yang lebih tinggi, inflasi dapat memainkan peran ekonomi yang signifikan dalam pembayaran pinjaman untuk biaya pengembangan tersebut. Karenanya, model amortisasi harus disesuaikan apabila inflasi cukup besar.

Dalam rangka penyesuaian model amortisasi (model biaya pengembangan) yang dikaitkan dengan inflasi, amortisasi menerima suatu pembayaran tetap,  $P_0$ , dalam mata uang riil pada tahun-tahun kegiatan berlangsungnya peluncuran.  $P_0$ , dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_0 = Li / [1 - (1 + i)^{-N}] \dots\dots\dots (8)$$

di mana

$L$  = Jumlah pinjaman,  $i$  = bunga bank, dan  $N$  = banyaknya kali pembayaran. Jika inflasi yang besarnya tetap setiap tahunnya,  $f$ , maka besarnya pengurangan,  $R$ , dalam nilai uang adalah:

$$R = 1 / (1 + f) \dots\dots\dots (9)$$

Selama perioda N tahun, pembayaran rata-rata,  $P_{rata}$ , yang setiap tahunnya sama, akan berkurang menjadi:

$$P_{rata} = P_o (R/N) [(1 - R^N) / (1 - R)] \quad (10)$$

Dalam hal inflasi diperhitungkan, rumus (10) harus disubstitusi ke dalam rumus (2).

### 3.3. Biaya Produksi Yang Tidak Berulang (Nonrecurring Production Cost)

Dalam model ekonomi biaya peluncuran (1),  $C_w$  adalah biaya produksi ulang untuk wahana peluncur, setelah pengembangan selesai dilakukan. Dalam hal ini, model biaya berbeda untuk wahana Reusable dan Expendable. Untuk Expendable,  $C_w$  adalah biaya produksi ulang bagi wahana peluncur itu sendiri.  $C_w$  ditentukan dengan menggunakan biaya dari satu Unit Pertama Teroris (Theoretical First Unit, disingkat TFU) dikurangi faktor kurva pembelajaran (learning curve factor). TFU adalah biaya produksi dari satu wahana di mana wahana tersebut hanya satu-satunya yang akan diproduksi. Umumnya, biaya produksi wahana-wahana berikutnya akan menjadi lebih kecil. Kurva pembelajaran memperhitungkan tidak hanya pemahaman yang lebih baik tentang cara-cara memproduksi wahana, tetapi juga skala ekonomi seperti pembelian/pengadaan komponen-komponen dalam jumlah yang besar dan kemampuan pembuatan peralatan khusus serta membangun jaringan produksi apabila wahana peluncur dengan jumlah yang lebih besar akan diproduksi.

Dengan menggunakan kurva pembelajaran yang standar, biaya keseluruhan produksi untuk N unit dengan kurva pembelajaran tertentu, S, adalah sebagai

berikut:

$$\text{Biaya keseluruhan produksi} = \text{TFU} \times L \dots\dots\dots (3)$$

$$L = N^B \dots\dots\dots (4)$$

$$B = 1 - [\log (100\% / S) / \log 2] \dots\dots\dots (5)$$

di mana S s prosentasi kurva pembelajaran, dan umumnya : S = 95%, N < 10 unit; S = 85%, 10 < N < 50 unit; S = 85%, N > 50 unit. Biasanya, lebih dari 50 wahana peluncur akan diproduksi selama 15 tahun, dan S =\* 87,5% untuk semua unit.

Ada 2 karakteristik kurva pembelajaran yang utama dalam  $C_w$

Pertama,  $C_w$  - biaya rata-rata per wahana selama perioda waktu produksi (15 tahun), yaitu:

$$C_w = \text{Biaya rata-rata} = \text{Biaya keseluruhan produksi} / N \dots\dots\dots (6)$$

Kedua, Biaya produksi unit yang ke-N dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya produksi unit ke-N} &= \text{TFU} \times (N^B - (N-1)^B) = \\ &= \frac{\text{TFU} \times B \times N^{B-1}}{B} = \dots\dots\dots (7) \\ &= B \times \text{Biaya rata-rata} \end{aligned}$$

Untuk wahana peluncur Reusable, model biaya adalah lebih rumit. Dalam model biaya ini, keseluruhan bagian-bagian wahana diproduksi pada suatu waktu tertentu, dan diamortisasi sepanjang wahana berfungsi yaitu selama 15 tahun. Karenanya, biaya keseluruhan produksi s TFU (untuk satu wahana Reusable) — kurva pembelajaran yang sama yang digunakan untuk Expendable wahana-wahana berikutnya. Amortisasi diberlakukan untuk seluruh peluncuran selama wahana peluncur masih berfungsi, yaitu 15 tahun.

Model ekonomi untuk biaya produksi yang berulang di atas menunjukkan bahwa biaya Expendable akan semakin turun apabila lebih banyak wahana diproduksi, sedangkan biaya amortisasi Reusable adalah tetap sepanjang waktu yang direncanakan untuk berfungsinya wahana. Karenanya, inflasi dan “cost of money” mempunyai dampak yang agak berbeda terhadap Reusable dan Expendable. Dalam wahana-wahana Reusable, sebagian besar uang digunakan di muka (awal), dan karenanya cukup sensitif terhadap bunga bank. Dengan kata lain, inflasi yang tinggi cukup berharga bagi wahana-wahana Reusable, dan bahwa pinjaman awal dapat dibayar kembali dalam tahun-tahun mendatang dengan uang yang nilanya lebih rendah untuk masing-masing Wahana Expendable menggunakan biaya di muka yang lebih kecil di mana biaya untuk masing-masing wahana berlaku sepanjang waktu. Akibatnya, walaupun bunga bank dan inflasi hal yang masih perlu tetap diperhitungkan, bunga bank dan inflasi tersebut mempunyai dampak yang lebih kecil pada Expendable dibandingkan pada Reusable.

### 3.2. Operasi Peluncuran

$C_p$  = biaya total peluncuran untuk setiap peluncuran. Biaya ini mencakup untuk keperluan pengecekan dan pengetesan pada penyangga peluncuran (launching pad), pemasangan muatan (payload mating), bahan yang dikonsumsi (consumables), operasi peluncuran, dan bagian yang disepakati dari biaya fasilitas yang digunakan.  $C_p$  s TFU - kurva pembelajaran (berlaku untuk Expendable dan

Reusable). Umumnya, operasi peluncuran diyakini lebih mahal untuk wahana Reusable karena tingkat kerumitan peluncurannya yang lebih besar. Wahana Reusable sendiri lebih rumit dan memerlukan upaya yang lebih besar dalam peluncurannya, seperti adanya upaya penemuan dan pengembalian wahana, dan semua sistem yang berkaitan dengan penemuan dan pengembalian ini harus dicek sebelum peluncuran. Karenanya, dibandingkan dengan biaya pengembangan, biaya operasi untuk wahana Expendable adalah lebih kecil. Setelah semua prosedur ditetapkan, biaya operasi peluncuran untuk wahana Expendable berkisar antara US\$ 500.000 s.d. US\$ 1.000.000 per misi. Perhitungan untuk biaya peluncuran wahana Reusable jauh lebih sulit, karena wahana Reusable yang ada hanya Space Shuttle, yang tidak hanya Reusable, tetapi juga berawak. Biaya untuk awak Space Shuttle adalah cukup besar. Dari pengalaman NASA, biaya peluncuran Space Shuttle berkisar antara US\$ 200 juta s.d. US\$ 400 juta per peluncuran, tidak termasuk biaya-biaya pembaharuan yang diperlukan. Jelas bahwa biaya operasi peluncuran Space Shuttle ini terlalu besar untuk setiap wahana peluncur yang kompetitif di masa mendatang.

Umumnya, biaya operasi peluncuran akan berkurang dengan suatu tingkat yang lebih tinggi dari pengeluaran dalam pengembangan yang tidak berulang dalam rangka pembuatan sebuah wahana yang tidak memerlukan operasi-operasi yang repetitif. Akan tetapi, kebanyakan program pengembangan wahana peluncur telah mengalami biaya yang lebih besar dari biaya pengembangan tidak berulang (nonrecurring development) yang diproyeksikan. Akibatnya, secara historis biaya operasi yang tinggi telah terjadi, sebagian, dalam upaya menekan biaya pengembangan awal yang tidak berulang. Sementara kebanyakan industri/badan pembuat wahana peluncur yang sedang dikembangkan akan mempunyai biaya-biaya pengoperasian yang sangat rendah, namun hanya amat sedikit bukti bahwa industri/badan pembuat wahana peluncur tersebut berkeinginan untuk menerima biaya tambahan pengembangan yang tidak berulang untuk mencapai biaya pengoperasian yang rendah. Juga, pasar bagi pengembangan wahana peluncur belum kuat dalam kaitannya dengan kapasitas industri/badan pembuat wahana baru untuk memperoleh penghasilan (uang).

Adalah penting untuk disadari bahwa dalam model-model biaya sistem antariksa yang ada, biaya operasi dan pemeliharaan mencakup biaya pembelian wahana pengganti yang potensial pada akhir berfungsinya wahana saat ini. Biaya untuk pembelian wahana pengganti ini tidak termasuk dalam model pengoperasian di atas. Hal ini mengakibatkan perlunya menyisihkan sejumlah uang untuk pembiayaan pengembangan dan produksi unit-unit wahana berikutnya pada akhir kegunaan dari wahana peluncur, baik wahana Reusable ataupun wahana Expendable.

### 3.5. Penemuan dan Pembaharuan (Recovering and Refurbishment)

Biaya untuk penemuan dan pembaharuan wahana peluncur hanya berlaku bagi wahana-wahana Reusable atau komponen-komponen wahana.  $C_{pk}$  menyatakan biaya penemuan aktual ditambah pengembalian wahana ke lokasi peluncuran atau tempat lain di mana peralatan akan dicek kembali dan diperbaharui.  $C_{pk}$  dinyatakan sebagai suatu prosentase dari biaya- operasi peluncuran. Ada kalanya biaya ini sangat besar, tergantung pada apakah wahana atau komponen tersebut terbang kembali ke tempat peluncuran atau tempat penemuan (Orbiter), diambil setelah mendarat di laut (Shuttle's Solid Rocket Boosters), atau di darat (Kapsul berawak milik negara mantan Uni Soviet dan Rusia).

Biaya pembaharuan kembali ( $C_{pb}$ ) = biaya untuk inspeksi, pembersihan, pemeliharaan, pengetesan kembali, sertifikasi ulang, dan pengembalian ke tempat peluncuran jika wahana dan komponen-komponen diproses pada lokasi di luar tempat peluncuran.  $C_{pk}$  dinyatakan sebagai suatu prosentase dari biaya produksi rata-rata wahana peluncur ( $C_w$ ) yang dinaikkan dengan kurva pembelajaran 105 % s.d. 115% sepanjang waktu penggunaannya secara meningkat. Dalam hal pesawat terbang dan semua sistem transportasi lainnya, biaya reparasi dan pembaharuan kembali akan meningkat sejalan dengan bertambahnya umur wahana. Karenanya, semakin banyak komponen-komponen yang perlu diuji dan diganti, atau dibuat kembali apabila wahana Reusable semakin tua.

Biaya pembaharuan meliputi biaya penggantian komponen-komponen yang mungkin rusak/hancur dari waktu ke waktu. Sebagai contoh : sebuah "Solid Rocket Booster" yang terbenam dalam laut dan tidak dapat ditemukan mengandung biaya pembaharuan jika keseluruhan wahana hancur. Biaya pembaharuan tersebut tercakup dalam biaya asuransi yang akan diuraikan dalam butir berikut.

Untuk "Shuttle's Solid Rocket Boosters", besarnya biaya penemuan dan pembaharuan hampir sama dengan biaya pembuatannya. Akibatnya, untuk komponen ini hanya sedikit keuntungan dengan penemuan, pembaharuan, dan penggunaan kembali. Sebaliknya, biaya penemuan dan pembaharuan untuk Orbiter adalah jauh lebih kecil dari biaya pembuatan awal, dan karenanya akan memberikan penghematan yang berarti.

### 3.6. Asuransi

Biaya asuransi ( $C_{as}$ ) adalah biaya untuk asuransi peluncuran yang dinyatakan sebagai suatu prosentase dari biaya wahana peluncur. Dalam hal ini,  $C_{as}$  hanya mencakup biaya pengasuransian wahana itu sendiri, tidak termasuk komponen-komponen lain dari misi antariksa yang ditetapkan. Biaya-biaya

asuransi dapat mencakup biaya penggantian wahana antariksa (spacecraft) ditambah “opportunity cost” yang dikaitkan dengan tidak adanya muatan (payload) yang tersedia hingga beberapa waktu kemudian. Akan tetapi, biaya-biaya ini sangat tergantung pada biaya wahana antariksa dan pentingnya sistem berada di orbit. Akibatnya, tidak ada cara yang dianggap paling tepat (baik) untuk membangun model biaya asuransi dalam suatu model biaya peluncuran yang bersifat umum, baik bagi Reusable maupun bagi Expendable. Biaya asuransi akan semakin turun apabila keandalan (reliability) semakin meningkat. Karenanya, biaya asuransi untuk peluncuran pertama dari sebuah wahana biasanya cukup tinggi dan akan turun secara signifikan jika keandalan tercipta pada peluncuran-peluncuran awal.

Badan/lembaga pemerintah biasanya mengasuransikan sendiri (self-insure) peluncuran yang dilakukannya. Badan/lembaga tersebut tidak membeli asuransi komersial, tetapi mengganti wahana peluncur dan muatan yang hilang/hancur. Namun, pengasuransian sendiri ini mempunyai pengaruh yang sama yang berkenaan dengan pemodelan biaya asuransi, kecuali untuk batas keuntungan (profit margin) dan biaya yang dikaitkan dengan asuransi bebas.

Besarnya biaya asuransi bagi sistem-sistem peluncur berada pada kisaran 15% dari biaya peluncuran. Besarnya biaya asuransi berfluktuasi sesuai dengan tingkat keberhasilan wahana-wahana peluncur dalam beberapa tahun terakhir. Dalam kenyataannya yang berlangsung, asuransi sebesar 15% biaya peluncuran adalah merupakan batas tertinggi. Setiap wahana peluncur baru yang ingin berkompetisi secara ekonomi, wahana peluncur baru tersebut harus mempunyai keandalan yang kompetitif (tinggi). Karenanya, di masa datang biaya asuransi akan sama atau kurang dari 15% biaya peluncuran, dengan kata lain keandalan wahana peluncur yang akan datang lebih tinggi dari wahana peluncur saat ini.

Mengingat bahwa biaya yang tidak berulang sangat besar dari wahana peluncur wahana peluncur Reusable tidak akan sanggup membelanjakan 15% dari wahana peluncur untuk asuransi. Akibatnya, setiap wahana peluncur akan diamortisasi hanya melalui 7 kali peluncuran. Dengan kata lain, wahana peluncur Reusable, apabila ingin berjalan secara ekonomi, haruslah dibuat lebih andal secara signifikan dari wahana peluncur Expendable. Hal inilah yang merupakan keuntungan dan sekaligus kerugian bagi wahana peluncur Reusable. Secara keseluruhannya, wahana peluncur Reusable perlu lebih andal dari wahana peluncur Expendable yang ada saat ini, walaupun tidak perlu lebih andal dari generasi baru wahana peluncur Expendable. Karena wahana peluncur Reusable harus dibuat lebih andal secara signifikan, biaya pengembangan yang tidak berulang dan biaya pembuatan (manufacturing) yang berulang tentunya akan lebih tinggi. Karakteristik asuransi tetap berlaku baik bagi pengasuransian secara komersial (membeli asuransi) maupun bagi pengasuransian pada diri sendiri.

Pengasuransian apapun yang dipilih, suatu kecelakaan yang destruktif akan memerlukan penggantian sebuah wahana peluncur Reusable yang sangat mahal.

## **4. APLIKASI MODEL BIAYA WAHANA PELUNCUR**

### **4.1. Pasar Peluncuran**

Walaupun Space Shuttle (milik Amerika Serikat), seperti Columbia, Discovery, dan Atlantis telah berfungsi lebih dari 15 tahun, para pakar teknologi antariksa dan analist ekonomi keantariksaan telah mempertimbangkan bahwa masa berfungsi wahana peluncur Expendable adalah 15 tahun. Masa berfungsi 15 tahun ini sekaligus telah diterapkan dalam model biaya wahana peluncur.

Permintaan pasar (pengguna) terhadap wahana peluncur, yaitu jumlah peluncuran yang diproyeksikan per tahun untuk wahana peluncur tertentu dalam kurun waktu 15 tahun, akan digunakan sebagai variabel bebas (independent variable) dalam model biaya wahana peluncur (butir 3.). Model biaya wahana peluncur ini diharapkan dapat memberikan jawaban secara numerik tentang besarnya permintaan peluncuran untuk mana penggunaan wahana peluncur Reusable menjadi lebih murah bila dibandingkan dengan penggunaan wahana peluncur Expendable.

Asumsi umum dalam kebanyakan model Reusable adalah bahwa biaya yang cukup rendah per peluncuran akan menciptakan permintaan baru dan pada gilirannya akan meningkatkan jumlah peluncuran. Namun, proses ini tidak dengan sendirinya tejadi segera, karena sebuah wahana peluncur baru harus dibuat dengan biaya yang cukup rendah. Wahana peluncur baru ini harus juga terbukti mempunyai keandalan yang tinggi melalui serangkaian peluncuran, pada hal dalam waktu tersebut perubahan dalam permintaan dapat saja tejadi. Sebagai konsekuensinya, titik awal dari semua model ekonomi wahana peluncur haruslah perkiraan peluncuran yang dibuat pada saat ini.

Berdasarkan perkiraan (ramalan) yang dibuat oleh para analist ekonomi keantariksaan pada saat ini, jumlah peluncuran di antara tahun 2001 s.d. 2010 berkisar antara 1.500 s.d. 2.000 peluncuran. Jumlah peluncuran ini merupakan jumlah peningkatan yang moderat (layak) sejak tahun awal 1970an. Hampir keseluruhan model menunjukkan bahwa kondisi pasar tidak elastis (berubah) sebelum terjadi pengurangan biaya yang signifikan. Artinya, permintaan yang lebih tinggi terhadap wahana peluncur akan tejadi setelah adanya penurunan biaya peluncuran yang lebih rendah dan catatan bukti-bukti yang menunjukkan keandalan yang tinggi dari wahana peluncur tersebut.

Jumlah peluncuran global yang besarnya 1.500 s.d. 2.000 peluncuran dalam perioda 2001 s.d. 2010 atau 150 s.d. 200 peluncuran per tahun tentu tidak menunjukkan adanya permintaan pasar sebesar itu terhadap setiap wahana peluncur baru. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi permintaan terhadap suatu wahana peluncur. Saat ini, ada 8 negara yang telah mampu meluncurkan wahana antariksa. Kedelapan negara tersebut ialah Amerika Serikat, Rusia, Perancis, Ukraina, Jepang, China, India, dan Israel. Dalam waktu dekat di masa datang, Brasil juga akan mampu meluncurkan wahana antariksa ke orbit rendah Bumi (low Earth orbit-LEO). Amerika Serikat dan Rusia sendiri mempunyai sejumlah industri baik sebaik pembuat wahana peluncur maupun sebagai penyedia jasa peluncuran. Selain itu, saat ini berbagai industri dan negara yang berbeda sedang melakukan pengembangan - wahana peluncur secara patungan. Misalnya, wahana peluncur milik Rusia telah dimodifikasi dan diluncurkan di Amerika Serikat. Faktor lain ialah bahwa peluncuran wahana antariksa yang disponsori oleh pemerintah (program pemerintah) umumnya akan menggunakan wahana peluncur negaranya, walaupun biaya peluncurannya lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan wahana peluncur komersial milik negara lain.

Selain meningkatnya jumlah negara ataupun industri yang membuat wahana peluncur dan menyediakan jasa peluncuran wahana peluncur antariksa sebagaimana tersebut di atas, bisnis peluncuran juga dapat dikelompokkan ke dalam (i) peluncuran (penerbangan) berawak dan tak berawak, dan (ii) tempat (orbit) yang ingin dicapai (LEO, orbit geostasioner, dan antar planet). Dalam 5 tahun terakhir, sekitar 40% dari wahana peluncur global ditujukan untuk penempatan wahana antariksa (satelit) di orbit geosinkron, dan peluncuran tersebut didominasi oleh wahana peluncur Expendable Ariane (Eropa), bi masa mendatang diyakini bahwa peluncuran akan lebih banyak ditujukan untuk menempatkan satelit-satelit di LEO, yang disebabkan terutama oleh meningkatnya konstelasi satelit komunikasi di LEO. Bangkrutnya Iridium pada akhir tahun 1990an, hanya berpengaruh pada penundaan jadwal peningkatan penempatan satelit di LEO. Berdasarkan data yang daprit dihimpun dari berbagai sumber, perkiraan (ramalan) peristiwa peluncuran yang dibuat pada Maret 2002 untuk Kwartal 2,3, dan 4 Tahun 2002 ditunjukkan dalam Tabel 1,2, dan 3.

TABEL-1 : PERKIRAAN PERISTIWA PELUNCURAN KOMERSIAL  
DAN NON-KOMERSIAL (PEMERINTAH) PADA KWARTAL  
2,3,4 TAHUN 2002 (BERDASARKAN DATA YANG  
DIPEROLEH HINGGA MARET 2002)

SEGMENTASI	KWARTAL			JUMLAH PELUNCURAN
	2	3	4	
Komersial	29% (5 kali peluncuran)	43% (13 kali peluncuran)	13% (4 kali peluncuran)	22 kali
Non-Komersial (Program Pemerintah)	71% (12 kali peluncuran)	57% (17 kali peluncuran)	87% (26 kali peluncuran)	55 kali
JUMLAH	17 kali peluncuran	30 kali peluncuran	30 kali peluncuran	77 kali

**TABEL-2 : PERKIRAAN PERISTIWA PELUNCURAN (KOMERSIAL DAN NON-KOMERSIAL) PADA KWARTAL 2,3, DAN 4 OLEH NEGARA-NEGARA (BERDASARKAN DATA YANG**

KWARTAL	NEGARA/KELOMPOK NEGARA									#UMLAH PELUNCURAN
	Amerika Serikat	Rusia	Eropa	China	Israel	Jepang	India	Brasil	Multi nasional	
Kwartal 2	23% (4 kali peluncuran)	41% (7 kali peluncuran)	18% (3 kali peluncuran)	6% (1kali peluncuran)	6% (1 kali peluncuran)	--	--	—	6% (1kali peluncuran)	17 kali
Kwartal 3	27% (8 kali peluncuran)	30% (9 kali peluncuran)	20% (6 kali peluncuran)	10% (3 kali peluncuran)	—	3 % (1 kali peluncuran)	7% (2 kali peluncuran)	—	3% (1kali peluncuran)	30 kali
Kwartal 4	37% (11 kali peluncuran)	30% (9 kali peluncuran)	7% (2 kali peluncuran)	10% (3 kali peluncuran)	-	7% (2 kali peluncuran)	3% (1 kali peluncuran)	3% (1 kali peluncuran)	3% (1kali peluncuran)	30 kali
Jumlah	23 kali peluncuran	25 kali peluncuran	11 kali peluncuran	7 kali peluncuran	1 kali peluncuran	3 kali peluncuran	3 kali peluncuran	1 kali peluncuran	3 kali peluncuran	77 kali

TABEL-3 : PERKIRAAN PERISTIWA PELUNCURAN KOMERSIAL PADA KWARTAL 2,3, DAN 4 OLEH NEGARA-NEGARA (BERDASARKAN DATA YANG DIHIMPUN S J). MARET 2002)

KWARTAL	NEGARA/KELOMPOK NEGARA				JUMLAH PELUNCURAN
	Amerika Serikat	Rusia	Eropa	Multinasional	
Kwartal 2	40% (2 kali peluncuran)	40% (2 kali peluncuran)	–	20% (1 kali peluncuran)	5 kali
Kwartal 3	31% (4 kali peluncuran)	23% (3 kali peluncuran)	38% (5 kali peluncuran)	8% (1 kali peluncuran)	13 kali
Kwartal 4	25% (1 kali peluncuran)	–	50% (2 kali peluncuran)	25% (1 kali peluncuran)	4 kali
<i>Jumlah Peluncuran</i>	<i>7 kali</i>	5 kali	7 kali	3 kali	22 kali

Dengan memperhatikan segmentasi pasar peluncuran wahana antariksa, baik dari uraian maupun yang dinyatakan dalam keseluruhan table tersebut di atas, jelas nampak bahwa laju pertumbuhan peluncuran maksimum bagi wahana peluncur baru adalah jauh di bawah perkiraan keseluruhan peluncuran global. Negara-negara yang telah mempunyai kemampuan serta meluncurkan wahana antariksa, dengan alasan keamanan dan kerahasiaan misi program antariksa pemerintah, diyakini akan tetap cenderung memilih peluncuran wahana antanksa (program pemerintah) dengan menggunakan wahana peluncur dari negaranya, walaupun mungkin hal itu lebih mahal dan penggunaan wahana peluncur negara/pihak lain. Namun demikian, dengan adanya kebutuhan negara-negara yang belum mempunyai kemampuan dan juga dengan semakin berkembangnya bisnis antariksa, pasar peluncuran tetap akan meningkat, walaupun hal itu memerlukan waktu yang lama. Hal ini tentu akan mengakibatkan adanya kompetisi pasar dalam peluncuran antara penggunaan wahana peluncur yang telah ada dan yang baru. Agar kompetisi dapat dimenangkan, maka wahana peluncur baru yang akan dibuat/dikembangkan haruslah dengan biaya yang amat rendah. Biaya wahana peluncur baru dapat saja sangat rendah, tetapi dengan mengingat segmentasi tersebut di atas, para pakar teknologi antanksa dan analist bisnis keantariksaan memperkirakan bahwa pasar yang realistic bagi suatu pasar global, atau 30% dari segmen pasar (tersedia) yang dituju. Secara numerik, suatu wahana peluncur yang baru (tentu dengan biaya yang cukup rendah) tidaklah berlebihan tetapi cukup diharapkan dapat meraup pasar (dan menggunakannya sebagai masukan dalam model biaya wahana peluncur) berkisar antara 10 s.d. 15 peluncuran per tahun. Bahkan, mungkin, kurang dari jumlah tersebut pada beberapa tahun pertama komersialisasi wahana peluncur baru tersebut

Umumnya, para pelaku bisnis berpendapat bahwa kondisi pasar ditentukan oleh persoalan **klasik**—permintaan dan penawaran. Permintaan terhadap suatu wahana peluncur akan meningkat jika biaya turun secara signifikan. Pendapat tersebut benar, namun biaya yang tidak berulang (*nonrecurring cost*) dalam pembuatan setiap wahana peluncur baru adalah cukup mahal, dan karenanya sulit untuk menurunkan harga dalam jumlah besar sebelum adanya permintaan yang cukup besar terhadap wahana peluncur tersebut. Hal itu adalah wajar, karena tidak akan ada organisasi penyandang dana yang tidak berkeinginan untuk memperoleh kembali investasi awal dalam rangka menciptakan permintaan bagi wahana peluncur yang diproduksi dan kompetitif dalam pasar global.

#### 4.2. Perbandingan Wahana Peluncur Ependable Terhadap Wahana Peluncur Reusable

Perbedaan mendasar antara wahana peluncur *Expendable* dan *Reusable* secara singkat dapat dinyatakan seperti dalam Tabel 4. Dengan tidak membuang

perangkat keras atau komponen-komponen tentunya akan dapat menghemat biaya produksi komponen-komponen tersebut yang relatif cukup mahal. Hal inilah yang menjadikan adanya penghematan biaya yang cukup besar yang berkaitan dengan wahana peluncur Reusable. Dengan melihat pada Tabel 4, penggunaan berulang suatu wahana atau bagian-bagian tertentu dari wahana tersebut akan lebih ekonomis jika biaya penemuan (recovering) dan pembaharuan kembali (refurbishment) adalah lebih kecil dari biaya produksi wahana tertentu yang baru setelah dikurangi dengan kurva pembelajaran.

TABEL-4 : PEMBANDINGAN FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH PADA PELUNCURAN ANTARA EXPENDABLE DAN REUSABLE

I WAHANA PELUNCUR		FAKTOR	PENJELASAN
Espendable (Exp)	Reusable (ReU)		
X	X	Amortisasi biaya pengembangan yang tidak berulang (nonrecurring)	Lebih besar bagi ReU disebabkan biaya pengembangan yang tidak berulang lebih besar
X	X	Exp : Biaya produksi yang berulang ReU : Amortisasi Biaya produksi	Exp menggunakan kurva pembelajaran. ReU lebih rumit dan mahal untuk memproduksinya. Amortisasi, dari pada produksi yang berulang, merupakan penghematan utama dalam ReU
	X	Biaya penemuan (kembali)	0 untuk Exp
	X	Biaya pembaharuan (kembali)	Mungkin (dapat) cukup besar bagi ReU, dan 0 bagi Exp
X	X	Operasi peluncuran	ReU terdiri dari sistem-sistem yang lebih rumit dan lebih mahal dalam pemeriksaan dan penemuannya.
X	X	Asuransi wahana peluncur	Tergantung pada biaya penggantian dan keandalan. Exp atau ReU dapat lebih murah.

Dalam kenyataannya, wahana peluncur Reusable jauh lebih mahal dalam pengembangan dan pembuatannya dibandingkan dengan wahana peluncur Expendable. Wahana peluncur Reusable jauh lebih rumit, yaitu lebih banyak komponen dan komponen-komponen ini harus dirancang untuk dapat digunakan beberapa kali. Selain itu, perangkat keras wahana peluncur Reusable secara melekat kurang efisien, pada hal efisiensi adalah salah satu elemen kunci dalam perilaku suatu wahana peluncur. Komponen-komponen wahana peluncur Reusable harus dibuat lebih kuat untuk dapat digunakan beberapa kali peluncuran. Sistem penemuan (kembali) merupakan beban berat (dead weight) selama peluncuran dan sistem peluncuran juga merupakan beban berat selama penemuan (kembali). Akibatnya, perbandingan muatan terhadap berat wahana peluncur akan jauh lebih tinggi (baik) bagi wahana peluncur Expendable dari pada Reusable. Wahana peluncur Expendable yang ada saat ini mengangkut muatan dengan berat sekitar 2% dari berat wahana peluncur. Space Shuttle mempunyai perbandingan hanya 1,1%. Walaupun perbandingan antara wahana peluncur Expendable yang ada saat ini dengan Space Shuttle kurang tepat, karena Space Shuttle adalah wahana peluncur Reusable berawak, namun awak tersebut juga telah mengurangi efisiensi Space Shuttle. Lepas dari Space Shuttle, perbandingan antara berat muatan dan berat wahana peluncur adalah hal yang sangat penting. Hal ini telah mengakibatkan bahwa besarnya fisik wahana peluncur Reusable adalah sekitar 2 kali ukuran wahana Expendable untuk kapasitas peluncuran muatan yang sama.

Selain kurangnya efisiensi yang telah diuraikan di atas, terdapat biaya-biaya tambahan bagi wahana peluncur Reusable. Wahana peluncur Reusable ataupun komponen-komponennya harus ditemukan kembali, diperbaharui dan diuji kembali atau disertifikasi kembali untuk peluncurannya. Lagi pula, hanya kecil atau tidak ada keuntungan kurva pembelajaran, karena hanya sedikit wahana peluncur Reusable yang diproduksi. Biaya penggantian wahana peluncur Reusable juga amat mahal, sehingga perlu membuat wahana peluncur yang lebih andal dalam rangka menjaga biaya asuransi yang tidak mahal. Karenanya, dilihat dari perspektif teknis, di satu sisi sangat perlu untuk meminimumkan batas-batas (margins) dalam wahana peluncur Reusable dalam rangka meningkatkan efisiensi peluncuran sedangkan di sisi lain harus diusahakan untuk meningkatkan keandalan dalam rangka mengurangi kemungkinan kegagalan peluncuran atau, sebagai ekuivalensinya, penurunan biaya asuransi. Jadi, wahana peluncur Reusable secara bersamaan diusahakan meminimumkan margins dan memaksimumkan keandalan. Dengan tidak membuang perangkat keras setelah setiap penggunaannya adalah merupakan keuntungan dan sekaligus kerugian dari wahana peluncur Reusable. Pendekatan penggunaan wahana peluncur Reusable dapat mengamortisasi biaya melalui sejumlah besar peluncuran, tetapi hal itu harus dibayar dengan harga yang tinggi.

### 43. Input Dasar

Semua biaya dalam model ekonomi dinyatakan dalam jutaan dolar dari tahun peluncuran pertama wahana peluncur. Kebanyakan model ekonomi diaplikasikan dengan nilai uang tetap dan mengabaikan inflasi. Pengabaian inflasi sering mengakibatkan pengambilan keputusan kurang tepat yang didasarkan pada luaran (output) model, karena inflasi yang dalam kenyataannya ada mempunyai dampak yang berbeda terhadap wahana peluncur Expendable dan Reusable. Keuntungan terbesar bagi wahana peluncur Reusable akan muncul apabila uang yang dipinjam terkena dengan bunga tetap dan rendah, serta inflasi jauh lebih rendah dari yang diharapkan sehingga pengembalian pembayarannya di masa datang lebih murah dari jumlah yang telah diantisipasi. Bagi model ekonomi wahana peluncur, inflasi sebaiknya diperhitungkan sebesar 3% per tahun.

Dalam model ekonomi ini, wahana peluncur dimaksudkan untuk mempunyai kemampuan untuk meluncurkan muatan (satelit) dengan berat 5.000 kg (medium satellites) ke LEO. Kurva pembelajaran sebesar 87,5% diasumsikan bagi semua komponen wahana peluncur, dan amortisasi selama 15 tahun dengan bunga (interest) sebesar 15% bagi biaya pengembangan yang tidak berulang dan semua item-item lainnya yang diamortisasi.

Dalam aplikasi model ekonomi (1), biaya-biaya wahana peluncur Expendable dan Reusable diasumsikan dengan biaya rendah dan biaya moderat. Yang dimaksud dengan biaya rendah adalah bahwa biaya-biaya untuk pengembangan dan wahana adalah rendah, yang tentunya mengakibatkan biaya-biaya operasi, pembaharuan (kembali) dan asuransi pada tingkat yang moderat. Biaya moderat diartikan dengan biaya-biaya pengembangan dan wahana pada tingkat yang moderat.

Berdasarkan pengalaman negara-negara ataupun industri-industri yang telah dan sedang melakukan ataupun merencanakan pengembangan dan pembuatan wahana peluncur baik Expendable ataupun Reusable, input biaya dasar bagi model ekonomi biaya rendah dan biaya moderat dapat dinyatakan seperti dalam Tabel-5.

TABEL-5 : INPUT BAGI PEMBANDINGAN BIAYA ANTARA  
WAHANA PELUNCUR EXPENDABLE DAN  
WAHANA PELUNCUR REUSABLE

Dalam US\$ Jutaan

KOMPONEN INPUT BIAYA	Reusable Biaya Rendah	Reusable Biaya Moderat	Expendable Biaya Rendah	Expendable Biaya Moderat
Pengembangan Yang tidak Berulang	\$ 1000	\$6000	\$250	\$1000
Biaya .Wahana TFU	\$300	\$1000	\$ 15	\$50
Peluncuran Per Wahana Peluncur	100	200	1	1
TFU Untuk Operasi Peluncuran	\$5	\$1	\$2	\$1
Penemuan Sebagai Prosentase (%) dari Operasi	20%	10%	-	—
Pembaharuan TFU sebagai Prosentase (%) dari Wahana	2%	0,5 %	—	-
Kurva Pembelajaran Pembaharuan	115%	105 %	-	-
Asuransi	1,5 %	0,3 %	15%	8%

*Keterangan*

*Inflasi diasumsikan sebesar 3 %. Semua wahana peluncur mempunyai kemampuan meluncurkan muatan seberat 5.000 kg ke LEO. Amortisasi selama 15 tahun atau 15 % per tahun. Kurva pembelajaran sebesar 87,5 % dalam dolar yang tetap.*

#### 4.4. Biaya dan Laju Besarnya Permintaan Peluncuran

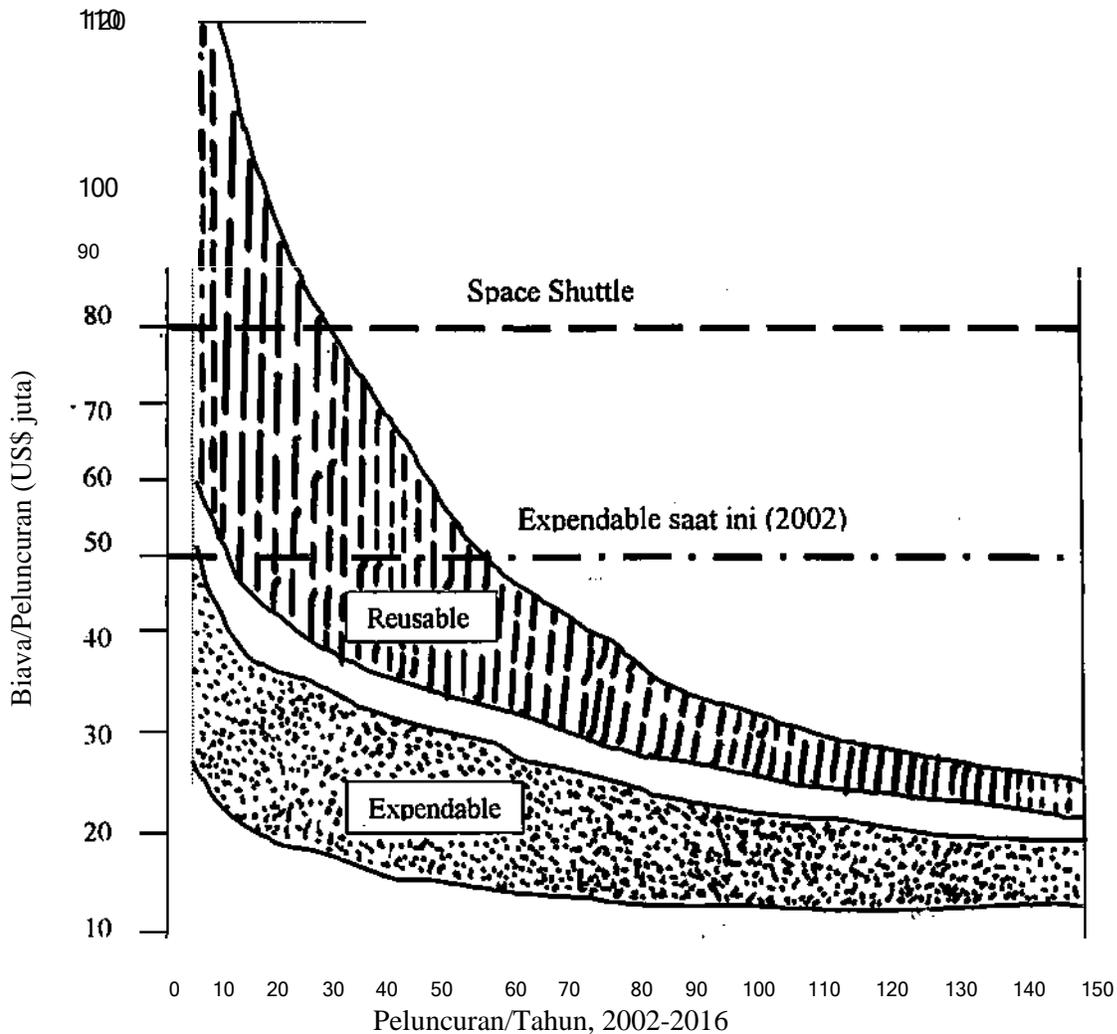
Dalam rangka untuk mengetahui peran dari pengurangan biaya dalam jangka pendek dan jangka panjang dan untuk membandingkan wahana peluncur Expendable terhadap wahana peluncur Reusable, akan digunakan model ekonomi (1) dengan segala deskripsinya yang telah dikemukakan dan input dasar pada butir 4.3. tersebut di atas. Sebagaimana telah diuraikan dalam butir 4.1. (Pasar Peluncuran), laju besarnya peluncuran adalah faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan/memperkirakan biaya jangka panjang. Berikut ini akan diuraikan luaran (outputs) dari model yang berkaitan dengan biaya per peluncuran sebagai fungsi dari laju besarnya peluncuran.

Dengan menggunakan input biaya dalam butir 4.3., setiap wahana peluncur (Expendable dan Reusable) diasumsikan mampu menempatkan 5.000 kg ke LEO, amortisasi 15 % per tahun (~ 15 tahun, 2002-2016), dan inflasi 3 % per tahun, maka model ekonomi (1) akan memberikan luaran bagi wahana peluncur Expendable dan Reusable yang berkaitan dengan biaya per peluncuran sebagai fungsi dari laju besarnya peluncuran rata-rata selama 15 tahun dapat ditunjukkan, secara numerik untuk 10,100, dan 1000 peluncuran per tahun seperti dalam Tabel-6, sedangkan secara grafis seperti dalam Gambar-1.

TABEL-6 : BIAYA PER PELUNCURAN DILIHAT DARI BESARNYA PELUNCURAN PER TAttUN

Jumlah Peluncuran Per Tahun	Dalam USSjuta			
	Expendable		Reusable	
	Biaya Rendah	Biaya Moderat	Biaya Rendah	Biaya Moderat
10	10.73	34.56	39.77	103.72
100	5.05	14.80	18.15	22.32
1000	3.05	8.76	10.91	9.90

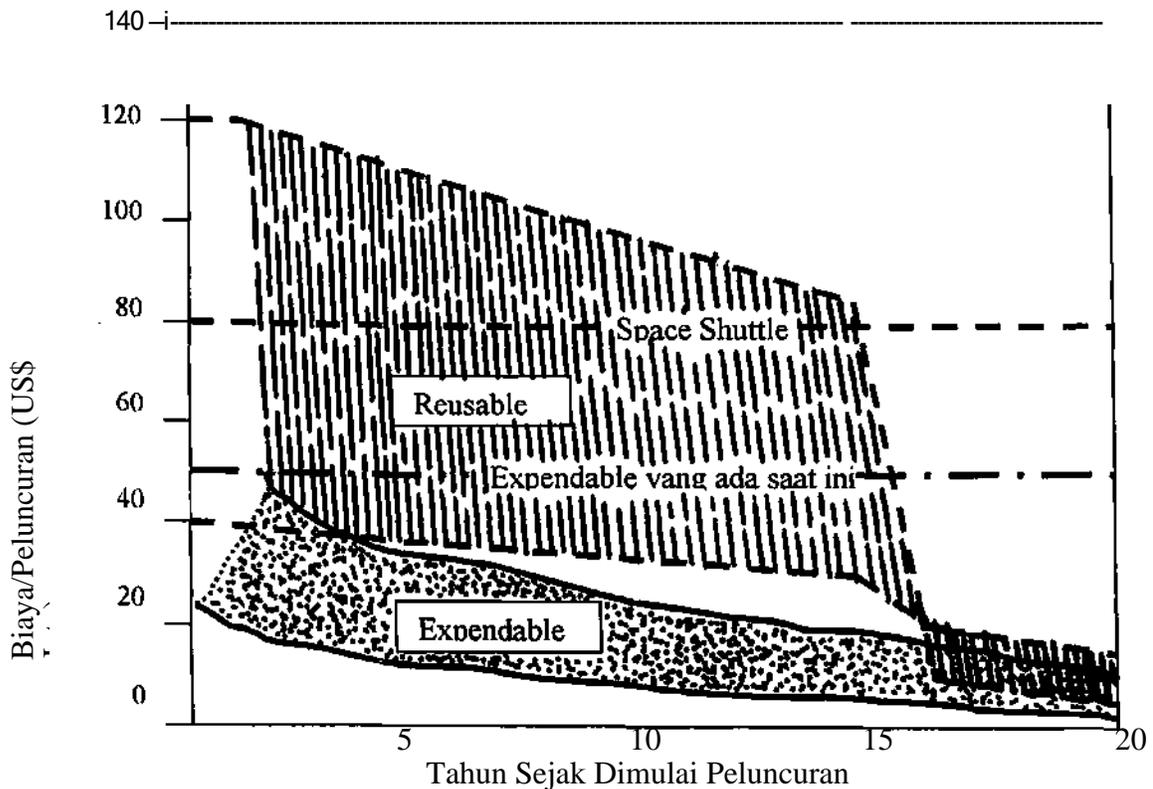
*Keterangan* Biaya rata-rata per peluncuran bagi Reusable Biaya Rendah (US\$ 10.91) lebih besar dari biaya rata-rata per peluncuran bagi Reusable Biaya Moderat (US\$ 9.90) disebabkan biaya pembaharuan (rejuvenation) wahana peluncur Reusable Biaya Rendah yang jauh lebih besar (hampir 2 kali lipat) dari biaya pembaharuan wahana peluncur Reusable Biaya Moderat.



GAMBAR-1 : BIAYA PELUNCURAN SEBAGAI FUNGSI DARI BESARNYA PELUNCURAN PER TAHUN

Berdasarkan parameter - parameter input dalam Tabel-5. dan hasil yang ditunjukkan dalam Tabel-6 dan Gambar-1, maka dalam perioda 15 tahun (amortisasi) di mana laju peluncuran yang diharapkan berkisar antara 10 s.d. 15 peluncuran per tahun, biaya untuk peluncuran wahana peluncur Expendable yang baru berkisar dari US\$ 10 juta s.d. US\$ 35 juta, untuk mana pada saat ini (2001) biaya peluncuran wahana peluncuran Expendable sejenis itu sekitar US\$ 50 juta. Sedangkan biaya peluncuran wahana peluncur Reusable berkisar dari US\$ 35 juta s.d. US\$ 90 juta (sebagai penyesuaian dari US\$ 39.77 juta s.d. US\$ 103.72 juta

untuk 10 peluncur per tahun yang dinyatakan dalam Tabel-6). Saat ini, biaya peluncuran Space Shuttle sebesar US\$ 400 juta dengan berat muatan 25.000 kg, jadi US\$ 80 juta untuk muatan 5000 kg (berada dalam range US\$ 35 juta s.d. US\$ 90 juta). Jika laju besarnya peluncuran meningkat dalam kurun waktu 15 tahun, secara grafis model ekonomi (1) dengan parameter input seperti dalam Tabel-5 akan menunjukkan biaya per peluncuran akan turun secara tajam yaitu menjadi US\$ 5 juta s.d. US\$ 20 juta bagi wahana peluncur Expendable, dan US\$ 15 juta s.d. US\$ 20 juta bagi wahana peluncur Reusable. Penurunan biaya peluncuran secara tajam akan dicapai pada saat jumlah peluncuran lebih dari 100 kali dan setelah berlangsung 15 tahun. Setelah itu penurunan hanya akan berlangsung secara landai, di mana biaya peluncuran bagi wahana peluncur Reusable Biaya Moderat akan berbalik menjadi lebih kecil dari biaya peluncuran wahana peluncur Reusable Biaya Rendah (sebagaimana juga telah ditunjukkan dalam Tabel-6). Secara grafis, biaya per peluncuran sebagai fungsi dari tahun beroperasinya wahana peluncur, di mana laju besarnya peluncuran per tahun lebih besar dari 100 kali ditunjukkan dalam Gambar-2.



GAMBAR-2 : BIAYA PELUNCURAN WAHANA PELUNCUR  
EXPENDABLE DAN REUSABLE DALAM PERJALANAN  
WAKTU, DENGAN LAJU BESARNYA PELUNCURAN  
LEBIH DARI 100 KALI PELUNCURAN PER TAHUN

Model ekonomi (1) yang telah ditransformasikan secara grafis seperti ditunjukkan dalam Gambar-2, nampak dengan jelas bahwa akan terjadi tumpang tindih biaya peluncuran antara wahana peluncur Expendable dan Reusable setelah 15 tahun beroperasi dan laju besarnya peluncuran untuk masing-masing wahana peluncur lebih besar dari 100 kali per tahun. Dalam hal tumpang tindih ini, wahana peluncur Reusable Biaya Moderat yang menghabiskan dana awal yang sangat besar akan menjadi lebih murah peluncurannya dibandingkan dengan wahana peluncur wahana peluncur Expendable Biaya Moderat. Akan tetapi, biaya peluncuran wahana peluncur Expendable Biaya Rendah tetap lebih murah dari wahana peluncur Reusable Biaya Rendah.

Meningkatnya jumlah permintaan peluncuran terhadap wahana peluncur, baik Expendable ataupun Reusable, jelas akan dapat menurunkan biaya peluncuran bagi wahana-wahana peluncur tersebut. Namun, secara ekonomi, agar wahana peluncur Reusable dapat bersaing dengan wahana peluncur Expendable, diperlukan permintaan peluncuran yang sangat besar. Persoalan yang timbul sekarang adalah kondisi pasar peluncuran sebagaimana diuraikan dalam butir 4.1.. di atas. Walaupun para pakar teknologi antariksa dan analist ekonomi keantariksaan memperkirakan akan terus berlangsung peningkatan peluncuran dengan kenaikan rata-rata 18% setiap tahunnya, permintaan peluncuran selama 15 tahun sejak pengoperasian, di mana setiap tahunnya paling sedikit 100 kali peluncuran adalah hal yang sulit dipenuhi hingga dekade kedua abad ini. Upaya-upaya dari negara-negara tertentu, seperti Amerika Serikat, Rusia, Perancis, Jerman, Inggris, Jepang, dan China dalam pengembangan/pembuatan berbagai jenis wahana peluncur Reusable yang berlangsung saat ini tidak semata-mata didasarkan pada pertimbangan ekonomi, tetapi lebih ditujukan untuk kepentingan misi lain, seperti untuk pertahanan dan keamanan, dan untuk mempertahankan diri sebagai “leading” dalam teknologi antariksa. Negara/pihak pengguna jasa peluncuran, dengan semakin meningkatnya terus keandalan wahana peluncur Expendable dan dengan pertimbangan biaya peluncuran yang lebih murah, sudah tentu masih akan memilih wahana peluncur Expendable di masa datang (paling sedikit s.d. akhir dekade kedua abad ini).

## **5. KESIMPULAN**

Umumnya wahana peluncur Expendable masih akan terus mempunyai keuntungan ekonomi yang lebih besar dibandingkan dengan wahana peluncur Reusable apabila permintaan peluncuran terhadap wahana-wahana peluncur tersebut belum mencapai peluncuran lebih dari 100 kali per tahun. Aplikasi model ekonomi biaya peluncuran menunjukkan, apabila peluncuran telah berlangsung 15 tahun dan besarnya peluncuran lebih dari 100 kali setiap tahunnya, biaya peluncuran wahana peluncur Expendable akan turun dengan faktor 5 s.d. 10.

Begitu juga halnya, biaya peluncuran wahana peluncur Reusable yang baru akan lebih murah dari Space Shuttle, atau menjadi lebih murah dengan taktor 2 s.d. 3.

Wahana peluncur Reusable mempunyai suatu keuntungan biaya terutama dalam biaya wahana secara langsung. Keuntungan lainnya yang cukup besar dan wahana peluncur Reusable ialah bahwa tidak perlu membuat wahana peluncur baru setiap kali setelah peluncuran.

Wahana peluncur Expendable mempunyai keuntungan biaya pada hampir parameter input biaya. Lebih spesifik keuntungan tersebut, meliputi:

semua

Wahana peluncur Expendable nampaknya masih lebih murah dalam beberapa dekade ke depan;

- Biaya penemuan kembali (recovery) dan pembaharuan (refurbishment) tidak ada, begitu juga biaya operasi dan asuransi relatif tidak besar;
- Dilihat dari biaya produksi wahana peluncur ( $C_w$ )» wahana peluncur Reusable mempunyai tingkat risiko yang lebih tinggi, karenanya wahana peluncur Reusable harus mempunyai keandalan yang lebih signifikan;
- Operasi peluncuran wahana peluncur Expendable tidak begitu rumit.

Selain kelemahan wahana peluncur Reusable dibandingkan dengan wahana peluncur Expendable di atas, wahana peluncur Reusable menanggung beban biaya, seperti:

- . Semua biaya-biaya wahana peluncur sudah harus di bayar dimuka sebelum pemasukan diperoleh;
- Wahana peluncur Reusable jauh lebih rumit dan menantang dalam pengembangannya, yaitu:
  - ❖ Wahana peluncur Reusable yang pertama harus sukses dalam peluncurannya;
  - ❖ Di satu sisi perlu meminimumkan “mass fraction”, sementara di sisi lain perlu memaksimumkan keandalan wahana peluncur,
  - ❖ Produksi (pembuatan) yang kontinu wahana peluncur Reusable nampaknya tidak akan terjadi.

Keuntungan yang mendasar dari wahana peluncur Reusable adalah (i) tidak membuang wahana peluncur setelah penggunaannya, disebut keuntungan filosofis dan (ii) mempunyai keandalan yang sangat tinggi, disebut keuntungan psikologis. Model ekonomi biaya peluncuran menunjukkan bahwa sebaiknya pengambil keputusan tidak terjebak dalam keuntungan filosofis dan psikologis tersebut. Pengambil keputusan dalam memilih pengembangan wahana peluncur Expendable atau Reusable hendaknya mendasarkan pilihan pada solusi ekonomi yang terbaik.

Indonesia, dilihat dari fasilitas, keahlian (expertises-SDM), dan kemampuan pendanaan, nampaknya belum akan mengembangkan/membuat wahana peluncur Expendable apalagi Reusable dalam dekade ini. Sementara ini, Indonesia sebagaimana telah berlangsung sejak tahun 1976 akan menggunakan jasa peluncuran yang ditawarkan oleh negara/pihak lain. Namun demikian, model ekonomi biaya yang telah dikemukakan juga sangat bermanfaat dalam menentukan pilihan terhadap wahana peluncur yang ditawarkan oleh negara/pihak lain untuk peluncuran satelit-satelit Indonesia di masa datang, tentunya dengan memahami semua parameter input yang menjadi dasar penentuan harga peluncuran (launch price) dari wahana peluncur tersebut.

#### DAFTAR RUJUKAN

1. Dietrich E. Koelle, *Cost Engineering-The New Paradigm for Space Launch Vehicle Design*, Journal of Reducing Space Mission Cost, 1998 Vol. 1, No.1, Dordrecht, The Netherlands : Kluwer Academic Press.
2. Earl K. Bowen, *Mathematics with Applications in Management and Economics*, Irwin Series in Quantitative Analysis for Business, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1976.
3. *Expendable Launch Vehicles*, Copyright 2001-Andrews Space & Technology, Andrews Space & Technology Privacy Statement <http://www.spaceandtech.com/spacedata/elvs/elvs.shtml>
4. Federal Aviation Administration, 2002 *U.S. Commercial Space Transportation Developments and Concepts : Vehicles, Technologies, and Spaceports*, Associate Administrator for Commercial Space Transportation, Federal Aviation Administration, January 2002, <http://ast.faa.gov/files/pdfnewtech.pdf>

5. *Featuring the Launch results from the T<sup>d</sup> quarter 2002 and forecasts for the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> quarters 2002*, Commercial Space Transportation, Quarterly Launch Report, United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington, D.C.,  
<http://astfaa.gov/files/Ddf/3q2k2qlr.PDF>
6. James R. Wertz, Wiley J. Larson, *Reducing Space Mission Cost*, Torrance, CA (USA) and Dordrecht, The Netherlands : Microcosm Press and Kluwer Academic Press, 1996
7. James R. Wertz, Wiley J. Larson, *Mission Analysis and Design : Cost Modeling*, Torrance, CA (USA) and Dordrecht, The Netherlands : Microcosm Press and Kluwer Academic Publishers, 1999.
8. John R. London, *LEO on the Cheap-Methods for Achieving Drastic Reductions in Space Launch Costs*, Maxwell Air Force Base, AL : Air University Press, 1994.
9. Louis M. Kraft, *Engineering Economy : A Manager's Guide to Economic Decision Making*, American Telephone and Telegraph Company, McGraw-Hill Book Company, 1973.
10. Martin R. Stytz, Sheila B. Banks, *Modeling the Cost of Alternative Spacecraft Launch Technologies*,  
<http://ms.ie.org/SrW LOG/OOF-SIW-OQ2.doc>
11. Michael J. Muolo, AU-18 (Air University Press, Maxwell Air Force Base), *Space Handbook-A War Fighter 's Guide to Space*, Volume One, Alabama, USA, December 1993,  
<http://www.fas.org/spp/military/docops/usaiyaul8/index.html>: part 00.htm; part 01.htm; part 02.htm; part 03.htm; part 04.htm; part 05.htm; part 06.htm
12. Peter A. Tdylor, *Why are Launch Costs So High?*, March 2000,  
<http://www.ghg.net/redflame/launch.htm>
13. *Reusable Launch Vehicles*, Copyright 2001-Andrews Space & Technology, Andrews Space & Technology Privacy Statement  
<http://www.spaceandtech.com/sDacedata/rlvs/rlvs.shtml>

14. Victor Zaborsky, *Economic vs Nonproliferation : US Launch Quota Policy Toward Russia, Ukraine, and China*, The Nonproliferation Review/Fall-Winter 2000, <http://cns.miis.edu/pubs/npr/vol07/73/73zabor.pdf>
15. Walter E. Hammond, *Space Transportation : A System Approach to Analysis and Design*, Reston, VA: AIAA, 1999.