

StarRoad: ringkasan eksekutif

StarRoad adalah konsep koridor transportasi elektromagnetik kelas superberat dari Bumi ke antariksa. Gagasannya sederhana: alih-alih membawa propelan peluncuran di dalam roket, wahana ulang-alik yang dapat digunakan kembali dipercepat hingga sekitar 11 km/s di dalam **terowongan** maglev vakum bawah tanah **sepanjang** kira-kira 2.050 km. AstroLiner yang berat kemudian menembus atmosfer dengan inersia dalam 50–60 detik dan memasuki lintasan berenergi tinggi tanpa menjadikan orbit Bumi rendah sebagai persinggahan. Bagi StarRoad, massa adalah keunggulan, bukan masalah.

Proyek ini tidak ditujukan untuk peluncuran pemecah rekor yang jarang terjadi, melainkan untuk arus kargo berkelanjutan: pembangkit listrik orbital, pusat data, kapal tunda antarorbit, galangan kapal, infrastruktur Bulan, penambangan asteroid, dan kompleks industri besar.

Parameter utama

- Panjang akselerator: **~2.050 km**.
- Penampang terowongan akselerasi: **~17,5 × 12,5 m (elips)**.
- Kedalaman maksimum terowongan vakum: **5–8 km**.
- Gerbang keluar: sekitar **3.400 m** di atas permukaan laut.
- Kecepatan keluar: **~11 km/s**.
- Dimensi dan geometri AstroLiner: panjang **~150 m**; penampang elips **~10 × 15 m**; bentuk **baji hipersonik**.
- Massa peluncuran AstroLiner: **~15.000 t**.
- Muatan acuan: hingga **~10.000 t**.
- Operasi awal: 12–24 **peluncuran per tahun**.
- Operasi matang: lebih **dari 1.000 peluncuran per tahun**, kemudian lebih **dari 1.500**.
- Biaya peluncuran fase percontohan: **US\$80–120/kg**.
- Sasaran biaya fase matang: **US\$1–10/kg**, **berpotensi** lebih rendah seiring perluasan jaringan.
- Perkiraan CAPEX: sekitar **US\$300 miliar**.

Perbedaan utama dari roket adalah bahwa StarRoad merupakan infrastruktur, bukan “roket besar”. Seperti jalur kereta api atau jaringan listrik, pembangunannya mahal, tetapi dirancang untuk digunakan berulang kali dan terus meningkatkan kapasitas.

Masalah yang diatasi StarRoad

Kendala utama ekonomi antariksa bukan hanya biaya per kilogram, tetapi juga kapasitas **angkut. Roket mungkin** menjadi lebih murah, tetapi tetap beroperasi sebagai peluncuran terpisah dengan muatan terbatas, persiapan rumit, serta ketergantungan pada propelan, lokasi peluncuran, dan logistik.

StarRoad mengatasi beberapa masalah sekaligus:

1. **Arus kargo berskala** besar — ribuan ton per perjalanan, bukan puluhan atau ratusan ton.
2. **Tanpa propelan peluncuran di dalam wahana** — energi akselerasi tetap berada di darat.
3. **Akses langsung ke orbit tinggi** — tanpa pengisian bahan bakar, penyandaran, atau penundaan dari orbit Bumi rendah.
4. **Pengembalian investasi berbasis infrastruktur** — proyek tidak harus bergantung semata-mata pada pasar peluncuran.
5. **Realisme teknologi** — berbasis solusi teknologi yang sudah ada.

Kemandirian yang ditopang energi

StarRoad mencakup SOTEG — Sistem Otonom Termal-Energi Geotermal. Sistem ini sekaligus mendinginkan terowongan dalam, menstabilkan kondisi termalnya, dan menghasilkan listrik. Empat puluh terminal berdaya sekitar 2,5 GW **masing-masing** dapat menyediakan total sekitar 100 GW. Penjualan listrik tersebut dengan tarif infrastruktur akan menciptakan sumber pendapatan tersendiri **senilai puluhan miliar dolar per tahun**.

Siklus energi kedua terdiri atas pembangkit listrik tenaga surya berbasis antariksa. Satu peluncuran dapat mengirimkan pembangkit kelas ~2 **GW yang**, dengan ketersediaan tinggi, menghasilkan sekitar 17,5 **TWh per tahun**. Hal ini menciptakan pasar bagi peluncuran itu sendiri dan sumber pendapatan energi tambahan.

Perbandingan dengan alternatif

Konsep	Masalah utama	Perubahan yang dibawa StarRoad
Roket kimia / Starship	Konsumsi propelan, tahapan, pengisian bahan bakar, kapasitas terbatas, dan logistik mahal di luar orbit Bumi rendah	Akselerasi diberikan oleh sistem stasioner; setiap perjalanan mengangkut ribuan ton ke orbit tinggi
StarTram Gen2	Tabung vakum di atmosfer, lintasan yang digantung, jendela plasma, dan struktur eksternal yang ekstrem	Lintasan utama berada di bawah tanah; batuan di sekeliling melindungi vakum; keluarnya melalui gerbang darat di dataran tinggi
Launch Loop	Simpul dinamis aktif, stabilisasi terus-menerus, dan risiko kegagalan yang memengaruhi seluruh struktur	Infrastruktur bawah tanah yang terlindungi secara pasif; operasi berdenyut, bukan penopang aktif berkelanjutan
Lift antariksa	Batas material tambatan, panjang yang luar biasa, kerentanan terhadap sampah antariksa dan meteoroid, serta arus kargo yang lambat	Tidak memerlukan material super; menggunakan terowongan, maglev, sistem energi, dan rekayasa berat
Skyhook / tambatan orbital	Roket tetap diperlukan untuk mencapai titik pencegatan; frekuensi terbatas dan dinamika orbit yang rumit	StarRoad secara langsung menciptakan arus kargo berat berskala besar menuju orbit berenergi tinggi
SpinLaunch	Beban akselerasi sangat besar, muatan kecil, dan memerlukan tahap atas roket	StarRoad dirancang untuk muatan superberat dan struktur besar yang sudah lengkap
Cincin orbital	Kapasitas berpotensi tinggi, tetapi memerlukan industri antariksa yang sudah matang	StarRoad dapat menjadi infrastruktur transisi yang membentuk industri tersebut

Keunggulan utama

Keunggulan utama StarRoad adalah kapasitas **angkut yang dapat ditingkatkan**. Hampir setiap alternatif selain cincin orbital kalah dari StarRoad khususnya dalam volume massa yang dapat dipindahkan. Sekalipun roket menjadi lebih murah, roket hampir tidak mungkin beralih dari “peluncuran” satu per satu menjadi arus berkelanjutan jutaan ton per tahun. Sejak awal StarRoad dirancang sebagai koridor industri: mahal pada awalnya, kemudian mandiri, dan pada tahap matang menjadi landasan ekonomi antariksa.