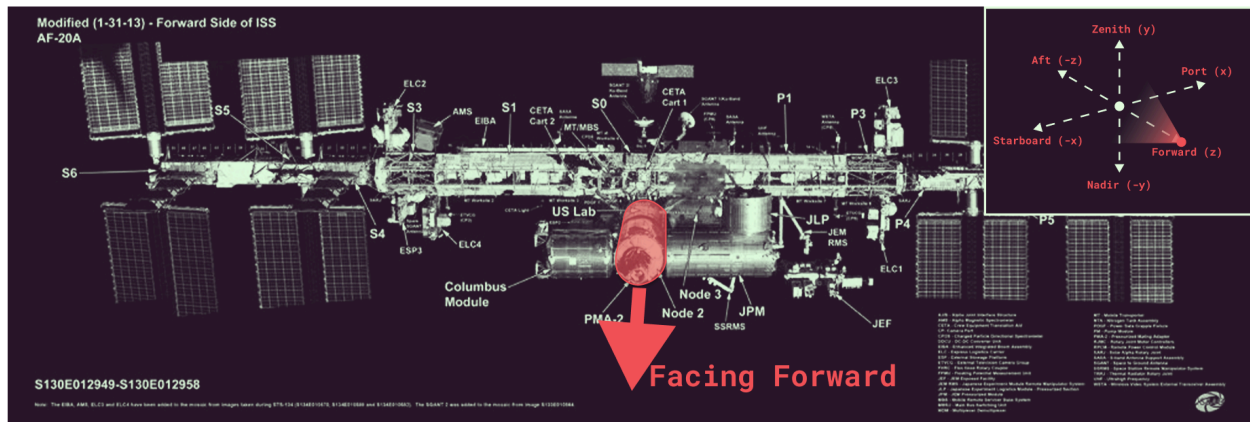


BAB III

TINJAUAN OBJEK: STUDI PRESEDEN STASIUN RUANG ANGKASA DAN MANUFAKTUR KONSTRUKSI STASIUN RUANG ANGKASA DI BUMI

3.1. International Space Station (ISS)

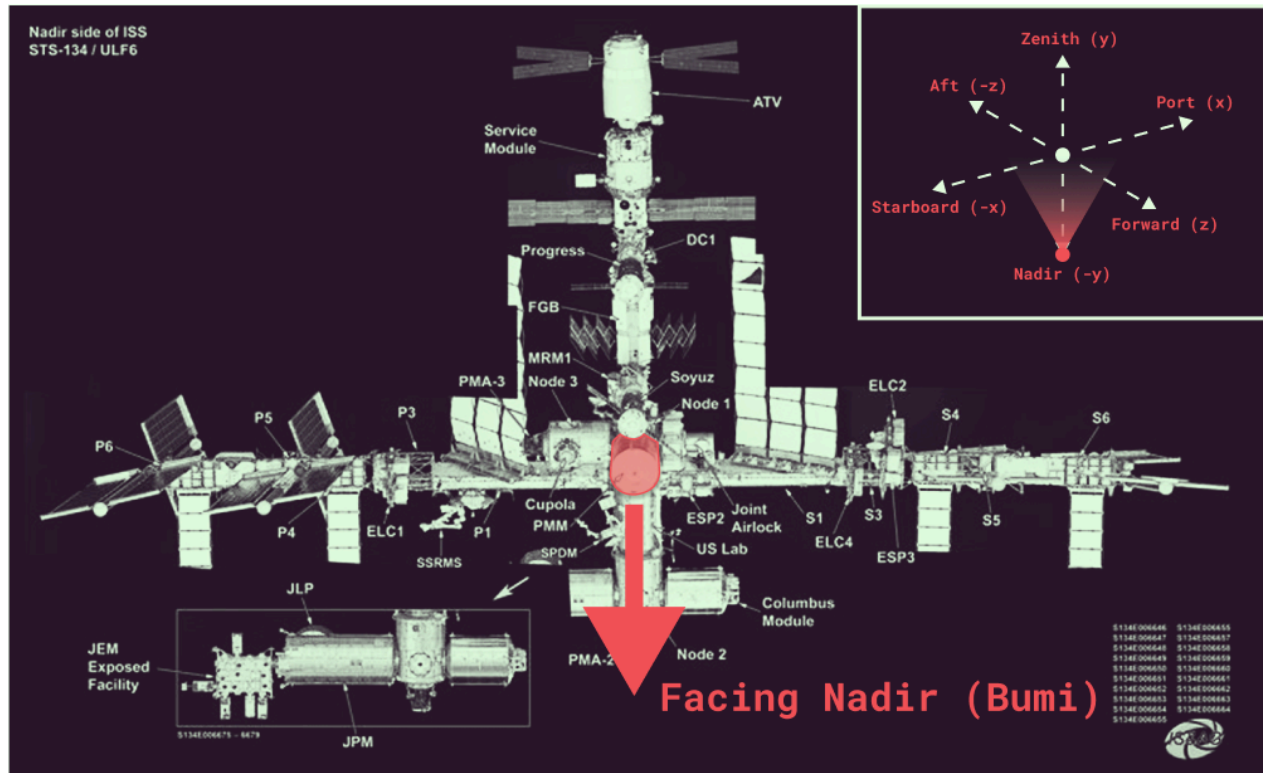
ISS yang mengorbit bumi pada Low Earth Orbital (LEO) benar-benar tidak memiliki atas, bawah, kiri, atau kanan di ruang angkasa, akan tetapi pada stasiun ruang angkasa ini memiliki sebuah sistem yang diperlukan untuk memastikan semua kru berada di arah daratan yang konsisten. Seperti halnya kapal laut, arah gerakan stasiun ini mengorbit disebut sebagai *forward*, dan arah berlawanannya disebut *aft*.



Gambar 3. 1 Gambar komposit dari ISS yang telah dirakit sepenuhnya dengan kunci kunci dengan elemen-elemen yang dicatat. Pemandangan dari buritan yang tampak dari depan.

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

Nomor Pressurized Mating Adapter 2 (PMA-2) modul berada di bagian depan stasiun dan umumnya merupakan muka yang menunjuk ke arah penerbangan orbital sebagian besar waktu. Menghadap ke depan (contoh, di PMA-2 dan melihat ke depan) berarti sisi kanan ada di kiri dan sisi kanan di sebelah kanan. Tidak seperti kapal di atas air, ISS terpapar ke arah tambahan di ruang angkasa-yaitu, ke atas dan ke bawah.



Gambar 3. 2 Tampilan dari bawah (yaitu, titik nadir) melihat ke atas ISS.

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

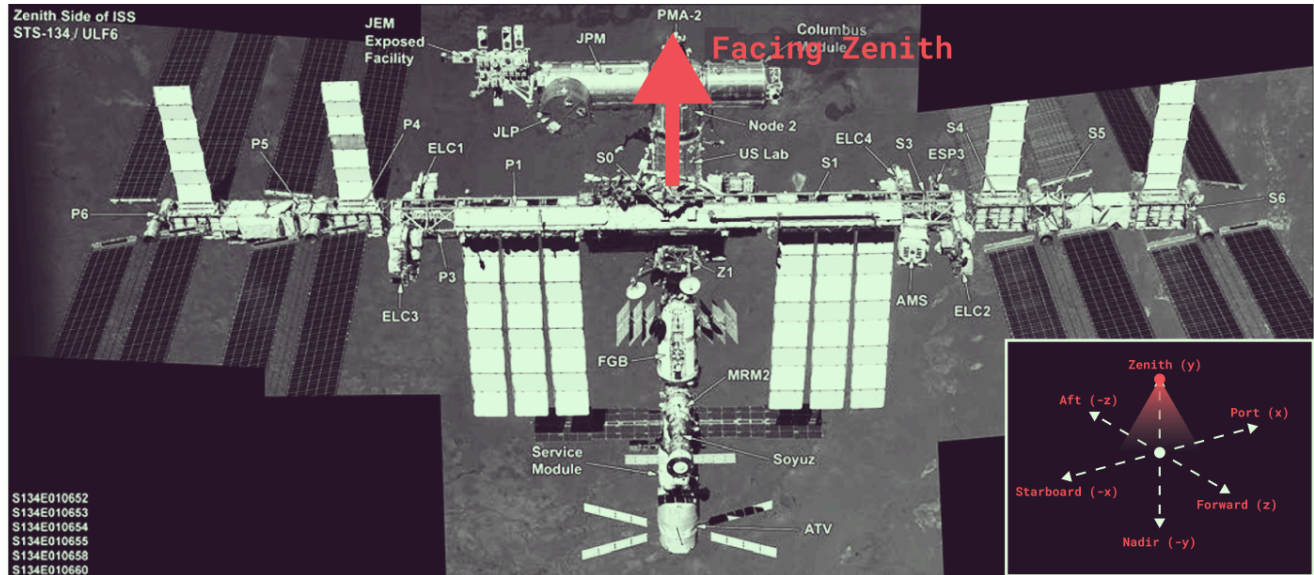
Ketika ISS mengorbit ke depan mengelilingi Bumi, arah yang mengarah ke bawah ke arah Bumi disebut nadir dan arah menjauh disebut zenith. Setiap modul atau segmen dari ISS memiliki nama fungsional seperti Node 2, Laboratorium, rangka S0, atau Modul Layanan, misalnya. FCT menggunakan nama-nama ini pada semua modul atau segmen ISS. FCT menggunakan nama-nama ini pada semua operasi dan dengan jelas menunjukkan fungsi elemen itu. Sebagai contoh, Node menunjukkan modul bertekanan yang berfungsi sebagai penghubung untuk modul lain untuk dipasang.

Gambar 3. 3 Pemandangan dari atas, melihat ke bawah ke ISS.

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

3.1.1. Space Station Module

Segmen diberi nomor berdasarkan bagiannya dan apakah segmen tersebut terletak di sisi kanan atau kiri ISS. Dengan demikian, S4 adalah segmen rangka keempat di sisi kanan, sedangkan P6 menunjukkan elemen keenam di sisi kiri. *Solar Arrays* P6 untuk sementara



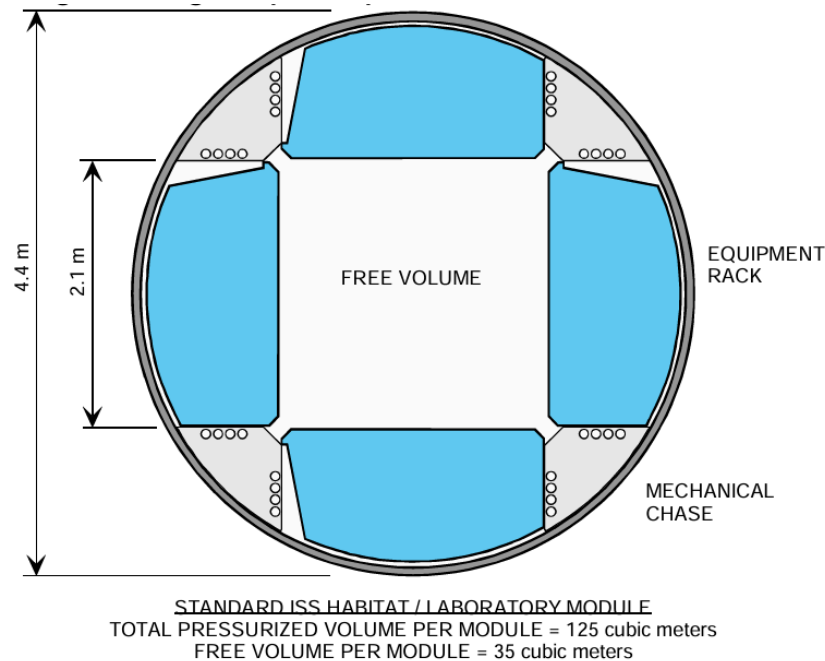
ditempatkan di sisi zenith ISS pada tahun 2000 hingga P6 dipindahkan ke posisi terakhirnya pada tahun 2007. Selain itu, segmen rangka S2 dan P2 dipotong dari desain selama transisi dari Space Station Freedom; namun, segmen rangka lainnya tidak diberi nomor ulang. Nama-nama teknis ini ditentukan di awal desain dan ditemukan di setiap dokumen teknis yang digunakan pada program ini. Kemudian, negara-negara menamai modul bertekanan mereka dengan nama yang lebih mudah digunakan, yang digunakan dalam wacana publik. Sebagai contoh, modul Laboratorium juga dikenal sebagai Destiny dan Modul Bertekanan Terpasang Eropa menjadi modul Columbus. Nama-nama teknis untuk segmen-segmen tersebut akan digunakan di seluruh buku ini. ISS adalah kendaraan terbesar yang pernah diterbangkan di ruang angkasa.

Setiap jenis habitat membutuhkan pendekatan desain yang berbeda, tetapi semuanya harus memenuhi persyaratan untuk menyediakan lingkungan bertekanan bagi manusia untuk hidup dan bekerja di dalamnya. Persyaratan umum, apa pun tujuannya, meliputi yang berikut ini:

- Keselamatan awak kapal
- Dukungan fisiologis dan psikologis yang dapat diterima untuk manusia
- Akomodasi yang berhasil dari tujuan misi
- Integritas struktural yang andal dengan margin keselamatan yang memadai
- Mode kegagalan yang dapat dimaafkan (misalnya, bocor sebelum pecah)

- Kemampuan untuk diuji dengan tingkat kepercayaan yang tinggi sebelum dioperasikan
- Kemampuan untuk diintegrasikan dengan sistem peluncuran yang tersedia
- Pemasangan dan servis yang mudah
- Mudah dirawat
- Umur desain yang panjang
- Kesamaan pada tingkat sistem atau subsistem

Konfigurasi tempat tinggal di luar angkasa bervariasi sesuai dengan kebutuhan pengguna, tujuan, dan misi. Namun, kelompok inti dari kebutuhan manusia harus disediakan untuk: makanan, air, oksigen, kebersihan pribadi, dan pengelolaan limbah. Faktor-faktor di lingkungan luar angkasa yang tidak kondusif untuk tempat tinggal manusia harus diatasi untuk menciptakan lingkungan yang “mirip Bumi” bagi manusia. Tabel 1 menunjukkan lima pertimbangan lingkungan utama dan persyaratan yang berbeda berdasarkan tujuan. Setiap pertimbangan lingkungan dijelaskan secara singkat di sini agar para perancang dan arsitek memahami lingkungan yang mereka rancang.



Gambar 3. 4 Standar untuk modul laboratorium ruang angkasa

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



Gambar 3. 5 Contoh rak standar yang dipasang di Modul Eksperimen Jepang. Rak diputar sebagian ke tempatnya pada titik porosnya sementara seorang astronot bekerja pada sambungan di belakangnya. Di sebelah kanan gambar adalah rak yang sudah terpasang penuh.

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

Stasiun Luar Angkasa Internasional (ISS) menggunakan rak standar untuk manajemen peralatan yang efisien. Rak-rak ini, yang diangkut oleh kendaraan kargo, masuk ke dalam teluk yang telah ditentukan di ISS dan dapat dilengkapi dengan berbagai sistem seperti daya, pendingin, dan vakum. Pendekatan modular ini memungkinkan pemasangan dan pemindahan peralatan penelitian dengan mudah. Selain itu, ISS menggunakan *Orbital Replacement Unit* (ORU) untuk penggantian komponen individual. Desain modular ini memungkinkan astronot untuk mengganti komponen yang rusak, seperti pompa atau katup, tanpa memerlukan prosedur yang rumit. Namun, penerapan ORU menambah kompleksitas dan biaya pada sistem. Secara keseluruhan, rak standar dan ORU berkontribusi pada fleksibilitas dan efisiensi ISS, memungkinkan dilakukannya beragam penelitian ilmiah dan pemeliharaan sistem penting.

3.2. Fasilitas Kompleks Peluncuran 39 Kennedy Space Center selama era Apollo.

3.2.1. Launch Control Center

Kontrol penerbangan, komponen penting dalam penerbangan luar angkasa, telah berevolusi dari pengujian pesawat awal hingga misi luar angkasa yang kompleks seperti International Space Station (ISS). *Flight Control Team* (FCT) bertanggung jawab atas operasi waktu nyata, dipandu oleh aturan penerbangan dan rencana misi. Kantor Program ISS mengawasi keseluruhan misi, menetapkan tujuan dan batasan. Ketika situasi tak terduga muncul, direktur penerbangan membuat keputusan untuk memastikan keselamatan kru dan integritas kendaraan.



Gambar 3.6 The main control room, FCR-1, in NASA's Mission Control Center in Houston, Texas. Flight Director Robert Dempsey (standing) leads the team as the Space Shuttle Endeavour approaches the ISS (two far-left video screens). The center screen projects a map of the Earth and the trajectory of the ISS as it orbits (top portion of screen), as well its orientation (bottom two panels of the screen). The right screen displays a history of all ground commands to the ISS as well as the status of any alarms on the ISS. Clocks for various activities are in amber along the top of the screens.

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

Ruang kendali penerbangan, fitur umum dalam misi luar angkasa, memiliki struktur standar. Direktur penerbangan mengawasi tim di ruang kendali utama, yang sering disiarkan di televisi selama misi. Konsol khusus memantau berbagai sistem pesawat ruang angkasa, seperti daya, komunikasi, dan pendukung kehidupan. Staf pendukung tambahan di ruang belakang membantu operator ruang kendali utama. Tim pengendali penerbangan mengandalkan aturan penerbangan,

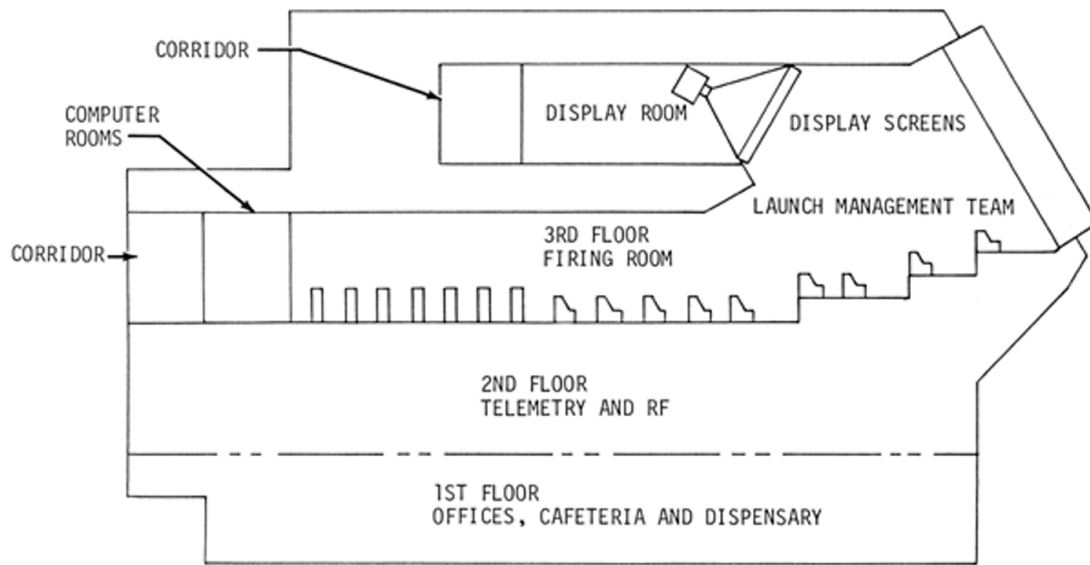
pelatihan, dan alat kesadaran situasional seperti Ringkasan Perhatian dan Peringatan untuk memastikan keberhasilan misi dan keselamatan awak.

Position	Name (call sign)	Backroom Support (or Multipurpose Support Room)	Gemini Phase Name (call sign)	Current Name (call sign)
Motion Control	Attitude Determination and Control Officer (ADCO)	HAWKI††	Telemetry Information Transfer and Attitude Navigation (TITAN)	Attitude Determination and Control Officer (ADCO)
Command & Data Handling	Onboard Data Interfaces and Network (ODIN)	Resource Avionics Engineer (RAVEN)		Communications Rf Onboard Network Utilization Specialist (CRONUS)
Communications and Tracking	Communications and Tracking Officer (CATO)	STATION Radio frequency (Rf) Communications (STARCOM) Assembly Video Engineer (AVENGER)		
Electrical Power Systems	Power, Heating, Articulation, Lighting Control (PHALCON)	PHALCON: Power Resource Officer (PRO) SPARTAN: Station Power Operations Controller (SPOC)	Atmosphere Lighting Articulation Specialist (ATLAS)	Station Power, ARTiculation, Thermal ANALYSIS† (SPARTAN)
Environmental and Life Support Systems	Environmental Control and Life Support Systems (ECLSS)	Atmosphere/Consumables Engineer (ACE)		Environmental and Thermal Operating Systems† (ETHOS)
Thermal Control Systems	Thermal Operations and Resources (THOR)	Thermal Control (TCON)		
Structures and Mechanisms	Operations Support Officer (OSO)	OSO Support		Operations Support Officer (OSO)
Planning	Operations Planner (Ops Planner)	Long Range Planner (LRP) Resource Planning Engineer (RPE) Orbital Communications Adapter (OCA)	Operations Planner (Ops Planner)	Operations Planner (Ops Planner)
Flight Director	Flight Director (FLIGHT)		Flight Director (FLIGHT)	Flight Director (FLIGHT)
Spacecraft	Capsule		Capsule	Capsule

Communicator	Communicator (CAPCOM)		Communicator (CAPCOM)	Communicator (CAPCOM)
International Partners Liaison	Remote* Interface Officer (RIO)	Houston Support Group (HSG) Columbus Support Group (CSG) SSIPC Support Group (SSG)	Houston Support Group (HSG) Columbus Support Group (CSG) SSIPC Support Group (SSG)	Remote* Interface Officer (RIO)
On-board computer networks	PLug-in-plan and UTILization Officer (PLUTO)	PLUTO Support (PLUTO Support)	PLUTO Support (PLUTO Support)	Plug-in-Plan and Utilization Officer (PLUTO)
Medical support	BioMedical Engineer (BME)	Crew Health Care System Hardware (CHeCS)	Crew Health Care System Hardware (CHeCS)	BioMedical Engineer (BME)
Surgeon	Surgeon (SURGEON)		Surgeon (SURGEON)	Surgeon (SURGEON)
Ground Systems and Networks	Ground Controller (GC)	Numerous support positions such voice, command and communications systems	Ground Controller (GC)	Ground Controller (GC)
Trajectory and Tracking	Trajectory OPERations Officer (TOPO)		Trajectory OPERations Officer (TOPO)	Trajector Operations Officer (TOPO)
Pointing position of the ISS	Pointing Officer (Pointing)		Pointing Officer (Pointing)	Pointing Officer (Pointing)
Stowage tracking	Cargo Integration Officer (CIO)		Integrated Stowage Officer (ISO)	Integrated Stowage Officer (ISO)

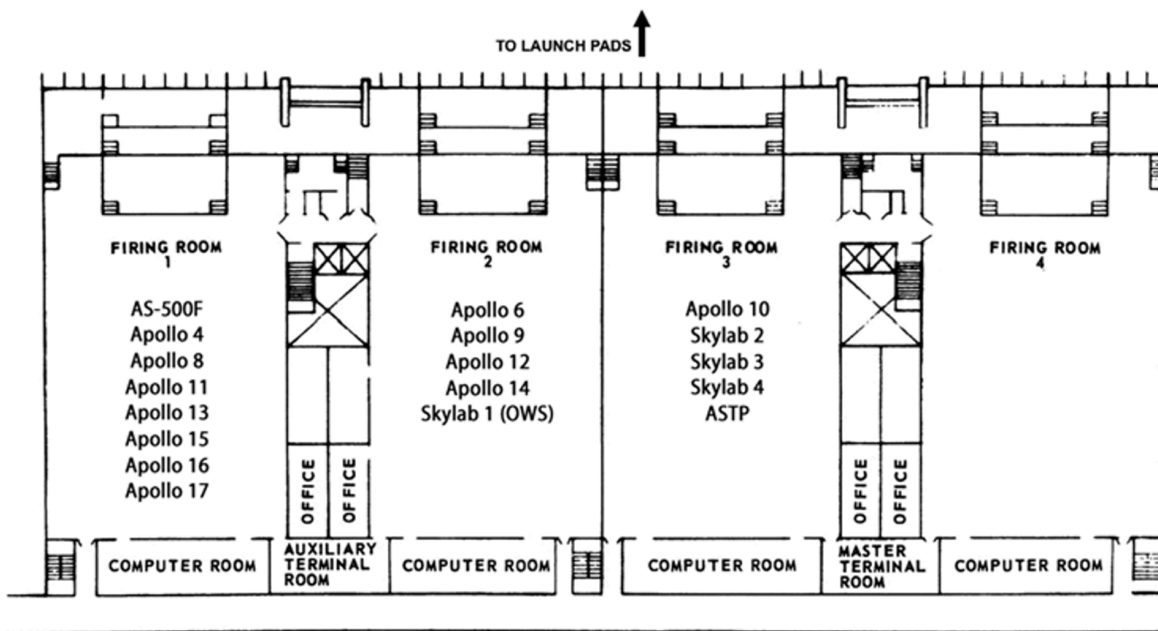
Tabel 3.1 Tabel posisi ruang kendali peluncuran

Sumber: NASA



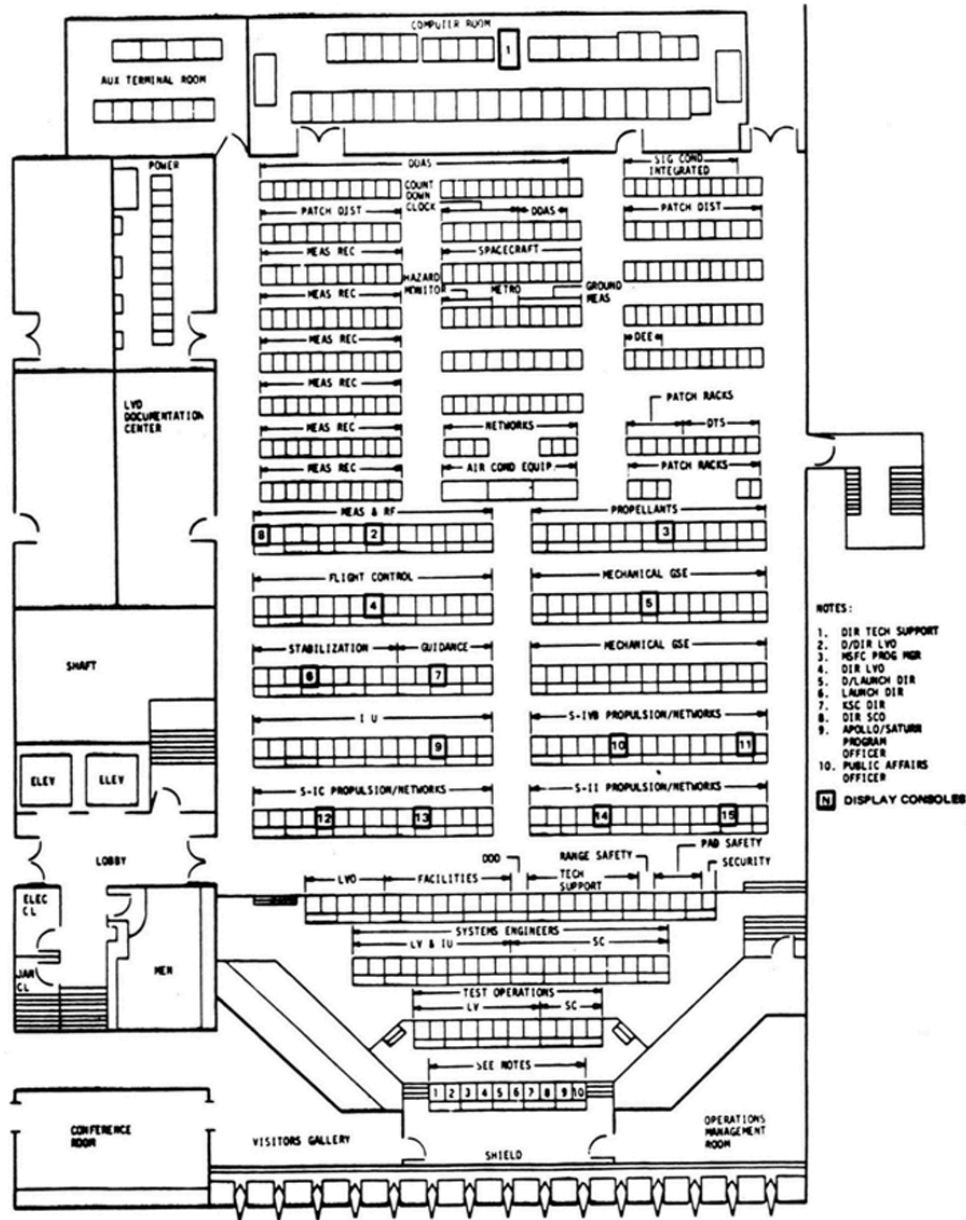
Gambar 3.7 *Cross-section* dari Pusat Kontrol Peluncuran yang mengilustrasikan bagaimana ruang-ruang firing menyatu dengan denah bangunan secara keseluruhan

Sumber: ROCKET RANCH The Nuts and Bolts of the Apollo Moon Program at Kennedy Space Center (Ward, 2015)



Gambar 3.8 *Four firing rooms filled the third floor of the LCC. Firing room 1 was most frequently used one during the Apollo program.*

Sumber: NASA/Ward



Gambar 3.9 Rencana awal tata letak ruang ring 1, 21 Mei 1965. Beberapa posisi di area A dipindahkan sebelum dimulainya penerbangan Saturnus V, tetapi tata letak keseluruhan tetap konsisten di seluruh Apollo.

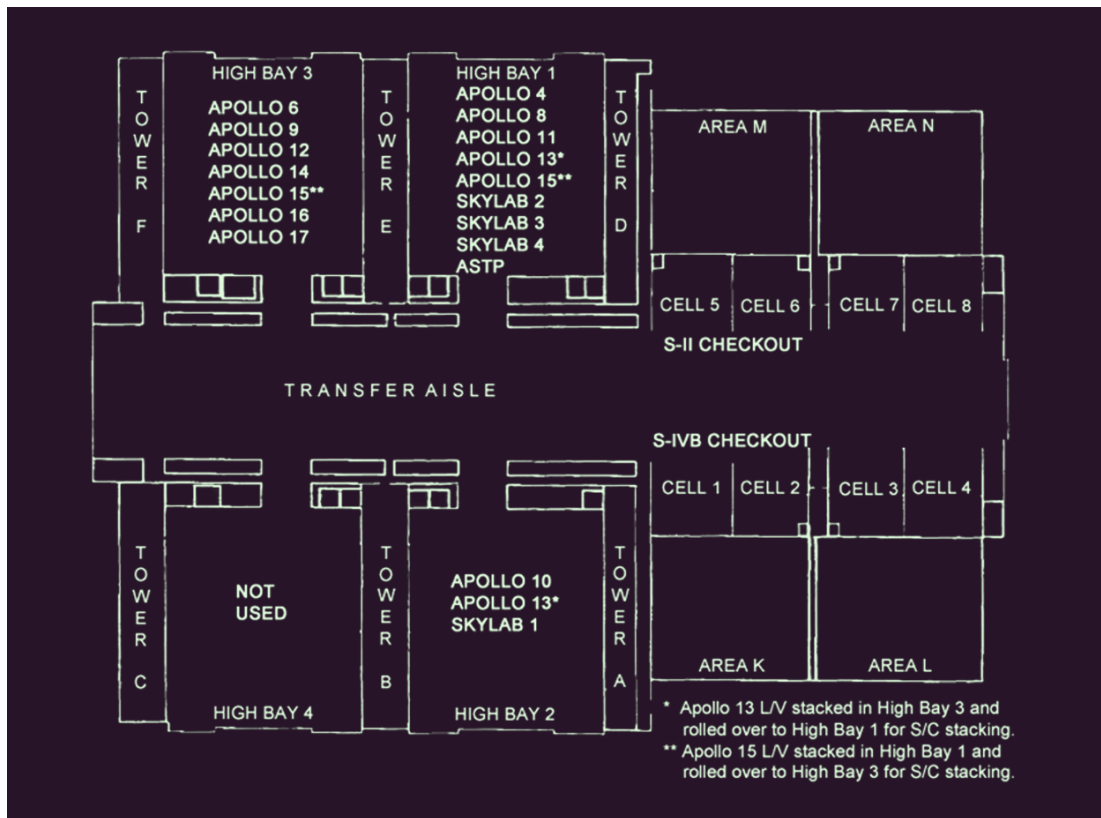
Sumber: NASA/Ward

Area	Primary Function	Key Personnel
Area A	Management and Oversight	KSC and Program Management, Test Operations Management, Stage Managers, Network Engineers, Quality Assurance, etc.
Area B	Direct Control and Monitoring	Stage Engineers, Instrumentation Engineers, Flight Control Engineers, Ground Support Equipment Operators
Area C	Data Acquisition and Display	System Engineers, Data Analysts, Telemetry Operators
Area D	Computer Operations	Computer Operators, Software Engineers
Area E	Power Distribution and Monitoring	Electrical Engineers, Power System Operators
Area F	Terminal Equipment	Network Technicians, Communication Specialists

Tabel 3.2 Adaptasi tabel dari *LCC* dan *Firing Room Area section*

Sumber: ROCKET RANCH The Nuts and Bolts of the Apollo Moon Program at Kennedy Space Center (Ward, 2015)

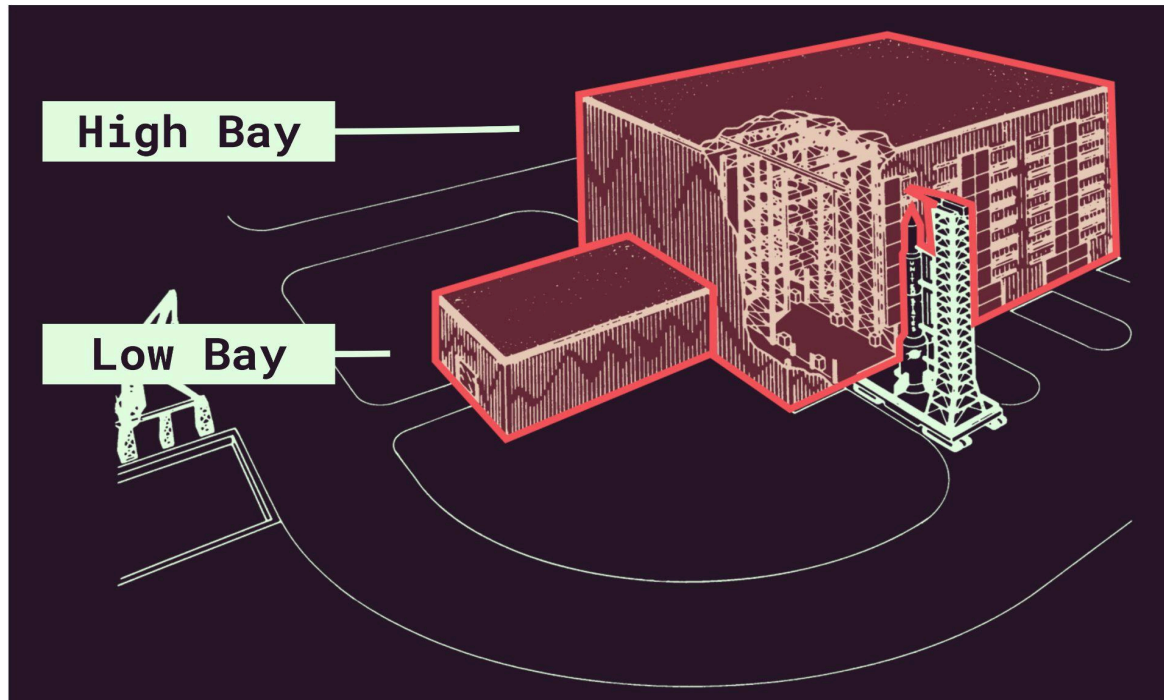
3.2.2. Vehicle Assembly Building



Gambar 3.10 Adaptasi gambar floorplan VAB

Sumber: ROCKET RANCH The Nuts and Bolts of the Apollo Moon Program at Kennedy Space Center (Ward, 2015)

The Vehicle Assembly Building (VAB) di KSC merupakan fasilitas penting untuk program Apollo NASA. Lingkungannya yang luas dan terlindung dari cuaca memungkinkan perakitan dan pengujian kendaraan peluncuran yang efisien. Bangunan ini juga berfungsi sebagai tempat yang aman selama badai. Awalnya dirancang untuk roket Saturn V, VAB telah diadaptasi untuk mendukung misi lain, termasuk pesawat ulang-alik dan Sistem Peluncuran Luar Angkasa. Lokasi VAB yang strategis di dekat cekungan putar memudahkan pengangkutan komponen roket dengan tongkang. VAB menyediakan fasilitas untuk perakitan vertikal dan pengecekan booster *Saturn V* berbahan bakar cair dan tahapannya. Secara fungsional, VAB terdiri dari dua bangunan: bangunan *low-bay* dan bangunan *high-bay*



Gambar 3. 11 *Vehicle Assembly Building, high bay dan low bay*

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)

Tahap bagian atas (*upper stages*) dibuka, diperiksa, dan dikeluarkan di gedung low-bay, sedangkan bangunan high-bay menyediakan fasilitas untuk pemeriksaan booster, pemasangan kendaraan, dan pemeriksaan kendaraan yang telah dirakit.

VAB yang dijelaskan di sini dirancang untuk kendaraan peluncuran dengan diameter hingga 50 kaki (15,24 meter) dan tinggi 400 kaki (121,92 meter). Dimensi ini tidak hanya menambah fleksibilitas, tetapi juga memberikan potensi pertumbuhan untuk kendaraan Saturnus V. Batasan desain yang berkaitan dengan komponen kendaraan adalah:

- Booster- panjang 150 kaki (46 meter), diameter 50 kaki (15,25 meter), dan berat 200 ton
- Upper Stages- panjang 120 kaki (36,5 meter), diameter 33 kaki (10 meter), dan berat 60 ton.
- **Low Bay:**

Konfigurasi akhir VAB, termasuk bangunan *low bay* yang tertutup sepenuhnya yang menempati area seluas sekitar 66.000 kaki persegi (6131,6 meter persegi). Bangunan teluk rendah memiliki lebar 195 kaki (59,5 meter), panjang 340 kaki (104 meter), dan tinggi 150 kaki (46 meter) serta berisi delapan ruang pembayaran di tingkat atas.

Akses ke tahap atas selama operasi pemeriksaan, inspeksi, dan modifikasi disediakan di setiap ruang pemeriksaan dengan dua platform kerja bertenaga mandiri 360 derajat yang dapat disesuaikan secara vertikal, platform ini dibagi menjadi dua unit 180 derajat untuk

memungkinkan separuh lorong dilepas saat tahap atas dipindahkan ke dalam atau ke luar ruang pemeriksaan. Penanganan tahap atas dan pemindahan platform dilakukan dengan empat crane overhead berkapasitas 60 ton, yang diposisikan untuk melayani masing-masing dua ruang check out. Ruang toko, kantor, dan laboratorium yang tidak terbatas tersedia di dasar menara rangka yang terletak di setiap sisi ruang check out.

- **High Bay:**

Gedung *high-bay* memiliki lebar 435 kaki (132,6 m), panjang 623 kaki (189,9 m), dan tinggi 468 kaki (142,7 m) (gedung 40 lantai), dan menyediakan area tertutup sekitar 271.000 kaki persegi. Di gedung teluk tinggi, delapan menara rangka menyediakan enam ruang perakitan vertikal. Tujuh platform kerja di setiap ruang perakitan menyediakan akses untuk pemasangan kendaraan dan pemeriksaan kendaraan secara menyeluruh. Platform adalah unit tertutup, dalam dua bagian, masing-masing bagian dilengkapi dengan mekanisme penggerak untuk pemosisian vertikal dan proyeksi horizontal ke kendaraan. Setiap platform merupakan unit yang tidak terpisahkan dengan sistem kontrol AC dan kelembaban tersendiri. Struktur sekunder kantilever dari menara rangka untuk mendukung platform kerja.

Penanganan tahap atas dan perakitan kendaraan di area *high-bay* disediakan oleh tiga derek overhead berbobot 60 ton yang ditempatkan untuk melayani dua ruang perakitan. Ruang kantor, toko, dan laboratorium dapat disediakan sesuai kebutuhan di dalam dasar menara rangka. Selain itu, empat lantai ruang dapat disediakan di bagian atas dua menara-untuk Pusat Kontrol Peluncuran.

Feature	VAB Description
Overall Dimensions	50 feet (15.24 m) diameter, 400 feet (121.92 m) tall
Vehicle Component Limits	
Booster	150 feet (46 m) long, 50 feet (15.25 m) diameter, 200 tons
Upper Stages	120 feet (36.5 m) long, 33 feet (10 m) diameter, 60 tons
Low Bay	
Size	195 feet (59.5 m) wide, 340 feet (104 m) long, 150 feet (46 m) high
Capacity	8 upper stage checkout bays
Equipment	360-degree adjustable work platforms, 60-ton overhead cranes
High Bay	
Size	435 feet (132.6 m) wide, 623 feet (189.9 m) long, 468 feet (142.7 m) high

Capacity	6 vertical assembly bays
Equipment	7 work platforms per assembly bay, 60-ton overhead cranes
Additional Space	
Low Bay	Shops, offices, laboratories in truss tower bases
High Bay	Shops, offices, laboratories in truss tower bases, 4 floors of Launch Control Center space in two towers

Tabel 3.3 *VAB Feature*

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)

- Check out Bays

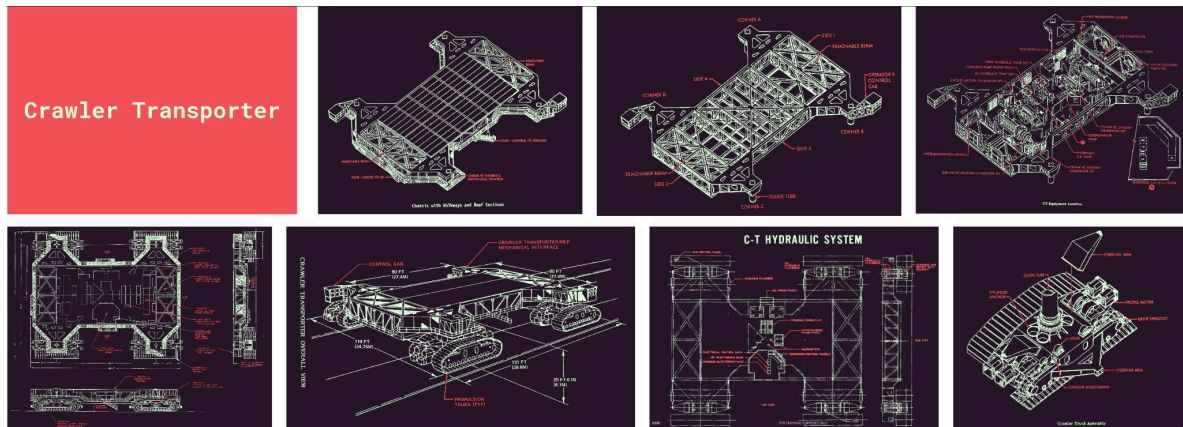


Gambar 3. 12 Berbagai perangkat keras ruang angkasa untuk modul kru Orion terlihat di *high bay* Neil Armstrong Operations and Checkout Building di Kennedy Space Center NASA di Florida.

Sumber: NASA

Checkout Bays dalam konteks Gedung Operasi & Checkout (O&C) Neil Armstrong di Kennedy Space Center mengacu pada area kerja khusus di dalam high bay di mana berbagai tahap pesawat ruang angkasa Orion dirakit, diuji, dan dipersiapkan untuk diluncurkan. Ruangan ini dilengkapi dengan peralatan khusus, perlengkapan, dan ruangan yang bersih untuk memastikan perakitan dan pengujian pesawat ruang angkasa yang cermat.

- **Crawler:**

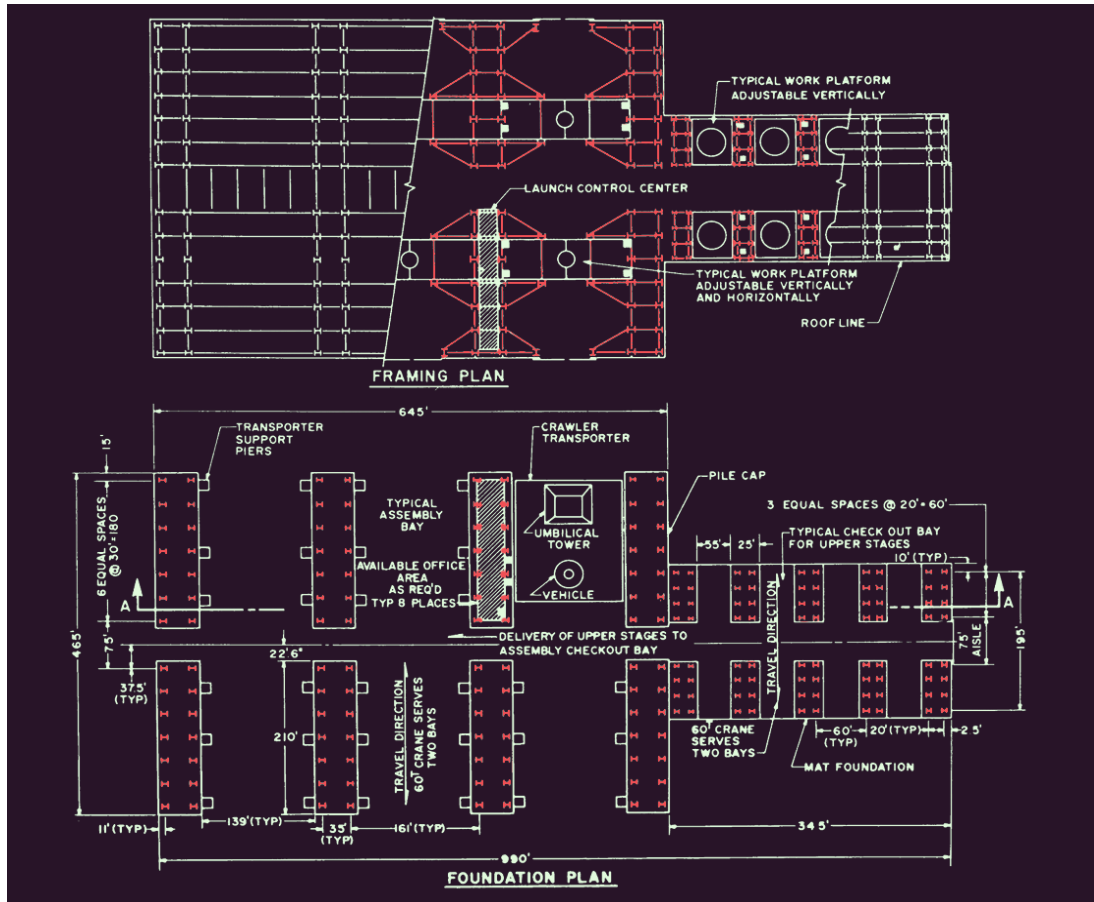


Gambar 3.13 *Crawler Transporter Drawing*

Sumber: ilustrasi adaptasi penulis terhadap gambar kerja Crawler Transporter

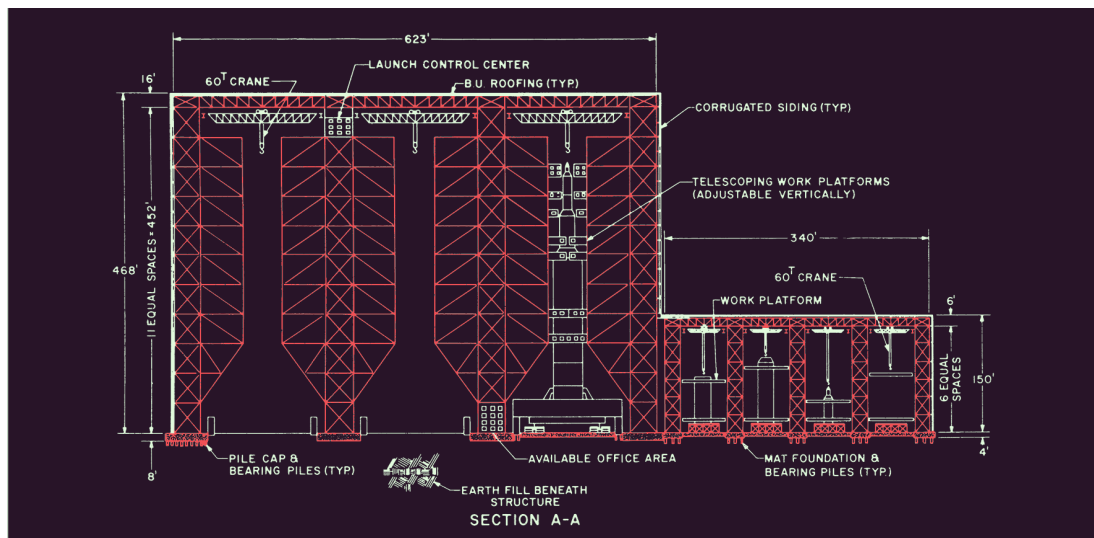
Sebuah transporter/peluncur tipe crawler, yang terdiri dari dua unit; unit transporter (crawler) dan unit peluncur (platform), dipilih oleh Pusat Operasi Peluncuran untuk mengangkut kendaraan SaturnV yang telah dirakit. Unit peluncur adalah platform berangka, dengan kedalaman sekitar 20 kaki, tempat menara pusat dan cincinudukan kendaraan berada. Selama perakitan dan pemeriksaan pendorong SaturnV dan kendaraan lengkap, peluncur berfungsi sebagai platform perakitan dasar di ruang perakitan vertikal. Setelah kendaraan dirakit, peluncur dan kendaraan yang telah dirakit diangkut ke lokasi peluncuran oleh pengangkut, di mana peluncur berfungsi sebagai platform peluncuran.

- **Struktur Bangunan:**



Gambar 3.14 Framing plan dan Foundation Plan

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)



Gambar 3. 15 VAB Section

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)

superstructure- Pertimbangan utama dalam pengembangan superstruktur untuk VAB adalah perlunya menyediakan satu tempat perakitan dan checkout bay pada tanggal yang paling awal. Dalam hal ini, dua sistem struktur dievaluasi. Pertama, diasumsikan bahwa rangka untuk dua teluk akan dipasang dengan pemasangan rangka di dua teluk tambahan. Pemasangan dan penyelesaian dua ruang pertama akan dilakukan dengan kecepatan tinggi. Angin pada konfigurasi struktur menghasilkan defleksi yang sangat besar dan tegangan member yang besar, sehingga perlu mempertimbangkan konfigurasi empat bay untuk menahan beban angin. Konstruksi ruang perakitan yang berpasangan sangat diperlukan agar derek jembatan di atas kepala dapat dipasang untuk perakitan kendaraan.

Baja struktural dipilih sebagai bahan untuk merangka area high-bay dan low-bay VAB untuk mengurangi beban pondasi. Rangka rangka konveksional digunakan pada bidang horizontal dan vertikal di seluruh bangunan. Baja ASTM A-36 mewakili jumlah baja terbesar yang digunakan; namun, baja ASTM A-440 dan A-441 digunakan untuk member yang mengalami beban terberat. Tidak ada masalah khusus yang diantisipasi untuk desain, fabrikasi, dan pemasangan struktur atas high-bay; namun, penggunaan pemrograman komputer untuk analisis akhir dari rangka utama dianggap disarankan.

Substructure- Masalah utama dalam desain superstruktur VAB adalah menentukan metode terbaik untuk menopang beban kolom yang berat. Ada dua jenis pondasi yang dipertimbangkan:

- (1) fondasi yang didukung oleh tiang pancang, dan
- (2) fondasi yang didukung oleh tanah yang terkonsolidasi. Sebelum memilih pondasi, dilakukan studi terhadap log pengeboran Corps of Engineer untuk lokasi VAB yang diusulkan.

Log menunjukkan adanya lapisan material lunak di bawah permukaan yang dapat memampat ketika terkena beban pondasi yang berat dan mengakibatkan penurunan diferensial pada pondasi yang ditopang oleh tanah. Kondisi ini meniadakan penggunaan fondasi yang didukung oleh tanah dan menimbulkan pertanyaan mengenai jenis tiang pancang yang akan digunakan. Delapan pertimbangan yang berbeda dibuat untuk jenis tiang pancang dan metode pemancangan. Perusahaan-perusahaan khusus dihubungi untuk menentukan biaya dan waktu pemancangan yang diperlukan untuk setiap jenis tiang pancang. Data log pengeboran dipelajari lagi untuk membantu menentukan panjang tiang pancang yang paling memungkinkan. Pilihan terakhir adalah tiang pancang berkapasitas 125 ton yang akan dipancang di atas batuan pada kedalaman sekitar 150 kaki di bawah permukaan laut. Tiang pancang ini terdiri dari selubung baja yang ditutup dengan pelat bantalan, dibor atau disalurkan ke tempatnya, dan

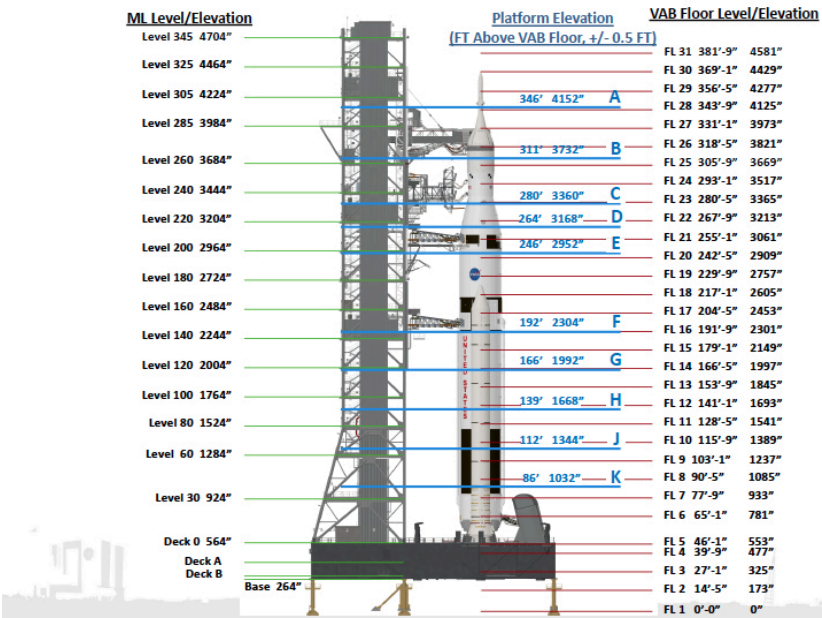
kemudian diisi dengan beton. Bagian “H” baja digunakan sebagai alternatif. Tiang pancang bantalan digunakan untuk menopang pile cap pada bangunan high-bay, pondasi alas pada bangunan low-bay, dan pondasi derek pada area transfer.

Feature	Description
Superstructure	
Design Goal	Early completion of one assembly and checkout bay
Structural Material	Steel (ASTM A-36, A-440, A-441)
Structural System	Trussed framing (horizontal and vertical)
Design Tool	Computer programming for structural analysis
Substructure	
Foundation Type	Bearing piles
Pile Type	Steel casing filled with concrete or steel H-section
Pile Depth	150 feet below sea level
Foundation Support	Pile caps (high bay), mat foundations (low bay), derrick foundations (transfer area)
Site Considerations	Soft subsurface layer, requiring pile foundations to prevent differential settlement

Tabel 3. 4 Structure Feature

Sumber: IEEE Transaction on Aeorspace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)

● Work Platform:

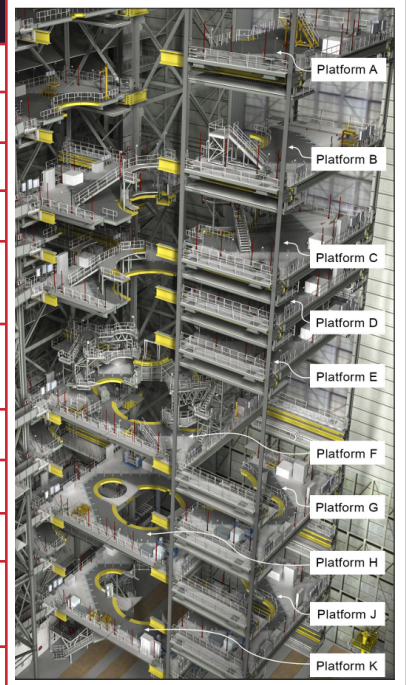


Gambar 3.16 Level Elevasi dari Platform kerja

Sumber: NASA
Saat Saturn V mengandalkan platform tetap yang besar, pesawat ulang-alik membutuhkan platform yang dimodifikasi untuk kebutuhan perakitannya yang unik, dan SLS memiliki platform modern yang dapat disesuaikan untuk mendukung strukturnya yang lebih berat. Setiap evolusi

mencerminkan perubahan kebutuhan misi luar angkasa NASA.

Platform	Purpose
A	LAS removal/installation, antenna testing
B	Service Module Umbilical Mate, emergency egress
C	ICPS mate to LVSA, ICPS umbilical mate, LVSA upper access
D	LVSA lower access, ICPS battery and computer installation
E	Core Stage Forward Skirt Umbilical mate, CS to LVSA mate, CS forward skirt access
F	Core Stage Intertank Umbilical mate, CS intertank access, booster forward assembly access
G	Booster segment stacking (forward to forward/center)
H	Booster segment stacking (forward/center to center/center)
J	Booster segment stacking (center to aft/center)
K	Booster segment stacking (aft/center to aft), CS to booster aft attach points
K-1	CS to booster aft attach points



Tabel 3.5 High Bay 3 Work Platforms Inside the Vehicle Assembly Building

Sumber: NASA

- **Saturn V/Apollo Program**

Saturnus V menggunakan platform kerja bertingkat yang besar yang dirancang agar sesuai dengan struktur roket. Platform ini sangat penting untuk mengakses berbagai bagian roket selama perakitan. Platform diposisikan di sekitar tahap roket saat diangkat ke tempatnya, sehingga memungkinkan pekerja untuk melakukan tugas-tugas yang diperlukan secara efisien

- **Space Shuttle**

Untuk pesawat ulang-alik, platform yang ada dari Saturnus V dimodifikasi dan direlokasi karena perbedaan ketinggian yang signifikan antara kedua roket tersebut. Perakitan pesawat ulang-alik membutuhkan platform khusus, khususnya untuk Solid Rocket Booster (SRB), yang dirakit di atas Platform Peluncuran Bergerak. Platform kerja dirancang untuk mengakomodasi kebutuhan perakitan unik pesawat ulang-alik, termasuk integrasi Tangki Eksternal dan Pengorbit.

- **SLS**

SLS memperkenalkan seperangkat platform kerja baru, yang lebih kecil dan dapat disesuaikan, sehingga memungkinkan lebih banyak fleksibilitas selama perakitan. VAB mengalami renovasi yang signifikan untuk memasang platform baru ini, menggantikan sistem lama yang digunakan untuk pesawat ulang-alik.

Platform SLS dapat bergerak naik dan turun sesuai kebutuhan, mengakomodasi komponen roket yang lebih berat dan meningkatkan proses perakitan untuk misi Artemis

Rocket Program	Work Platforms	Assembly Sequence
Saturn V	Large, fixed platforms	Sequential assembly of stages: 1st, 2nd, and 3rd stages
Space Shuttle	Modified Saturn V platforms, specialized platforms for SRBs	Assembly of SRBs, External Tank, and Orbiter; Orbiter rotation required
SLS	Smaller, customizable, movable platforms	Sequential assembly of SRBs, Core Stage, and upper stages

Tabel 3.6 Perbedaan urutan perakitan platform kerja

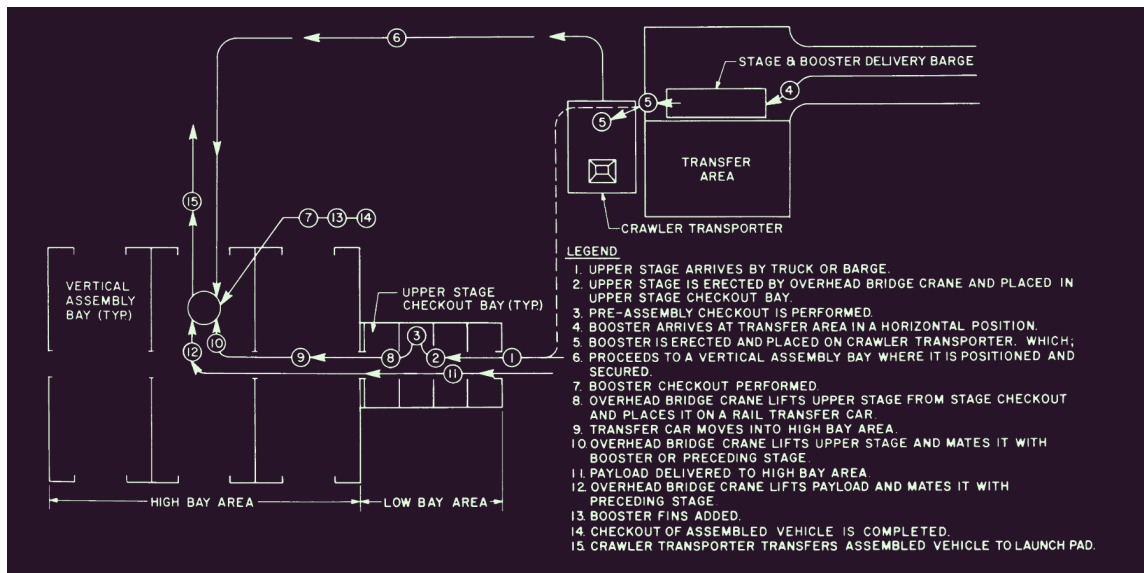
Sumber: NASA

- **Handling Systems:**

Desain sistem penanganan untuk pendorong Saturnus V dan tahapannya menghadirkan beberapa masalah unik. Masalah dan pertimbangan yang lebih penting adalah:

1. Di mana dan bagaimana cara memasang booster Saturn V dan tahap atas
2. Bagaimana cara memindahkan tahap atas dari ruang rendah ke dalam bangunan ruang tinggi
3. Bagaimana menggunakan peralatan penanganan konvensional dan meminimalkan kebutuhan peralatan
4. Bagaimana mengurangi jumlah operasi penanganan.

Solusi untuk masalah-masalah ini disediakan oleh konsep VAB yang telah dijelaskan sebelumnya dalam makalah ini. Operasi penanganan yang diperlukan ditunjukkan pada Diagram Alur Komponen.



Gambar 3. 17 Alur perakitan *Spacecraft* dan Roket

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Support Conference Procedures (Jefferson, 1963)

Booster Handling-

Booster tiba di area transfer di atas *delivery barge*. *Booster* dibongkar, dipasang, dan ditempatkan pada posisi akhir di atas kapal pengangkut/peluncur. Pemindahan booster dari tongkang pengangkut ke kapal pengangkut/peluncur dilakukan dengan dua derek berkaki kaku; satu berkapasitas 150 ton, dan satu lagi berkapasitas 200 ton. Derek ini mampu menangani booster dengan panjang 150 kaki, diameter 50 kaki, dan berat 200 ton. Sistem dua derek dipilih karena alasan berikut: 1. Sistem ini memungkinkan kemudahan penanganan booster dan memungkinkan kabel tetap vertikal, sehingga tidak menimbulkan beban lateral pada booster selama pengangkatan dan pemasangan. 2. Sistem dua derek lebih andal dan hemat waktu dibandingkan dengan derek kaku 200 ton tunggal yang menggunakan cradle atau anggota rangka memanjang dengan sistem blok dan tekel untuk mencapai posisi vertikal. Pemindahan dan pemasangan booster di luar VAB dipilih karena alasan-alasan berikut:

1. Menghilangkan kebutuhan peralatan penanganan booster di dalam setiap ruang perakitan
2. Menyediakan fasilitas docking dan transfer untuk berbagai tongkang, baik yang terkait dengan booster maupun upper stage.

Setelah transfer booster selesai, transporter/peluncur dengan booster di atasnya bergerak dari area transfer ke salah satu teluk vertikal sebagai sembly bay. Ketika platform peluncur telah sejajar dengan benar, platform pengangkut diturunkan hingga bertumpu pada dermaga yang kokoh. Setelah platform diamankan pada posisinya, pemeriksaan booster dan perakitan kendaraan dapat dimulai.

Upper Stage Handling-

Upper Stage akan dikirim ke *low-bay* dengan truk atau trailer. Kendaraan pengangkut dapat diposisikan sedemikian rupa sehingga panggung dapat diangkat dari posisi horizontal ke posisi vertikal oleh derek jembatan yang berdekatan. Setelah panggung ditempatkan di ruang pemeriksaan dan operasi pemeriksaan selesai, derek overhead menempatkan panggung di atas gerbong pemindah kereta api. Gerbong transfer kemudian bergerak ke dalam gedung *high-bay* di mana overhead crane lain mengangkat panggung dan memasangkannya dengan *booster* atau panggung sebelumnya.

Feature	Description
Booster Handling	
Delivery	By delivery barge
Transfer and Erection	Two stiffleg derricks (150-ton and 200-ton capacity)
Transfer Location	Outside VAB
Reasons for Outside Transfer	Eliminates need for handling equipment inside assembly bays, provides docking and transfer facilities for various barges
Final Positioning	Transporter/launcher moves booster into vertical assembly bay
Upper Stage Handling	
Delivery	By truck or trailer
Initial Handling	Bridge cranes lift stage from horizontal to vertical position
Checkout	In low-bay checkout bay
Transfer to High Bay	Overhead crane places stage on rail transfer car
Final Assembly	Overhead crane lifts stage and mates it with booster or preceding stage

Tabel 3. 7 Fitur *Booster* dan *Upper Stage*

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)

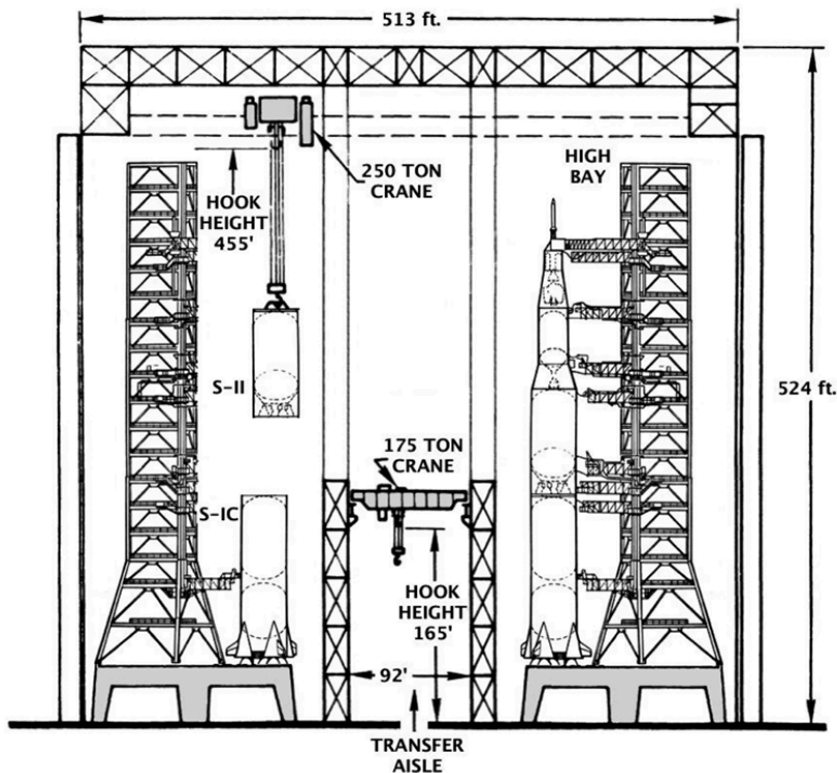
Crane

VAB memiliki sistem derek yang kompleks untuk merakit roket. Yang paling signifikan adalah:

- Colby Crane seberat 175 ton: Menjalankan panjang VAB, mengangkat muatan hingga 165 kaki.
- Derek Jembatan Colby seberat 250 ton: Dioperasikan di teluk yang tinggi, mampu mengangkat hingga 455 kaki.

Derek ini dioperasikan dengan presisi yang luar biasa, seperti yang ditunjukkan oleh “egg test” untuk operator. Derek ini sangat penting untuk menumpuk berbagai tahap kendaraan peluncuran, termasuk roket Saturnus V yang sangat besar.

Seiring dengan kemajuan teknologi, derek yang lebih besar seperti model berbobot 325 ton diperkenalkan untuk menangani muatan yang lebih berat untuk program Pesawat Ulang-Alik.



Gambar 3. 18 Cross-section of the VAB yang menunjukkan derek yang melayani lorong transfer dan teluk tinggi selama operasi penumpukan.

Sumber: ROCKET RANCH
The Nuts and Bolts of the Apollo Moon Program at Kennedy Space Center

- **The Launcher/Umbilical Tower**



Gambar 3. 19 *Crawler Transporter* mulai mendaki tanjakan menuju pad A dengan LUT 1 dan kendaraan antariksa Apollo 11.

Sumber: NASA/Kipp Teague

Umbilical Tower adalah komponen penting dari sistem perakitan sistem peluncuran. Menara ini menyediakan layanan penting bagi roket, termasuk:

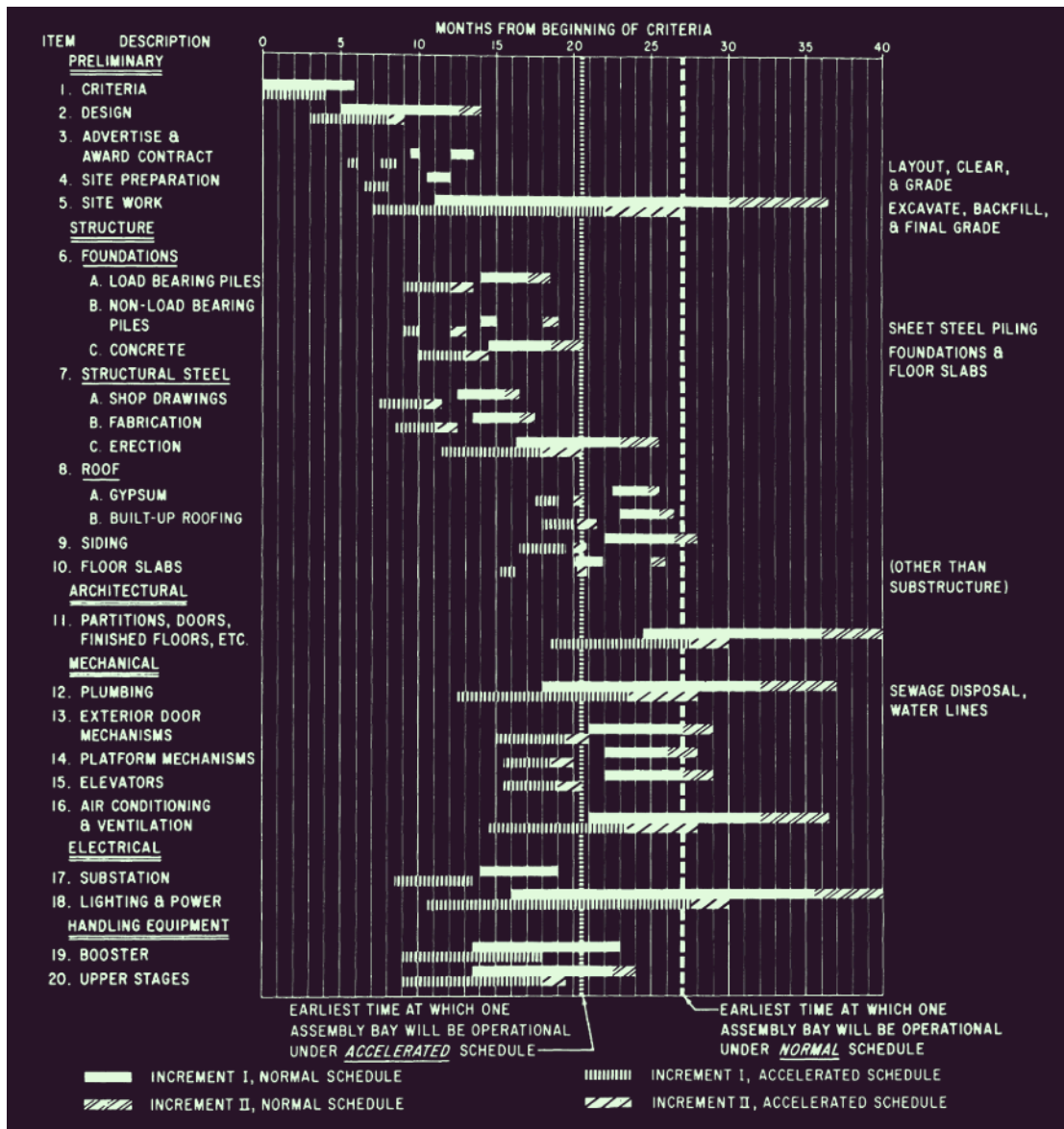
- Daya dan Data: Daya listrik dan koneksi data dipasok melalui menara.
- Propelan: Bahan bakar (LH2) dan pengoksidasi (LOX) ditransfer ke roket.
- Pneumatik: Udara bertekanan dan gas lainnya dipasok untuk berbagai sistem.
- Komunikasi: Hubungan komunikasi antara tanah dan pesawat ruang angkasa dibuat.
- Akses: Menara ini menyediakan akses bagi teknisi untuk melakukan servis dan memeriksa roket.

Fitur-fitur utama dari menara pusat termasuk:

- *Multiple Level*: Menara ini memiliki beberapa tingkat, masing-masing memiliki fungsi yang spesifik.
- Sistem Peredam Kental: Sistem ini mengurangi pergerakan roket selama pengangkutan dan di landasan peluncuran.

- Lift Berkecepatan Tinggi: Menyediakan akses cepat ke berbagai tingkat menara.
- Pengkabelan dan Pemipaan: Sistem pemasangan kabel dan pemipaan yang ekstensif berjalan melalui menara untuk memasok daya, data, dan cairan ke roket.
- Secara keseluruhan, menara puser adalah struktur yang kompleks dan penting yang memainkan peran penting dalam keberhasilan peluncuran roket Saturnus V.

- **Time Requirements**



Gambar 3. 20 Kebutuhan waktu pembangunan VAB dalam 40 bulan

Sumber: IEEE Transaction on Aerospace-Suport Conference Procedures (Jefferson, 1963)

Masalah utama yang dipertimbangkan selama studi konsep ini adalah perlunya menyediakan satu ruang perakitan vertikal operasional sedini mungkin. Efek dari masalah ini pada desain bangunan atas high-bay mengharuskan setidaknya empat bay harus didirikan untuk memberikan ketahanan yang cukup untuk menghadapi angin maksimum. Waktu yang dibutuhkan untuk mengembangkan dan membangun VAB ditunjukkan oleh Gambar. Perkiraan jumlah item pekerjaan utama adalah:

- Tiang Pancang - 403.000 kaki linier
- Beton Bertulang- 27.000 meter kubik
- Baja Struktural- 40.000 ton.

Di bawah tingkat desain dan konstruksi normal, fasilitas yang terdiri dari enam ruang perakitan vertikal dan delapan ruang pemeriksaan tahap atas ini dapat diselesaikan dalam waktu 40 bulan sejak awal kriteria. Mempercepat jadwal dapat mengurangi waktu ini menjadi 30 bulan. Waktu paling awal di mana satu perakitan vertikal dapat beroperasi adalah 20 5 bulan. Jadwal yang dipercepat ini didasarkan pada peningkatan produksi sekitar 20%.

Increment I seperti yang ditunjukkan dalam Jadwal adalah perkiraan waktu konstruksi yang diperlukan untuk empat ruang perakitan vertikal di gedung high-bay dan enam ruang checkout tahap atas di gedung low-bay, beserta struktur pendukungnya. *Increment II* adalah perkiraan waktu untuk menyelesaikan ruang perakitan dan ruang pembayaran yang tersisa. Kompetisi pekerjaan seperti yang ditunjukkan dalam jadwal konstruksi dianggap rata-rata untuk waktu konstruksi normal dan dipercepat. Namun demikian, perencanaan dan koordinasi lebih lanjut dapat memungkinkan pekerjaan untuk dilanjutkan dengan jadwal yang lebih ketat.