

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Diskursi dari *World Building Speculative* yang Muncul di Berbagai Media

Konsep *world-building* spekulatif biasa ditemukan di banyak media seperti film dan game, yang ditampilkan melalui fiksi ilmiah sebagai representasi visual (“Design Fiction,” 2022) untuk membayangkan bagaimana suatu konsep yang tidak nyata, melalui dekonstruksi dan ekstrapolasi elemen-elemen di dunia saat ini menjadi suatu alternatif dan spekulasi. yaitu kemungkinan *‘futurizable’ world*. Hal ini memberikan inovasi ilmiah yang nyata sepanjang sejarah melalui fiksi sains. (Boni, 2017)

World-building tersendiri merupakan design fiksi secara keseluruhan latar belakang penggambaran keadaan dunia tanpa hubungan yang melekat dengan 'narasi' atau *‘storytelling’*. (RTD Conference et al., 2019) Namun justru *world-building* tersebut dapat menghasilkan berbagai macam narasi dan storytelling dengan latar belakang dan fokus yang berbeda namun tetap berada di dunia, dengan aturan, pondasi, dan sistem yang sama. (Templin Institute, 2023)

2.1.1. *World-Building* dalam Media Entertainment

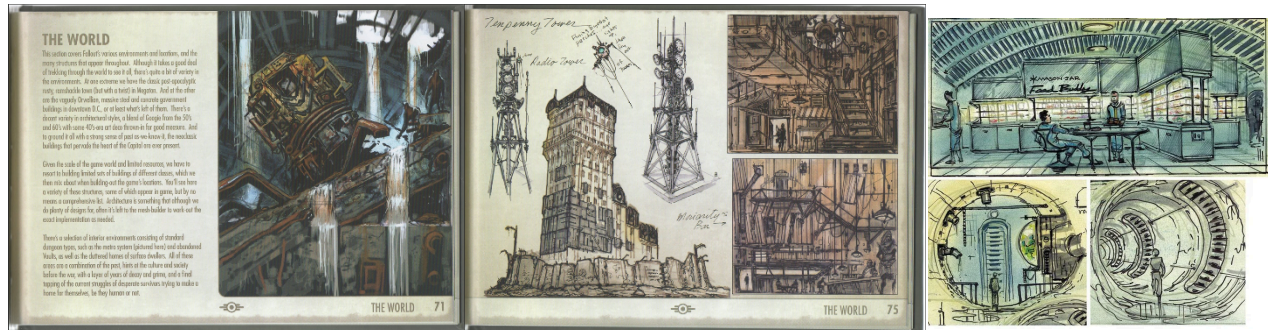
World building spekulatif dalam media film atau game direpresentasikan melalui penggambaran atmosphere (*intangible*) dan juga representasi visual (*tangible*) yang dapat memberikan batasan bersifat blur untuk menghubungkan dunia di dalam film dengan dunia nyata (Boni, 2017) melalui properti *physical fiction*, sebagai prototipe untuk menyampaikan imajinasi yang belum cocok/relevan dengan dunia hari ini (Dunne & Raby, 2013, p. 92), kedua representasi secara *tangible* dan *intangible* ini juga biasanya terdapat pada medium penyampaian konsep seperti narasi seperti: fiksi, screenplay, storyboard, games, fenomena pop kultur, dari media kreatif lain (Mitrović et al., 2021).

Dari medium-medium untuk penyampaian konsep tersebut dapat digambarkan menjadi satu dokumen untuk mendireksi kemana arah representasi visual dari cinematic, gameplay, dan ceritanya, yaitu melalui *art direction* berfungsi sebagai dokumen dasar untuk world building,

Art direction/art bible focusing on the visual representation of the universe in which stories unfold, rather than the narratives themselves. It defines the aesthetic and thematic elements that guide artistic decisions throughout a project. (2022)

.Dokumentasi ini mencakup karya seni yang mengilustrasikan tema utama, lingkungan, dan desain karakter. Dokumentasi visual ini membantu memastikan bahwa *art direction* ini memiliki arah yang jelas untuk proyeksi antara realitas dan fiksi melalui '*Physical Fiction*' yang memiliki bentuk fisik ataupun hanya secara 2D saja.

2.1.2. Arsitektur, Bangunan, dan Teknologi: Representasi Konsep World-Building



Gambar 2. 1 Concept art book sebagai representasi visual dan *art direction*

Sumber: Bethesda (2008)

Dalam *art direction* tersebut dunia di dalam game "*Fallout 3*"(2008) direpresentasikan secara spekulatif dengan membuat dunia yang memiliki alternatif sejarah manusia jika di tahun 1950 sudah mencapai titik futuristik pasca perang nuklir. Dalam concept book game tersebut *art direction* disampaikan dengan tujuan untuk menyampaikan pesan imajinasi dari konsep dunia yang dibuat melalui beberapa aspek:

- *Architecture as a Reflection of the Universe*
- Arsitektur dalam *Fallout 3* yang memiliki genre *science fiction* spekulatif yang digambarkan melalui lingkungan bangunan dan budaya *vault dwellers* yang berlindung di bawah tanah dengan kondisi pasca kiamat nuklir,
- *Use of Building Materials*
- Pemilihan bahan bangunan sebagai identitas visual dunia spekulatif. Dalam skenario di mana sumber daya tradisional tidak tersedia, seperti pohon atau batu, penduduk mungkin mendaur ulang bahan dari lingkungan sekitar
- *Technology Integration*
- Teknologi memainkan peran penting dalam membentuk lanskap visual proyek spekulatif. Teknologi yang digunakan sering kali diambil dari sumber-sumber yang sudah ada yang diekstrapolasi, sehingga menghasilkan perpaduan yang khas antara estetika lama dan baru.

Konsep pembuatan latar dunia game *Fallout 3* ini sejalan dengan trend masa keemasan sains fiksi(1930-an hingga 1950-an), dengan penulis seperti Isaac Asimov, Robert A. Heinlein, dan Arthur C. Clarke menghasilkan karya-karya klasik yang masih relevan

hingga kini. Unsur-unsur spekulatif muncul dalam berbagai bentuk *science fiction*, yang secara historis telah membayangkan teknologi masa depan dan dampak sosialnya. Sebagai contoh, genre ini telah membayangkan perangkat komunikasi jauh sebelum perkembangannya yang sebenarnya, seperti telepon video, yang pertama kali digambarkan dalam episode The Jetsons 9 (1962). Secara keseluruhan, ide-ide spekulatif lazim ditemukan dalam literatur, televisi, dan film, di mana mereka berfungsi sebagai dasar untuk mengeksplorasi kemungkinan masa depan dan perubahan sosial.



Gambar 2. 2 Perkembangan teknologi, yang berawal dari spekulasi (kiri), prototipe (tengah), dan perwujudan utuh menjadi teknologi terbaru (kanan)

Sumber: Film *The Jetsons*(1962), *Vintage Video Phone*, *Zara*(1950), *Video Call*

Maka dari itu unsur spekulatif dalam penggambaran *world-building* yang muncul di berbagai media menjadi penting dalam peran sebagai landasan bagi imajinasi manusia tentang masa depan. Fiksi ilmiah tidak hanya menghibur, tetapi juga berfungsi sebagai laboratorium pemikiran untuk mengeksplorasi kemungkinan-kemungkinan masa depan dan dampaknya terhadap masyarakat. Fenomena *media convergence* yang menyatukan berbagai media seperti film, game, dan teknologi digital semakin memperkuat peran fiksi ilmiah sebagai pendorong inovasi. Dengan demikian, bukan hanya industri teknologi, pasar, sosial, politik, dan ideologi yang dapat berkembang pesat, tetapi juga arsitektur dan bidang kreatif lainnya. Arsitektur pun dapat menjadi katalisator perubahan, membentuk prevensi masa depan dan merespons tantangan serta peluang yang muncul seiring dengan perkembangan zaman.

2.2. Desain Spekulatif

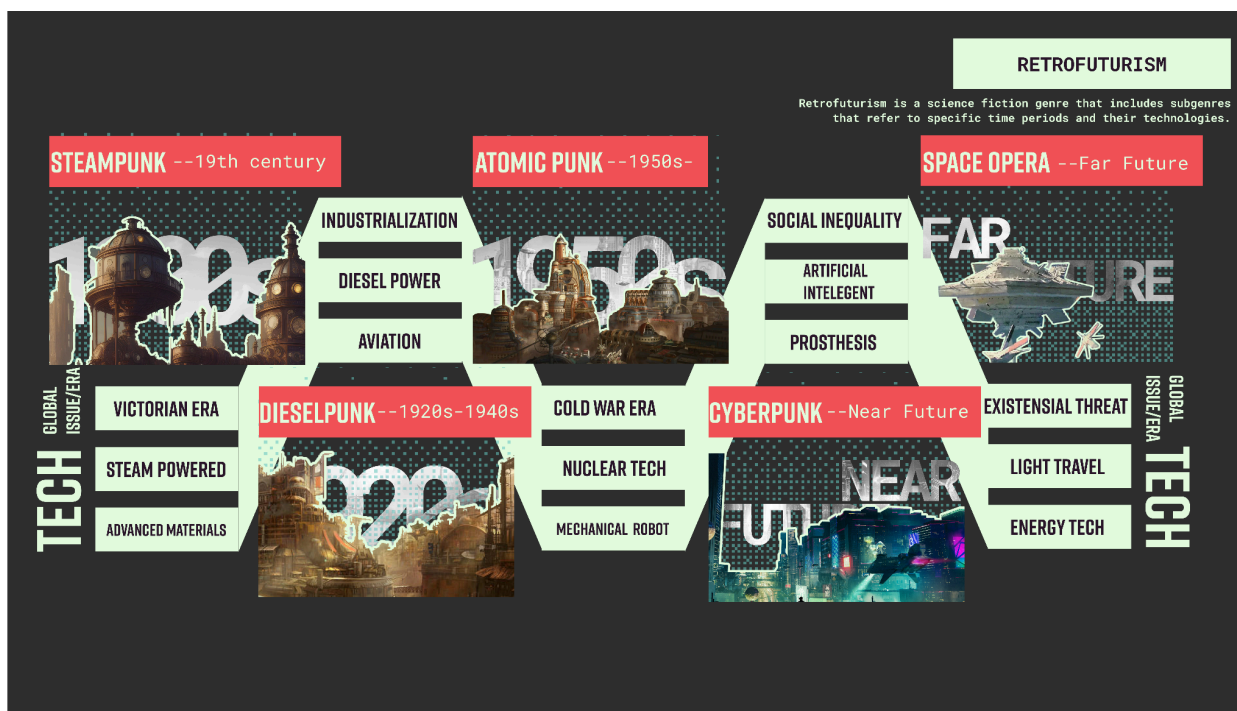
Alam semesta dunia yang mungkin berkembang dengan cepat, didorong oleh kreativitas tanpa henti dari pikiran dan tangan manusia yang dikatakan oleh Doležel dalam karya “Heterocosmica: fiction and possible worlds”(1998). Dalam karya tersebut Doležel juga menyarankan jika kita ingin mengalihkan fokus desain dari masa kini ke masa depan, kita harus menyelidiki budaya spekulatif dan merangkul “laboratorium eksperimental” untuk membangun dunia. Spekulasi berakar pada imajinasi, kemampuan kita untuk membayangkan realitas alternatif. Seperti yang ditunjukkan Keith Oatley dalam *As Stuff as Dreams* (2011), imajinasi adalah pintu gerbang menuju abstraksi, yang memungkinkan kita untuk membayangkan berbagai alternatif, mengevaluasi berbagai kemungkinan, dan merencanakan masa depan. Imajinasi

bahkan memungkinkan kita untuk berpikir secara etis. Ada berbagai jenis imajinasi, termasuk imajinasi gelap, orisinal, sosial, kreatif, dan matematis. Di antara semua itu, imajinasi desain memiliki arti penting, karena imajinasi ini membentuk pemahaman kita tentang dunia dan memandu kita untuk menciptakan berbagai kemungkinan baru.

2.2.1. Masa lalu –Masa kini –dan Masa Depan

Dengan mempelajari masa lalu, masa kini, dan masa depan terhadap desain spekulatif, sebuah praktik kreatif yang membayangkan masa depan alternatif, menjadi semakin relevan di dunia yang berubah dengan cepat saat ini. Dengan mengeksplorasi masa lalu, masa kini, dan masa depan, desain spekulatif menawarkan wawasan berharga tentang kekuatan yang membentuk masyarakat kita dan jalur potensial untuk perubahan.

Adanya perubahan dalam praktik design spekulatif melihat dari peristiwa dan gagasan historis, memeriksa agenda sosial, budaya, dan politik sebagai bentuk dari refleksi masa depan dengan masa lalu“echo of the past in the future; a reflex from the future on the past.”(Mitrović et al., 2021)

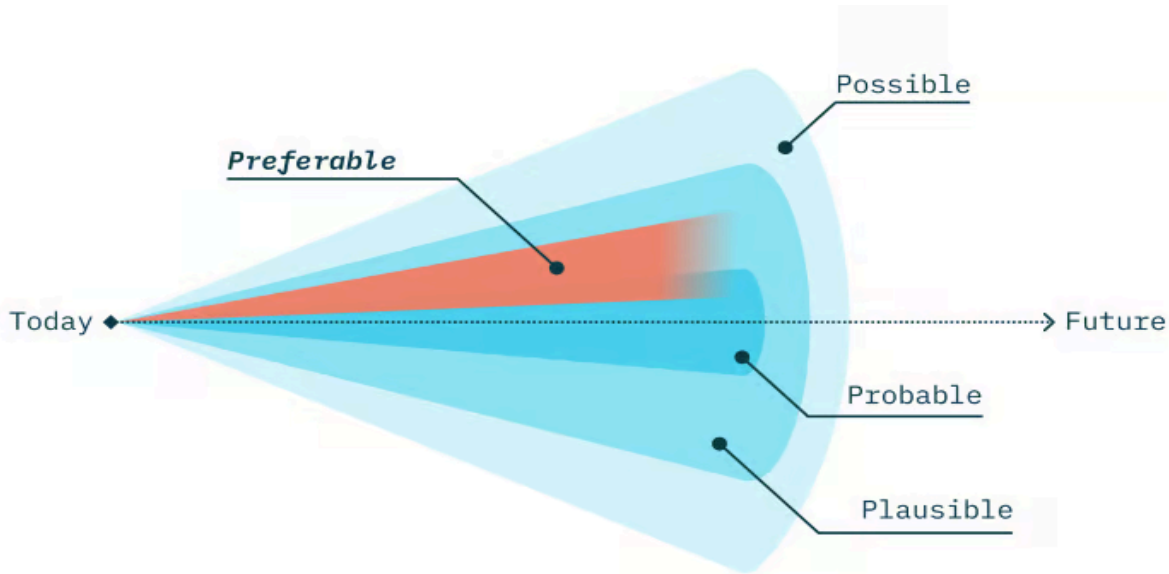


Gambar 2. 3 Sub-genre Retrofuturisme yang populer dalam dunia fiksi sains dari masa ke masa

Sumber: Olah visual pribadi

Salah satu bentuk refleksi masa depan terhadap masa lalu yaitu retrofuturisme yang merupakan genre fiksi ilmiah yang mengacu pada periode waktu tertentu dan teknologinya. (Briggs, 2013) Dalam konteks keterlibatan dalam dunia sains dan

teknologi, refleksi tentang masa depan seringkali dilakukan. Peran masa lalu dalam membentuk imajinasi tentang masa depan seringkali menjadi fokus kajian dalam retrofuturisme. Berbagai kemungkinan masa depan yang dipengaruhi oleh warisan sejarah dan perkembangan teknologi dapat diekstrapolasi melalui spekulasi, dengan merujuk pada periode waktu dan teknologi spesifik. Sebelum merefleksikan masa depan pada masa lalu dalam praktik desain spekulatif terdapat beberapa cara untuk mendefinisikan masa depan, yaitu *PROBABLE/PLAUSIBLE/POSSIBLE/PREFERABLE*.



Gambar 2. 4 Diagram definisi masa depan, *PROBABLE/PLAUSIBLE/POSSIBLE/PREFERABLE*.

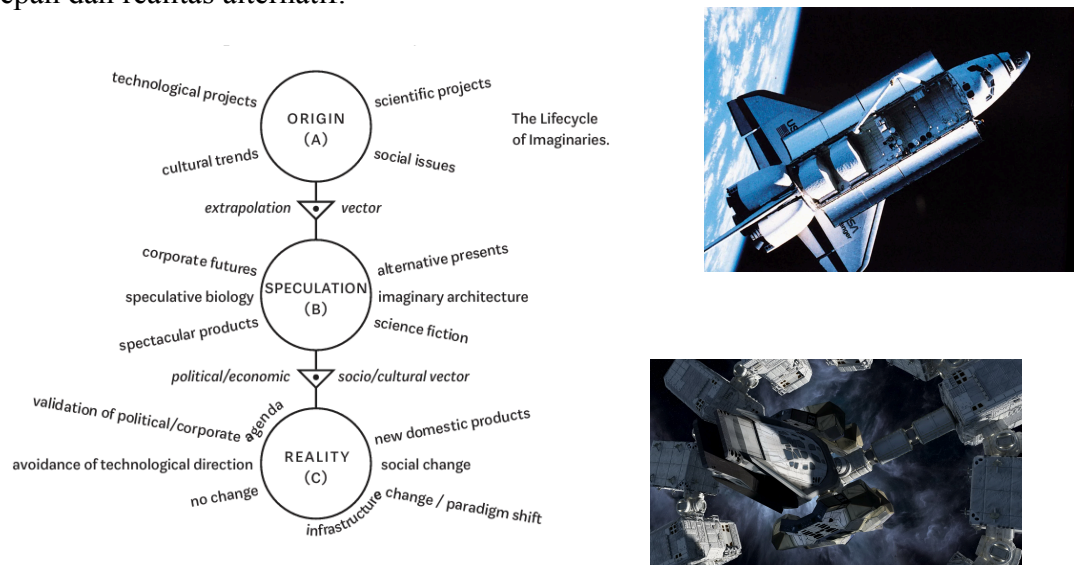
Sumber: Gambar berdasarkan diagram Stuart Candy dalam buku *Speculative Everything*.

- *Probable future*, adalah hasil yang paling mungkin terjadi berdasarkan tren dan kondisi saat ini. Desainer biasanya bekerja di lingkup ini, dengan fokus pada apa yang diperkirakan akan terjadi kecuali jika terjadi disrupsi yang signifikan.
- *Plausible futures*, melibatkan eksplorasi skenario alternatif yang dapat terjadi secara realistis. Hal ini digunakan untuk perencanaan strategis dan mempersiapkan berbagai potensi masa depan.
- *Possible futures*, bersifat lebih imajinatif dan spekulatif, mempertimbangkan apa yang bisa terjadi jika kemajuan ilmiah atau teknologi tertentu terjadi. Hal ini membutuhkan jalur yang dapat dipercaya dari masa kini ke skenario masa depan.
- *Preferable futures*, adalah hasil masa depan yang diinginkan oleh publik, yang ditentukan melalui dialog publik dan kolaborasi dengan para ahli. Tujuannya adalah untuk membentuk masa depan yang selaras dengan nilai-nilai dan aspirasi kolektif.

2.2.2 Dari Sains, Fiksi, dan *Designed Reality*

Desain spekulatif memiliki peran sebagai penghubung antara dunia nyata dan dunia imajinatif, di saat seorang desainer menjauhi suatu desain yang bersifat *industrial and market production driven* maka desainer/perancang memasuki dunia yang tidak nyata, fiksi, atau sudah biasa anggap sebagai desain konseptual-desain tentang suatu ide.(Dunne & Raby, 2013) Adanya ketidaknyataan bukan berarti tidak melihat realita, filsuf Susan Neiman telah menunjukkan, Realitas harus diukur dengan idealisme, bukan sebaliknya: “*Ideals are not measured by whether they conform to reality; reality is judged by whether it lives up to ideals–.*” (2024)

Bleecker mengintegrasikan 'diegesis' yaitu representasi visual, audio yang digambarkan dalam suatu cinema ke dalam bahasannya (“Design Fiction,” 2022) terhadap argumen David Kirby (014), dalam penelitiannya, menunjukkan bagaimana film menggunakan properti untuk menyajikan ide-ide ilmiah dengan cara yang menarik dan mudah dipahami. Kendall Walton (1993), di sisi lain, memperkenalkan konsep “*make-believe*” di mana properti menjadi pemicu imajinasi dan membantu kita menciptakan kebenaran fiksi yang dibentuk menjadi ‘*physical fictions*’ yang berfungsi sebagai alat untuk berspekulasi, alat atau properti ini tercipta dari hasil ekstrapolasi teknologi, proyek saintifik yang memungkinkan kita untuk mengeksplorasi kemungkinan masa depan dan realitas alternatif.



Gambar 2. 5 Diagram siklus imajinasi dalam buku *beyond speculative(kiri)*, Rocket ruang angkasa teknologi saat ini (Kanan atas), kapal ruang angkasa endurance sebagai properti diegesis dalam film *Interstellar(kanan bawah)*.

Sumber: Beyond Speculative(2021), STSS-133 Space Shuttle NASA, Interstellar(2014)

Praktik ‘*physical fictions*’ ini diterapkan pada film Interstellar (2014) dalam menggambarkan teknologi luar angkasa masa depan. Desain kapal ruang angkasa Endurance dan stasiun ruang angkasa Cooper Station dalam film ini merupakan hasil dari

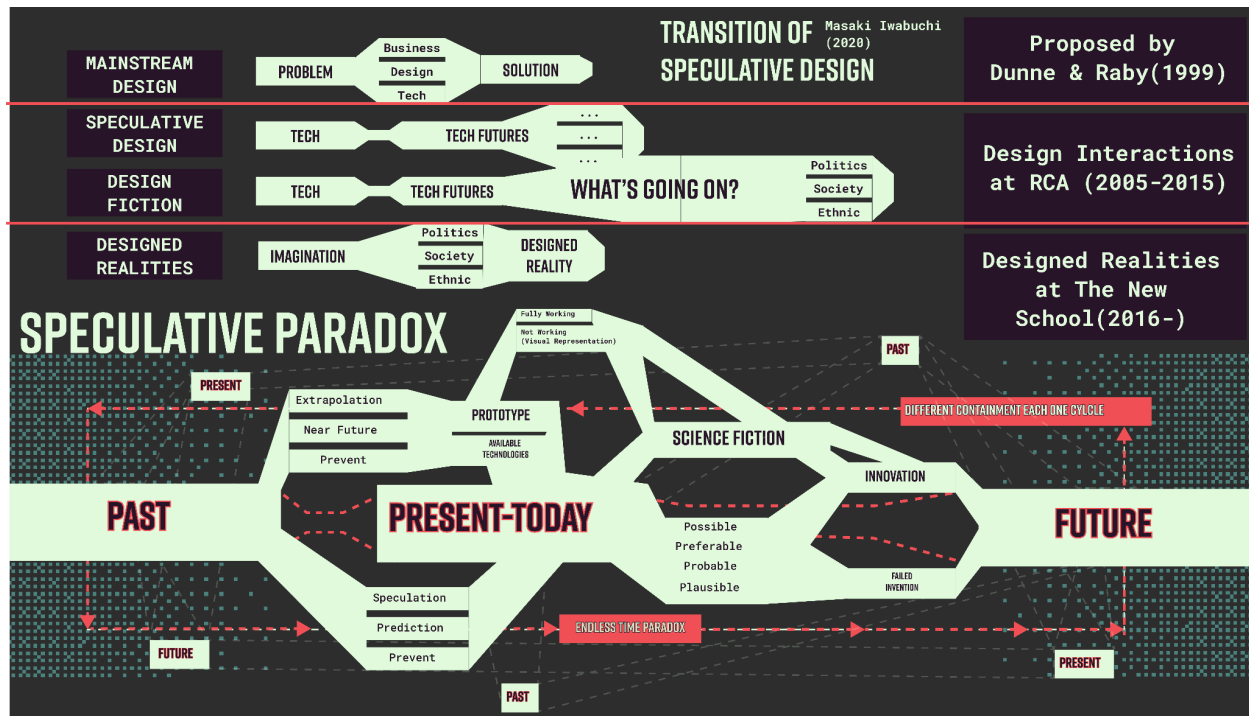
ekstrapolasi teknologi yang ada saat ini, teori sains mengenai relativitas waktu, dan dipadukan dengan imajinasi kreatif para desainer produksi.

Meskipun sama-sama menggunakan properti, film dan desain spekulatif memiliki pendekatan yang berbeda. Dalam film, properti seringkali dirancang untuk menciptakan dunia yang realistis dan dapat dipercaya. Sutradara seperti Alfonso Cuarón, misalnya, menekankan pentingnya referensi dunia nyata untuk membuat penonton merasa terhubung dengan cerita.

Sebaliknya, properti dalam desain spekulatif lebih bersifat provokatif. Mereka dirancang untuk menantang asumsi tentang dunia dan mendorong representasi untuk membayangkan kemungkinan-kemungkinan alternatif. Properti-properti ini seringkali bersifat futuristik.

2.2.3 Sintesis Transisi dan Evolusi Desain Spekulatif

Desain spekulatif, awalnya merupakan sebuah praktik yang hanya dikenal oleh segelintir kalangan, praktik ini telah mengalami transformasi yang signifikan hingga menjadi arus utama. "*niche to mainstream*" (Iwabuchi, 2022; Neeley, 2024). menandai sebuah babak baru di mana prinsip-prinsip desain spekulatif mulai diadopsi secara luas oleh berbagai industri dan disiplin ilmu. (Neeley, 2024) terjadi pengulangan atau transformasi waktu pada evolusi dan transisi desain spekulatif akan tetapi secara apa yang terkandung/tercipta dalam tiap siklus menjadi inovasi yang baru, teknologi yang terbarukan dari hasil pembuatan prototipe dengan teknologi yang ada saat ini/di masa lalu, dan juga tantangan global yang berbeda seperti perubahan iklim, pandemi, ketimpangan sosial yang menjadikan desain spekulatif dapat berevolusi.

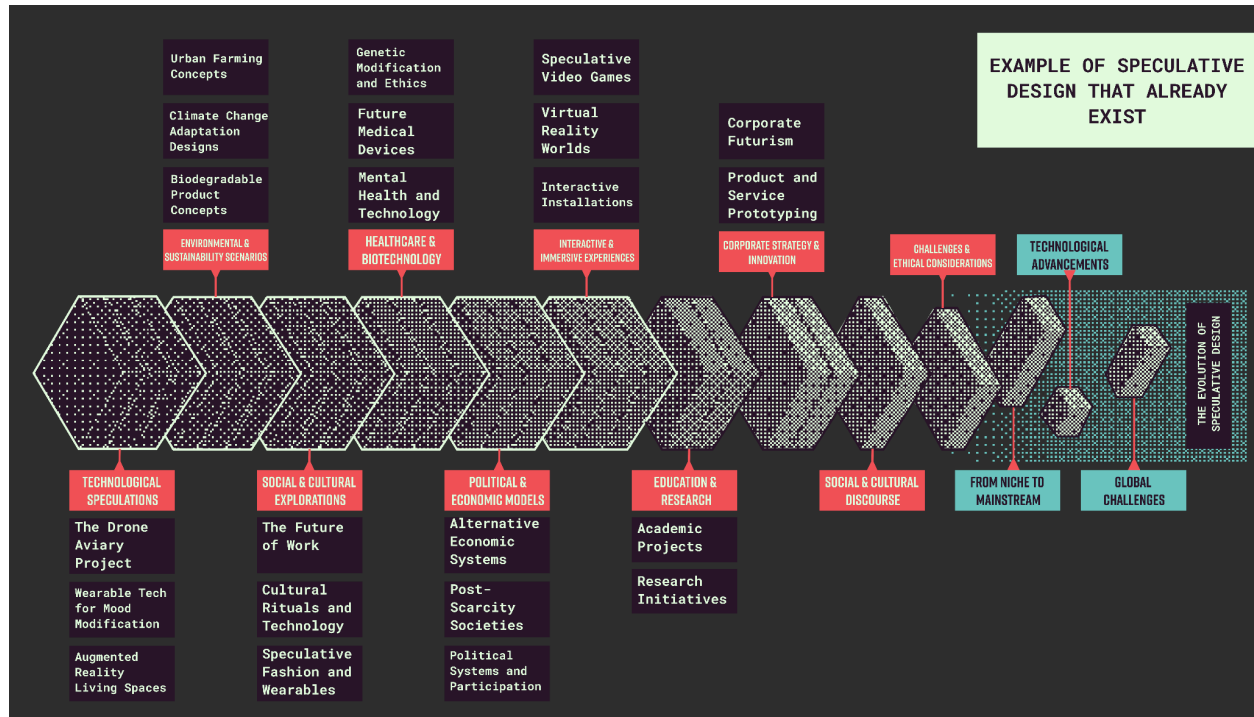


Gambar 2. 6 Penggambaran diagram transisi desain spekulatif berdasarkan artikel *Speculative Design and Designed Realities* dan hasil sintesis desain spekulatif dengan *critical design* lainnya :paradoks spekulatif

Sumber: Speculative Design and Designed Realities(2022), olah visual pribadi

Evolusi desain spekulatif menghadirkan suatu dikotomi: sebuah fiksi sains dapat bertransformasi menjadi inovasi nyata, memicu revolusi teknologi dan bahkan menjadi subjek paten. Namun, di sisi lain, fiksi tersebut bisa juga terjebak dalam lingkaran 'fiksi insidental', sebuah gagasan inovatif yang gagal terealisasi, menjadi sekadar catatan kaki dalam sejarah imajinasi manusia.(Dunne & Raby, 2013, p. 89). Seperti yang dituliskan oleh Iwabuchi dalam artikel *Speculative Design and Designed Realities* yang merupakan hasil pengajaran langsung oleh Dunne & Raby yang mem-*propose* desain spekulatif, Inovasi bertransformasi menjadi kenyataan ini menjadi perwujudan transisi desain spekulatif melalui praktik '*designed reality*' dengan melalui tahapan-tahapan sebelumnya yaitu fase '*mainstream design*'–'*speculative design*'–dan '*Design Fiction*'(2022). Hasil dari sintesis pembahasan ini adalah terjadi pengulangan siklus evolusi dan transisi desain spekulatif secara lini masa waktu atau biasa disebut paradoks temporal, sehingga desain spekulatif adalah sebuah proses yang terus menerus memperbarui dirinya sendiri, di mana masa lalu, masa kini, dan masa depan saling terkait dan mempengaruhi satu sama lain, menjadikan spekulasi sebagai metode untuk mendesain masa depan dengan melakukan maju mundur dalam waktu.

2.3. Keragaman Pendekatan Penerapan Desain Spekulatif

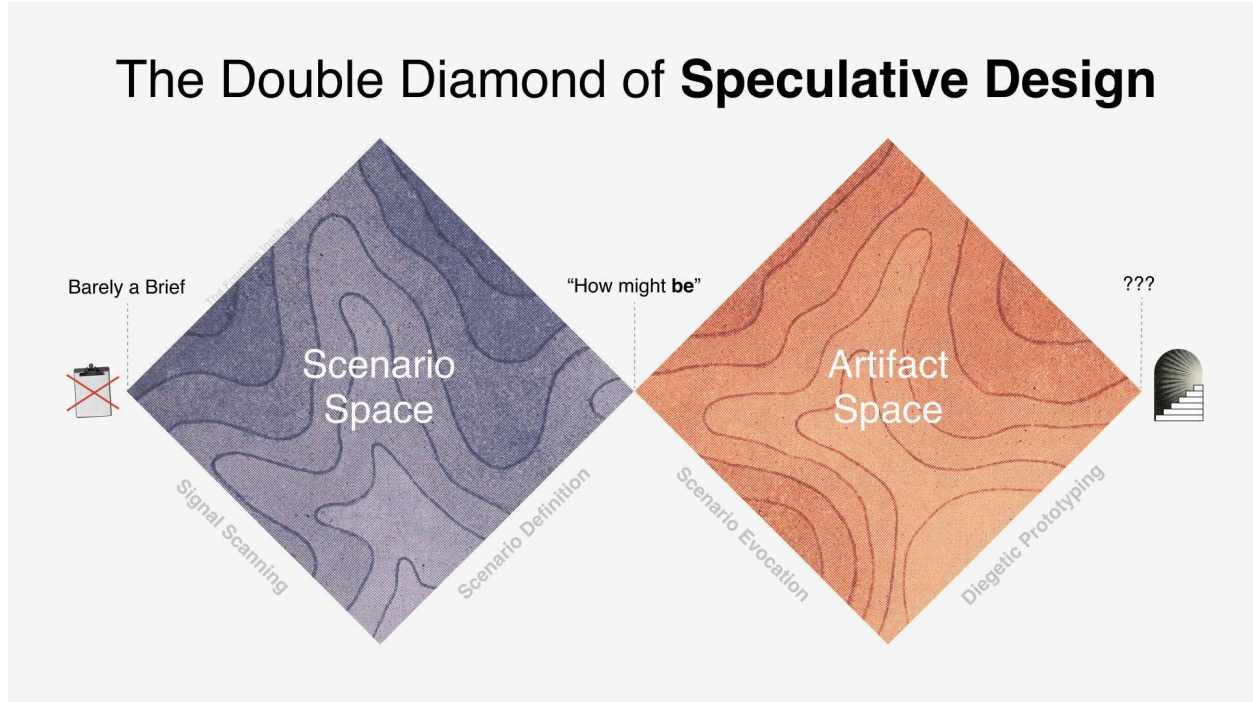


Gambar 2. 7 Diagram penerapan desain spekulatif pada kehidupan sehari-hari berdasarkan artikel *Speculative Design Examples*(2024)

Sumber: Olah visual pribadi

Desain Spekulatif lebih daripada sekadar penyelesaian masalah kontemporer, Desain Spekulatif diarahkan untuk meramalkan dan membentuk masa depan yang mungkin. Melalui desain, skenario, produk, dan layanan diciptakan untuk menantang tren terkini serta menggali implikasi dari perkembangan teknologi, dinamika sosial, dan isu lingkungan. Berbagai contoh desain spekulatif yang menarik dapat disajikan untuk mengilustrasikan kedalaman dan keragaman pendekatan yang dapat diterapkan.(Neeley, 2024)

2.3.1 Penerapan Desain Spekulatif dalam Arsitektur Sebagai Prototipe Diegesis



Gambar 2. 8 Metode double diamond pada desain spekulatif

Sumber: The Fountain Institute (Colosi, 2024)

Double Diamond kerangka kerja pemikiran desain yang sering digunakan dalam pengembangan produk. Model ini terdiri dari empat tahap:

1. Penemuan,
2. Definisi,
3. Pengembangan,
4. dan Penyampaian.

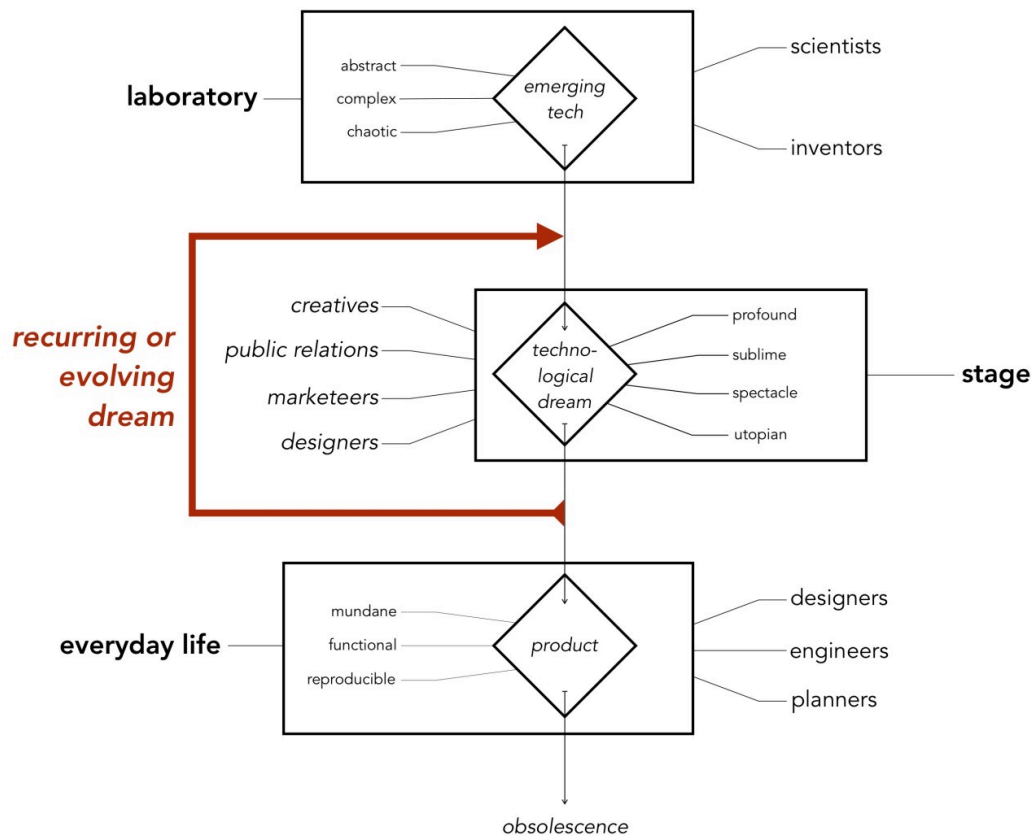
Meskipun efektif untuk memecahkan masalah yang ada, desain spekulatif mengadaptasi model tersebut untuk mengeksplorasi dan membayangkan masa depan alternatif, terlepas dari design *mainstream* dan juga konvensional dengan menekankan “penemuan masalah” daripada “pemecahan masalah”.

Dalam adaptasi desain spekulatif, Ruang Skenario menggantikan Ruang Masalah tradisional. Di sini, para desainer menyelidiki tren saat ini dan teknologi yang sedang berkembang untuk mengidentifikasi skenario masa depan yang potensial. Skenario ini kemudian didefinisikan dengan merumuskan pertanyaan spekulatif dan tantangan yang mungkin muncul.

Ruang Artefak sesuai dengan Ruang Solusi dalam model tradisional. Pada tahap ini, desainer membuat artefak spekulatif, seperti prototipe atau narasi, yang merepresentasikan kemungkinan masa depan ini. Artefak-arte-fak ini kemudian dipresentasikan untuk memancing diskusi dan refleksi mengenai implikasi dari masa depan yang mungkin terjadi. lebih dari

sekadar memecahkan masalah yang ada untuk membayangkan dan membentuk masa depan yang diinginkan.(Colosi, 2024)

2.3.2 Penerapan Desain Spekulatif Sebagai Laboratorium dari Teknologi Fiksi, dan Kehidupan Sehari-hari



Gambar 2. 9 Diagram *Technological Dreams*

Sumber: *Crap Futures*(Auger & Hanna, 2020)

menggambarkan perjalanan yang cukup khas dari sebuah teknologi, mulai dari awal mula kemunculannya sebagai teknologi baru di laboratorium(*Laboratory*). Berikutnya adalah fase fiksi teknologi(*Technological Dream*) di mana potensi teknologi yang muncul diterjemahkan ke dalam imajinasi tekno-utopis - yang diperuntukkan bagi perusahaan dan politisi untuk menjual agenda tertentu kepada khalayak umum. Para desainer menyukai fase ini, karena batasan-batasan yang berlaku pada desain produk normal belum ada. Fase terakhir adalah transisi dari aspek-aspek mimpi menjadi produk nyata dalam kehidupan sehari-hari - dan ini tentu saja berarti implementasi semua infrastruktur yang diperlukan

untuk memungkinkan mereka berfungsi. Akhirnya produk tersebut menjadi usang (*Obsolescence*), karena digantikan oleh iterasi yang lebih maju. Atau, mimpi itu didaur ulang atau diregenerasi; diperbarui dengan teknologi terbaru. (Auger & Hanna, 2020)

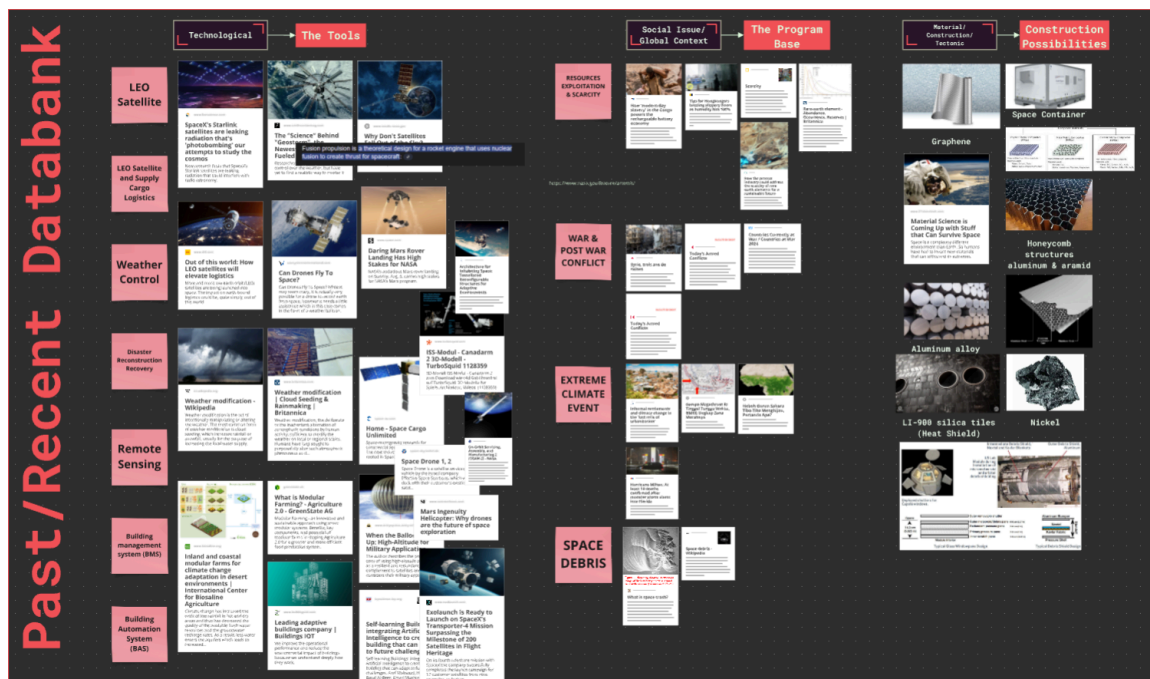
2.4. Data Set Sebagai Sinyal dari masa depan

Fase fiksi teknologi yang saintifik dinarasikan melalui sebuah representasi narasi *science fiction* yang menangkap sinyal masa depan dan menjadi suatu data set tersendiri, dengan menganalisis tema dan motif yang umum, desain spekulatif dapat mengidentifikasi tren dan potensi pergeseran masyarakat. (Labre, 2023) Berikut beberapa data set yang dianalisis dalam perancangan ini:

2.4.1. Past/Recent Databank

Sebagai data set untuk akumulasi data dunia nyata, tren, dan peristiwa historis yang menginformasikan proses desain spekulatif. Data ini mencakup:

- Peristiwa bersejarah: Kejadian sosial, politik, atau teknologi yang signifikan.
- Tren saat ini: Teknologi yang sedang berkembang, gerakan sosial, dan pergeseran budaya.
- Penelitian ilmiah: Terobosan dan penemuan di berbagai bidang.



Gambar 2. 10 Data set saat ini dan di masa lalu

Sumber: Olah visual pribadi

Technology	Description	Applications
LEO Satellite	Artificial satellites orbiting Earth at a relatively low altitude (2,000 km or less).	Communication, navigation, remote sensing, Earth observation, internet connectivity.
International Space Station (ISS)	A large spacecraft in orbit around Earth, serving as a microgravity laboratory.	Scientific research, technological development, long-duration spaceflight studies.
LEO Satellite and Supply Cargo Logistics	The process of transporting supplies and equipment to and from LEO satellites, often using spacecraft.	Resupply of satellites, satellite servicing, debris removal.
Weather Control	The manipulation of weather patterns through technological interventions, a highly speculative and controversial concept.	Potential to mitigate extreme weather events like droughts, floods, and hurricanes.
Disaster Reconstruction and Recovery	The use of technology to aid in the rebuilding and recovery process after disasters.	Remote sensing for damage assessment, satellite communication for coordination, drone delivery of supplies.
Remote Sensing	The acquisition of information about an object or phenomenon by analyzing data collected by a device that is not in direct contact with the object.	Environmental monitoring, resource management, disaster response, urban planning.
Building Management System (BMS)	A computerized system that controls and monitors building operations, such as HVAC, lighting, and security.	Energy efficiency, occupant comfort, safety, and security.
Building Automation System (BAS)	A system that uses technology to automate building functions, such as HVAC, lighting, and security.	Energy efficiency, occupant comfort, safety, and security.

Tabel 2. 1 Hasil Pembacaan data set teknologi saat ini dan di masa lalu

Sumber: Olah data pribadi

Issue	Description	Potential Impacts
Resource Exploitation	Overexploitation of natural resources like minerals, forests, and water.	Environmental degradation, climate change, social unrest, economic instability.
Scarcity	Shortage of resources such as water, food, and energy.	Conflict, migration, economic decline, social unrest.
Extreme Climate Events	Increasing frequency and intensity of natural disasters like floods, droughts, and hurricanes.	Loss of life, property damage, displacement, economic disruption.
Space Debris	Accumulation of defunct satellites, rocket stages, and other debris in orbit.	Collision risk for operational satellites, potential damage to infrastructure, hindering future space exploration.
Deorbital of the ISS in 2030	Planned decommissioning and controlled re-entry of the International Space Station.	Environmental concerns regarding potential debris, loss of a valuable research platform.
Post-War Conflict	The aftermath of armed conflicts, including displacement, infrastructure damage, and political instability.	Economic hardship, social unrest, increased crime, environmental degradation.

Tabel 2. 2 Hasil Pembacaan Data set *global issue context*

Sumber: Olah data pribadi

2.4.2. *Future Databank*

merupakan aspek data set yang lebih spekulatif dan imajinatif dari proses desain spekulatif ini. Hal ini melibatkan pembuatan skenario hipotetis, teknologi, dan struktur masyarakat yang mungkin muncul di masa depan. Hal ini dapat dicapai melalui fiksi sains atau dengan berbagai metode lainnya:

- Ekstrapolasi: Memproyeksikan tren saat ini ke masa depan untuk membayangkan hasil yang mungkin terjadi.
- Perencanaan skenario: Mengembangkan beberapa skenario masa depan yang masuk akal berdasarkan variabel yang berbeda.
- *Worldbuilding*: Membangun dunia fiksi yang terperinci dengan sejarah, budaya, dan teknologinya sendiri.
- Desain kritis: Mengusulkan desain yang provokatif dan menantang untuk memancing diskusi dan perdebatan.



Gambar 2. 11 Data set saat ini dan di masa lalu

Sumber: Olah visual pribadi

Dari hasil penelusuran mengenai data set yang terjadi saat ini atau pada saat masa lalu tersebut baik secara isu dan teknologi akan menjadi dasar perancangan skenario *what if ?* dan perancangan dalam objek berbentuk arsitektural yang akan diperdalam melalui tinjauan objek *Vehicle Assembly Building* dan *International Space Station (ISS)* yang baru.

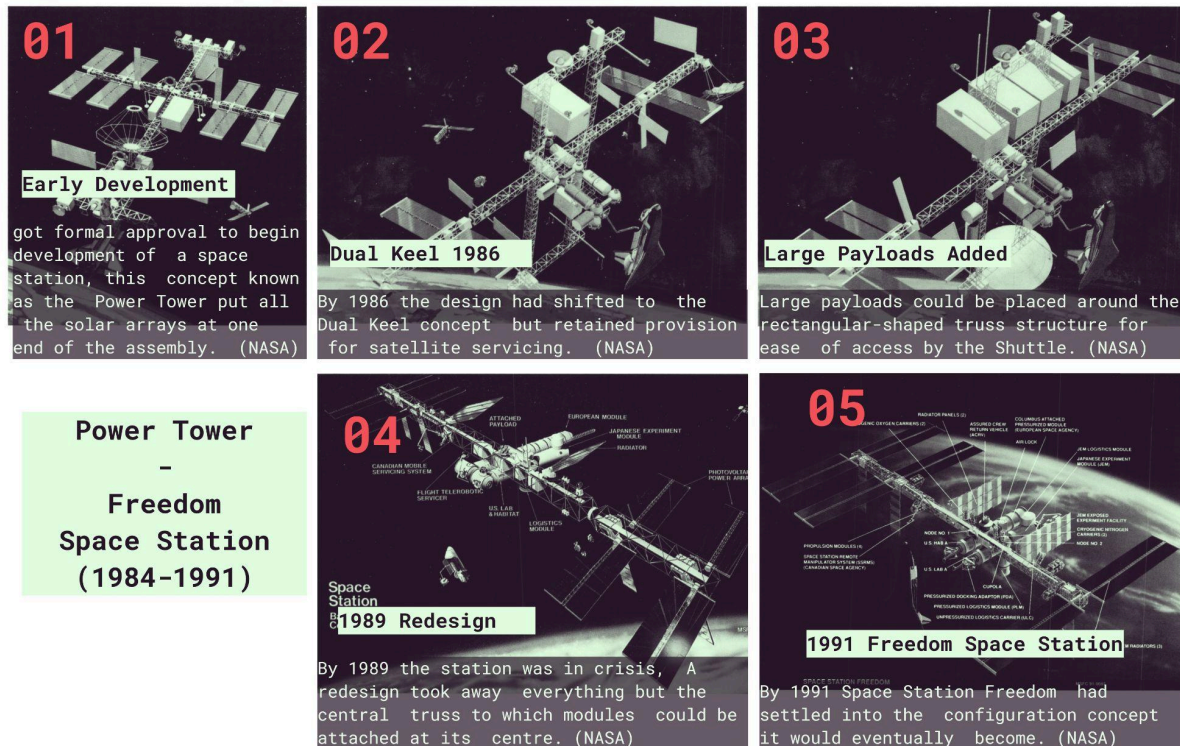
2.5. Skenario Pembangunan International Space Station: Awal Mula - *Post Deorbit ISS*

Bagian ini merupakan pembahasan data yang ada saat ini mengenai ISS dengan mempelajari konsep awal dari stasiun ruang angkasa, misi-misi ekspedisi orbit bumi untuk merakit ISS sampai dengan perkiraan de-orbit dari ISS pada tahun 2030. Data atau informasi ini nantinya akan menjadi dasar skenario diegesis program spekulatif untuk masa setelah tahun 2030.

2.5.1. Konstruksi dan penggabungan *International Space Station (ISS)*

Visi NASA untuk stasiun luar angkasa berevolusi dari konsep sederhana menjadi proyek yang kompleks dan ambisius. Awalnya, tujuannya adalah untuk menggunakan stasiun ini sebagai batu loncatan untuk eksplorasi planet di masa depan. Namun, setelah mencapai pendaratan di Bulan, NASA mengalihkan fokusnya untuk membangun kehadiran manusia secara permanen di luar angkasa.

Arahan Presiden Reagan pada tahun 1984 mempercepat pengembangan stasiun luar angkasa, dan NASA mencari kemitraan internasional untuk berbagi biaya dan keahlian. Negara-negara seperti Jerman Barat, Italia, Prancis, Jepang, dan Kanada menyatakan ketertarikannya untuk berkontribusi dalam proyek ini.



Gambar 2. 12 Konsep desain awal dari ISS

Sumber: Olah visualisasi data dari *ISS Owners' Workshop Manual* (Baker, 2015)

Beberapa konsep awal desain untuk stasiun ruang angkasa diusulkan, termasuk konfigurasi Power Tower, Planar, dan Delta. Setiap desain menawarkan keuntungan dan tantangan yang unik, tetapi pada akhirnya, konfigurasi Planar dipilih sebagai dasar untuk Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS).

Keputusan ini menjadi dasar bagi struktur ikonik yang akan menjadi simbol kerja sama internasional dan pencapaian ilmiah. Desain awal untuk Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) mengalami perubahan yang signifikan. Awalnya, konsep “Power Tower”, yang menampilkan struktur pusat yang tinggi dengan modul-modul yang terpasang, sangat disukai. Namun, pada pertengahan tahun 1985, fokusnya bergeser ke arah desain “dual-keel”, yang melibatkan struktur kisi persegi panjang dengan susunan surya dan modul yang terpasang pada sisinya. Desain ini menawarkan keuntungan dalam hal stabilitas, pembangkit tenaga surya, dan kemampuan pengamatan ilmiah. Konfigurasi dual-keel menjadi fondasi untuk pembangunan ISS pada akhirnya. Desain *Power Tower*

menghadapi masalah stabilitas, sehingga mendorong pergeseran ke arah desain *dual-keel*. Konfigurasi ini, dengan modul yang diposisikan di tengah, menawarkan keseimbangan yang lebih baik. Sementara Eropa memulai desain modul Columbus dan Jepang berfokus pada modulnya sendiri, jumlah penerbangan yang diperlukan untuk pembangunan ISS meningkat secara signifikan dari perkiraan awal 8-10 menjadi kisaran 19-31. Selain itu, muncul kekhawatiran mengenai perjalanan ruang angkasa yang ekstensif yang diperlukan untuk perakitan dan pemeliharaan.

Desain awal Stasiun Luar Angkasa Freedom menghadapi tantangan yang signifikan, terutama terkait tingginya jumlah spacewalk yang diperlukan. Hal ini menyebabkan desain ulang yang berfokus pada pengurangan ukuran stasiun, pra-perakitan komponen di Bumi, dan meminimalkan kebutuhan untuk berjalan di luar angkasa. Tujuannya adalah untuk membuat stasiun ini lebih terjangkau dan dapat dicapai. Namun, kendala politik dan anggaran lebih lanjut menyebabkan desain ulang besar lainnya dan pada akhirnya keputusan untuk berkolaborasi dengan Rusia di Stasiun Luar Angkasa Internasional. Pergeseran ini menandai era baru kerja sama internasional dalam eksplorasi ruang angkasa.

Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) telah lama dinantikan dan membutuhkan waktu lebih dari 12 tahun untuk dibangun, dan berhasil menyatukan 15 negara dan lima badan antariksa dalam upaya yang belum pernah terjadi sebelumnya untuk membangun fasilitas laboratorium ilmiah raksasa dan tempat tinggal manusia di ruang angkasa yang mengorbit bumi, stasiun ruang angkasa ini telah berdiri lebih dari 25 tahun bahkan bertahan lebih lama dari mereka yang membantu mendesainnya. (Baker, 2015). Proyek ambisius ini dibangun secara parsial di beberapa tempat sebagai proses *Earth Manufacturing* atau *Earth Construction* berdasarkan tabel dari *The International Space Station Operating an Outpost in the New Frontier* (Dempsey, 2017)

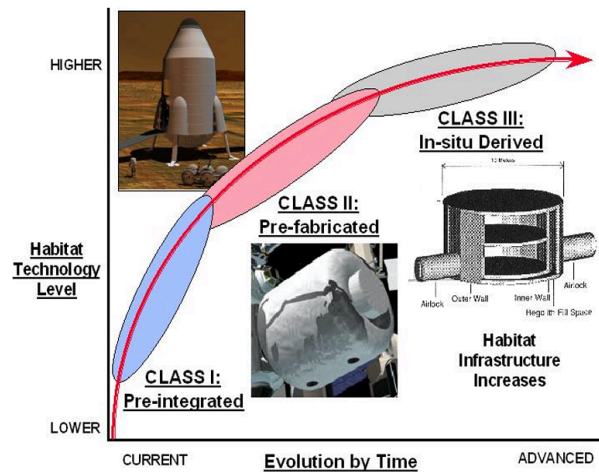
Location	Call Sign	Function
Houston, Texas	Mission Control Center – Houston (MCC-H) or Houston; also MCC-CST	United States On-orbit Segment (USOS) or control of the Boeing Company’s CST-100 (Starliner) crewed vehicle
Korolev, Russia	Mission Control Center – Moscow (MCC-M) or Moscow	Russian Segment
Tsukuba, Japan	Tsukuba	Japanese Experiment Module elements and H-II Transfer Vehicle

Oberpfaffenhofen, Germany	Munich or Columbus	European laboratory module
Toulouse, France	Automated Transfer Vehicle Control Center [retired from service]	European Automated Transfer Vehicle cargo vehicle operations
St. Hubert, Canada	Montreal	Remote Multipurpose Support Room for USOS Robotics
Dulles, Virginia	Mission Control Center – Dulles (MCC-D)	Orbital ATK “Cygnus” cargo vehicle
Hawthorne, California	Mission Control Center – SpaceX (MCC-X)	Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX) “Dragon” crew and cargo vehicles
Huntsville	Huntsville	Payloads Operations and Integration Center

Tabel 2.3 Lokasi perakitan komponen stasiun ruang angkasa internasional

Sumber: *The International Space Station Operating an Outpost in the New Frontier* (Dempsey, 2017)

ISS sebagai *space habitats* dan laboratorium memiliki beberapa kelas habitat ruang angkasa ditentukan oleh tingkat perakitan dan integrasi yang diperlukan sebelum dan sesudah peluncuran. Habitat ruang angkasa dikategorikan menjadi tiga kelas. Kelas I sudah terintegrasi-sepenuhnya diproduksi, terintegrasi, dan siap beroperasi ketika dikirim ke luar angkasa. Kelas II adalah prefabrikasi dan ditempatkan di ruang angkasa atau permukaan dengan beberapa diperlukan perakitan atau penyiapan. Kelas III adalah in-situ diturunkan, dengan strukturnya diproduksi menggunakan sumber daya lokal yang tersedia di Bulan atau Mars.



Gambar 2. 13 Diagram Klasifikasi Habitat Ruang Angkasa

Sumber: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)

<u>CLASS I: Preintegrated Characteristics</u>	<u>CLASS II: Prefabricated – Space/Surface Assembled Characteristics</u>	<u>CLASS III: In-Situ Derived and Constructed Characteristics</u>
• Diproduksi di bumi • Dibangun di bumi • Dilengkapi sepenuhnya dan diuji sebelum diluncurkan • Dikirim ke luar angkasa dengan kemampuan langsung • Volume dan massa terbatas pada kemampuan ukuran muatan peluncuran dan kemampuan massa	• Diproduksi di bumi • Membutuhkan perakitan atau penempatan di luar angkasa • Membutuhkan waktu robot dan manusia selama perakitan • Kemampuan integrasi parsial untuk subsistem • Membutuhkan beberapa atau semua penempatan perlengkapan internal • Subsistem penting berbasis di Bumi dan diuji sebelum peluncuran • Membutuhkan perakitan sebelum pengoperasian • Memungkinkan	• Diproduksi di tempat dengan sumber daya luar angkasa • Dibangun di luar angkasa • Membutuhkan kemampuan dan infrastruktur manufaktur • Membutuhkan waktu robot dan manusia selama konstruksi • Membutuhkan integrasi subsistem • Membutuhkan semua penempatan perlengkapan internal • Subsistem penting berbasis di Bumi dan diuji sebelum peluncuran • Membutuhkan perakitan agar dapat

	volume yang lebih besar • Tidak terlalu terbatas pada ukuran kendaraan peluncuran atau kemampuan massal	dioperasikan • Memungkinkan volume yang lebih besar • Tidak terbatas pada ukuran kendaraan peluncuran atau kemampuan massal
--	--	---

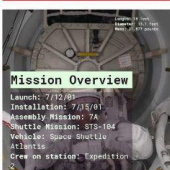
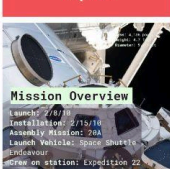
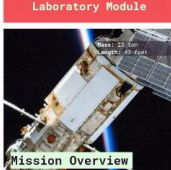
Tabel 2.4 Klasifikasi komponen stasiun ruang angkasa

Sumber: *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*(2002)

2.5.2. Urutan Perakitan ISS di Orbit Bumi

Karena ISS memiliki ukuran yang besar untuk diluncurkan dengan satu roket, ISS dibangun melalui 31 misi dan, pada kenyataannya, masih terus berkembang. Urutan perakitan mengalami banyak perubahan selama pengembangan dan pelaksanaan. Terkadang, perubahan ditentukan oleh penundaan. Misalnya, ketika modul berikutnya belum siap untuk dipasang, sebuah penerbangan logistik mungkin ditambahkan untuk mengambil persediaan kru atau perangkat keras yang lebih kecil. Dalam kasus lain, peluncuran modul Jepang dan Eropa dipercepat untuk memastikan pemasangannya di ISS sebelum pesawat ulang-alik pensiun. ISS dirakit melalui kombinasi konstruksi terencana, misi logistik, dan kemajuan teknologi. Fleksibilitas desain ISS memungkinkan adaptasi dan ekspansi untuk memenuhi kebutuhan yang terus berkembang. ISS dibangun melalui proses kompleks yang melibatkan berbagai misi ulang-alik, *spacewalk*, dan kerja sama internasional. Konfigurasi dan operasi stasiun ini telah berevolusi dari waktu ke waktu untuk mengakomodasi modul dan teknologi baru.

- ***Assembly Missions:*** Ini ditunjuk dengan kombinasi nomor STS dan ISS-xAx, di mana x adalah nomor misi dan A menunjukkan misi AS..
- ***EVA (Extravehicular Activity):*** Spacewalks sangat penting untuk perakitan dan pemeliharaan.
- ***ISS Expeditions:*** Ini adalah kru yang tinggal dan bekerja di ISS.
- ***Crew Rotation:*** Awalnya, para kru dirotasi menggunakan pesawat ulang-alik, tetapi setelah kecelakaan Columbia, Soyuz menjadi alat transportasi utama.
- ***International Cooperation:*** ISS adalah proyek multinasional, dengan kru dari berbagai negara yang bekerja bersama.
- ***Dynamic Configuration:*** Konfigurasi ISS berubah secara signifikan selama fase perakitan, yang menyebabkan perubahan dalam operasi dan prosedur.

Zarya Module  Mission Overview Launch: 11/20/98 Assembly Mission: 1A/K Vehicle: Proton-K	Unity Module  Launch: 9/23/98 Installation: 12/6/98 Assembly Mission: 2 Shuttle Mission: STS-67 Vehicle: Space Shuttle Discovery	Zvezda Service Module  Launch: 7/12/98 Installation: 7/25/98 Assembly Mission: 18 Launch Vehicle: Proton-K	Integrated Truss Structure  Launch: 2/7/01 Installation: 2/10/01 Assembly Mission: 5A Shuttle Mission: STS-96 Vehicle: Space Shuttle Atlantis Crew on station: Expedition 1	Destiny Laboratory Module  Mission Overview Launch: 2/7/01 Installation: 2/10/01 Assembly Mission: 5A Shuttle Mission: STS-96 Vehicle: Space Shuttle Atlantis Crew on station: Expedition 1
External Stowage Platforms				Mobile Servicing System  Mission Overview Launch: 2/21/08 Installation: 3/18/08 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15
 01 Mission Overview Launch: 3/8/01 Installation: 3/13/01 Assembly Mission: 5A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Discovery Crew on station: Expedition 1	 02 Mission Overview Launch: 7/26/05 Installation: 7/26/05 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-114 Vehicle: Space Shuttle Discovery Crew on station: Expedition 11	 03 Mission Overview Launch: 8/8/07 Installation: 8/14/07 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-118 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	 Mission Overview Launch: 2/21/08 Installation: 3/18/08 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	
Quest Airlock  Mission Overview Launch: 7/12/98 Installation: 7/15/98 Assembly Mission: 18A Shuttle Mission: STS-104 Vehicle: Space Shuttle Atlantis Crew on station: Expedition 1	Pirs Docking Compartment  Mission Overview Launch: 8/18/99 Installation: 9/10/99 Assembly Mission: 18A Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Discovery Crew on station: Expedition 1	Harmony Module  Mission Overview Launch: 10/23/07 Installation: 10/25/07 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-114 Vehicle: Space Shuttle Discovery Crew on station: Expedition 11	Harmony Module  Mission Overview Launch: 2/7/08 Installation: 3/18/08 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Japanese Experiment Module  Mission Overview Launch: 2/21/08 Installation: 3/18/08 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15
Poisk Mini-Research Module 2  Mission Overview Launch: 11/24/09 Installation: 11/24/09 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	EXPRESS Logistics Carriers			
 01&02 Mission Overview Launch: 11/24/09 Installation: 11/24/09 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15		 03 Mission Overview Launch: 5/16/11 Installation: 5/16/11 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	 04 Mission Overview Launch: 5/16/11 Installation: 5/16/11 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	
Poisk Mini-Research Module 2  Mission Overview Launch: 2/8/2009 Installation: 2/12/2009 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Cupola  Mission Overview Launch: 2/8/09 Installation: 2/12/09 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Rassvet Mini-Research Module  Mission Overview Launch: 5/18/10 Installation: 5/18/10 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Permanent Multipurpose  Mission Overview Launch: 2/24/11 Installation: 2/24/11 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Alpha Magnetic Spectrometer  Mission Overview Launch: 6/16/11 Installation: 6/16/11 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15
Bigelow Expandable Activity Module (BEAM)  Mission Overview Launch: 4/8/16 Installation: 4/8/16 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	NanoRacks Bishop Airlock  Mission Overview Launch: 8/11/20 Installation: 8/11/20 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Roll-Out Solar Arrays 1A/1B, 2B/4B, & 3A/4A  Mission Overview Launch: 8/8/21 Installation: 8/8/21 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Nauka Multipurpose Laboratory Module  Mission Overview Launch: 2/7/21 Installation: 2/7/21 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15	Prichal Docking Module  Mission Overview Launch: 24/11/21 Installation: 24/11/21 Assembly Mission: 10A, 1 Shuttle Mission: STS-102 Vehicle: Space Shuttle Endeavour Crew on station: Expedition 15

Gambar 2. 14 Katalog Misi Perakitan ISS

Sumber: Olah data dari *The International Space Station Operating an Outpost in the New Frontier* (Dempsey, 2017)

Pada perakitan ISS juga dapat munculnya kemungkinan konfigurasi ulang modul dan komponen yang signifikan setelah peluncuran awal. Seperti susunan surya P6 dipasang sementara di bagian tengah dan kemudian dipindahkan ke ujung rangka. Pressurized Mating Adapters (PMA) dipindahkan beberapa kali untuk mengakomodasi kebutuhan docking. Node 2 pada awalnya dipasang sementara dan kemudian dipindahkan ke lokasi permanennya. Fleksibilitas ini memungkinkan perakitan yang efisien dan adaptasi terhadap perubahan kebutuhan. Hal ini menyoroti **sifat modular dan mudah beradaptasi dari ISS**. Para perancang mengantisipasi kebutuhan akan perubahan dan konfigurasi ulang selama konstruksi, sehingga memungkinkan proses perakitan yang lebih efisien dan fleksibel.

Rencana NASA untuk *de-orbit International Space Station (ISS)*

Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) akan dideorbit dengan aman pada akhir misinya. NASA bekerja sama dengan mitra internasional untuk mengembangkan dan mendapatkan pesawat ruang angkasa khusus, U.S. Deorbit Vehicle, untuk melakukan manuver deorbit terakhir. Hal ini akan memastikan bahwa ISS memasuki kembali atmosfer Bumi dengan cara yang terkendali, menghindari daerah berpenduduk. (International Space Station Deorbit Analysis Summary, 2013; “The International Space Station Transition Plan,” 2024)

- Pembongkaran dan Pengembalian: Pembongkaran dan pengembalian bagian dari ISS tidak mungkin dilakukan karena tantangan logistik dan teknis yang signifikan.
- Mendorong ke Orbit yang Lebih Tinggi: Meskipun secara teoritis memungkinkan, meningkatkan ISS ke orbit yang lebih tinggi untuk memperpanjang masa pakainya tidaklah praktis karena faktor-faktor seperti kebutuhan bahan bakar, keterbatasan kendaraan, dan peningkatan risiko dampak puing-puing orbit.
- Deorbit Terkendali: Pendekatan yang paling memungkinkan dan paling aman adalah deorbit terkendali, di mana ISS akan diarahkan ke atmosfer untuk terbakar, meminimalkan risiko bagi manusia di Bumi.
- Kendaraan Deorbit Amerika Serikat: NASA sedang mengembangkan pesawat ruang angkasa khusus untuk melakukan manuver deorbit terakhir, memastikan masuk kembali ke Bumi dengan aman dan terkendali.
- Pada dasarnya, ISS akan dideorbitkan dengan aman di akhir misinya untuk mencegah masuknya kembali ke Bumi secara tidak terkendali dan berpotensi membahayakan manusia di Bumi.

NASA telah mengevaluasi kelanjutan operasi stasiun ruang angkasa setelah tahun 2030 sebagai pengganti deorbit. Dari perspektif kebijakan, NASA mendapat arahan dari Kongres untuk mengoperasikan stasiun ruang angkasa hingga setidaknya 30 September 2030, di mana di mana NASA berencana untuk menyelesaikan transisi ke industri industri komersial AS untuk operasi LEO.

Masa pakai teknis stasiun ruang angkasa dibatasi oleh struktur utama, yang meliputi modul, radiator, dan struktur rangka. Sistem lain, seperti daya, ECLSS, dan komunikasi, semuanya dapat diperbaiki atau dapat diganti di orbit. Masa pakai struktur utama dipengaruhi oleh pembebanan dinamis (seperti docking kendaraan / pelepasan muatan) dan siklus termal orbital. Setiap lembaga bertanggung jawab untuk melakukan analisis perpanjangan masa pakai untuk modul dan strukturnya, dan kelima telah menyelesaikan analisis perpanjangan masa pakai hingga setidaknya tahun 2028. NASA Analisis awal NASA telah menunjukkan keyakinan tinggi bahwa bahwa struktur utama USOS akan mendukung operasi di luar 2030 jika perlu, dan badan tersebut telah mulai merinci analisis terperinci untuk mengonfirmasi.

Jika tidak ada tujuan LEO komersial yang siap untuk mendukung kebutuhan NASA yang sedang berlangsung di LEO pada tahun 2030, perpanjangan operasi stasiun ruang angkasa adalah sebuah kemungkinan. Selain itu, lembaga mitra internasional stasiun ruang angkasa internasional juga perlu mendukung operasi yang sedang berlangsung. Jika operasi diperpanjang setelah tahun 2030 dengan alasan apa pun, USDV dapat tinggal di bumi sambil menunggu keputusan akhir keputusan deorbit.

2.5.3. Sistem dan Transportasi de-orbit ISS

Space X United States Deorbit Vehicle



Gambar 2. 15 *SpaceX's design of the U.S. Deorbit Vehicle is based on its Dragon spacecraft with an enhanced trunk section.*

Sumber: Space X

SpaceX akan membangun sebuah pesawat ruang angkasa Dragon yang dimodifikasi untuk NASA untuk mendeorbitkan Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) sekitar tahun 2030. Pesawat ruang angkasa khusus ini, yang dikenal sebagai *United States Deorbit Vehicle* (USDV), akan memiliki bagian bagasi yang lebih besar dengan

mesin yang lebih kuat untuk melakukan manuver yang diperlukan. USDV akan menjadi versi yang lebih besar dari Dragon spacecraft dengan lebih banyak propelan dan pendorong. *Spacecraft* ini akan menggunakan 46 pendorong Draco untuk melakukan beberapa kali pembakaran propelan untuk menurunkan orbit stasiun.

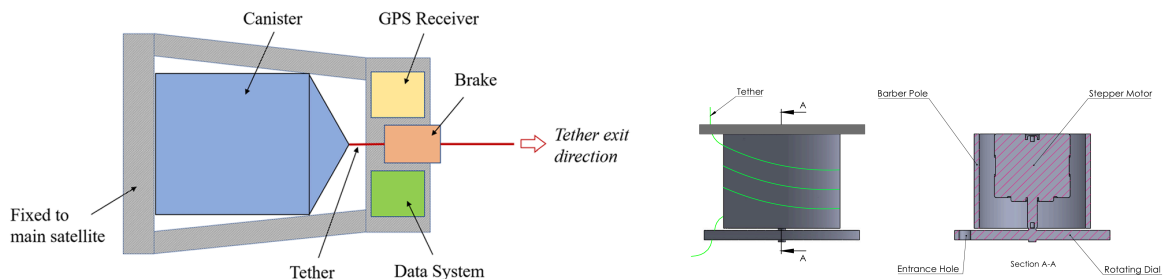
USDV akan diluncurkan ke ISS sesaat sebelum keberangkatan kru terakhir. Setelah periode peluruhan orbit alami, USDV akan melakukan deorbit terkendali, menargetkan area lautan terpencil. Pemilihan SpaceX untuk misi ini menyoroti pengalaman dan kemampuan perusahaan dalam transportasi luar angkasa.

Tether System

The European Space Agency (ESA) menyadari perlunya kemampuan pengembalian sampel ke Bumi secara berkala dari Stasiun Antariksa Internasional (ISS) untuk menstimulasi penelitian. Bersamaan dengan itu, minat terhadap sistem penambatan lembam untuk menghilangkan pengorbitan dan mitigasi puing-puing juga meningkat.

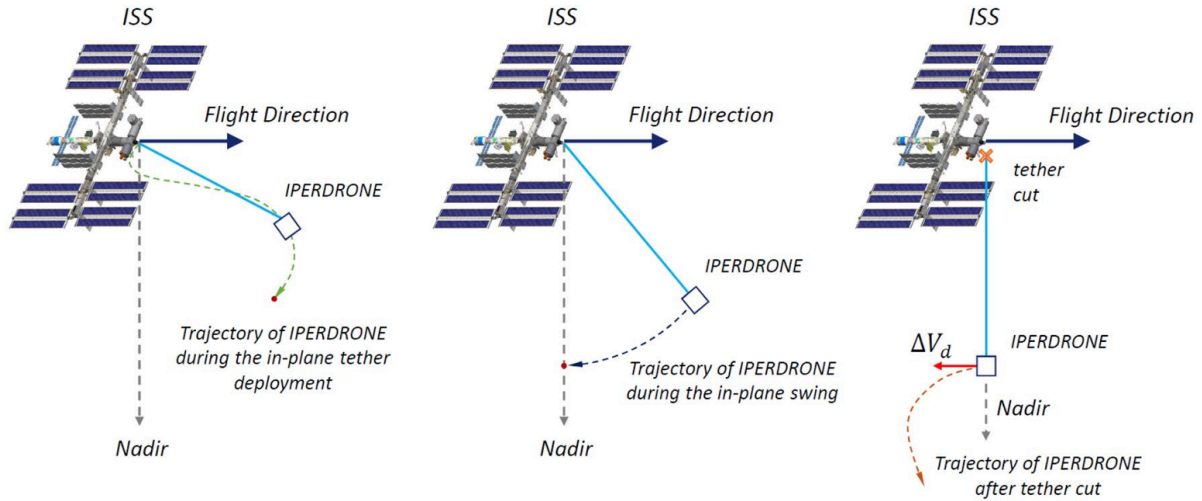
Studi Giuseppe Colombo menyoroti keuntungan dari penggunaan penambat di ruang angkasa. Misi SEDS (Small Expendable Deployer System), khususnya SEDS-I dan SEDS-II, menunjukkan keberhasilan pengerahan dan stabilisasi penambatan panjang di ruang angkasa. Misi-misi ini membuka jalan bagi penelitian dan aplikasi masa depan yang melibatkan teknologi tether.

Penyebar SEDS, sebuah sistem yang ringan dan pasif, dapat menyebarkan paket instrumentasi dan muatan tertambat lainnya hingga 20 kilometer. Sistem ini terdiri dari gulungan tether yang tetap dan rem tiang pangkas yang diaktifkan oleh motor stepper. Desain yang sederhana namun efektif ini menawarkan platform berbiaya rendah untuk melakukan eksperimen dengan penambatan panjang di ruang angkasa.



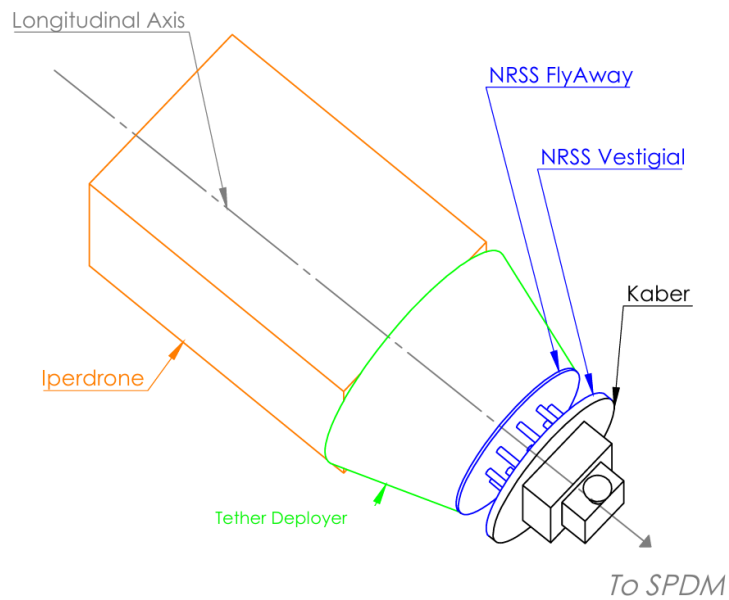
Gambar 2. 16 *Schematic of main components of SEDS passive tether deployer & Brake system: the tether is forced by the rotating dial to spiral around the barber pole to increase the outboard tension*

Sumber: CEAS Space Journal (Brunello et al., 2021)



Gambar 2. 17 Swing and release technique: the capsule IPERDRONE connected to the tether is deployed and the natural dynamics of the tether unfolding leads to swing around the local vertical (LV). The tether is cut when crosses the LV in the direction opposite to the orbital motion

Sumber: CEAS Space Journal (Brunello et al., 2021)



Gambar 2. 18 IPERDRONE and tether deployer connected to the Kaber: IPERDRONE, tether system deployer and NRSS FlyAway will be unrolled as one body, while NRSS vestigial and Kaber remain attached to the SPDM

Sumber: CEAS Space Journal (Brunello et al., 2021)