

Buku Ajar
Struktur Bangunan
Bentang Lebar

Buku Ajar Struktur Bangunan Bentang Lebar

Ar. Aulia Muflih Nasution, ST. MSc. IAI.

Ar. Dr.-Ing. Mufti Ali Nasution, ST, M.Arch. IAI.

Dr. Ir. Ina Triesna Budiani, MT.

Rina Saraswaty, ST., MT.



UNIVERSITAS MEDAN AREA PRESS

BUKU AJAR STRUKTUR BANGUNAN BENTANG LEBAR

Penulis Utama:

Ar. Aulia Muflih Nasution, ST., MSc. IAI.

Tim Penulis:

Ar. Dr.-Ing. Mufti Ali Nasution, ST, M.Arch. IAI.

Dr. Ir. Ina Triesna Budiani, MT.

Rina Saraswaty, ST., MT.

Editor:

Ar. Aulia Muflih Nasution, ST., MSc. IAI.

Ar. Dr.-Ing. Mufti Ali Nasution, ST, M.Arch. IAI.

Proofreader:

Ar. Dr.-Ing. Mufti Ali Nasution, ST, M.Arch. IAI.

Tata Letak:

Ar. Aulia Muflih Nasution, ST., MSc. IAI.

Penerbit:

Universitas Medan Area Press

Ukuran: 15,5 x 23 cm;

ISBN:

Redaksi:

Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate /

Jalan Gedung PBSI, Medan 20223

Telepon: (061) 7360168

Cetakan Pertama: Januari 2026

Hak Penerbitan © 2026 Universitas Medan Area Press

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, Sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm dan sebagainya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ajar berjudul "Buku Ajar Struktur Bangunan Bentang Lebar" ini dapat diselesaikan dan hadir di tangan pembaca. Penyusunan buku ini merupakan upaya panjang yang lahir dari kegiatan pengajaran, penelitian, dan praktik profesional dalam perencanaan dan perancangan struktur untuk ruang-ruang berkeluasan besar, sehingga dapat tersusun sebagaimana yang kita lihat sekarang.

Buku ini berangkat dari kebutuhan nyata di lapangan dan ruang kuliah: merancang bangunan dengan bentang lebar menghadirkan tantangan teknis yang khas - mulai dari perilaku material pada skala besar, kontrol lendutan dan kestabilan, pemilihan sistem struktur (ruang rangka, shell, membran, kabel, dan sistem komposit), hingga perhatian terhadap aspek layanan (serviceability) dan konstruktabilitas. Kompleksitas tersebut seringkali menuntut pendekatan desain dan teknik kerja yang berbeda dibandingkan bangunan bertingkat atau bentang kecil. Oleh karena itu buku ini disusun untuk menjembatani teori mekanika struktur dengan praktik perancangan dan pelaksanaan, memberikan pedoman yang aplikatif bagi perencanaan, analisis, dan detail konstruksi pada proyek bentang lebar.

Isi buku ini dirancang agar bersifat komprehensif namun tetap aplikatif. Pembahasan dimulai dari prinsip dasar perilaku material dan analisis sistem struktur, dilanjutkan dengan ilustrasi skematik dan detail sambungan, serta pembahasan kontrol lendutan, kestabilan dan aspek keselamatan. Di dalamnya juga disertakan contoh-contoh studi kasus dan langkah perancangan dari tahap konsep hingga detail pelaksanaan untuk memperjelas proses pengambilan keputusan teknis. Dengan pendekatan yang sistematis, buku ini bertujuan memudahkan pembaca melakukan transfer pengetahuan dari konsep

ke praktik, baik dalam konteks perkuliahan, tugas akhir, maupun proyek profesional.

Buku ini ditujukan bagi mahasiswa arsitektur sebagai bahan ajar utama, dosen sebagai rujukan pengajaran, serta praktisi (arsitek) yang membutuhkan panduan praktis dalam merancang dan mengawasi bangunan bentang lebar. Diharapkan buku ini dapat menjadi alat bantu pembelajaran yang efektif di studio perancangan, studio struktur dan konstruksi maupun ruang kelas, sekaligus referensi yang berguna di lapangan ketika menghadapi persoalan teknis dan pilihan solusi struktural yang ekonomis, aman, dan estetis.

Terwujudnya buku ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim penyusun yang telah bekerja keras dalam pengumpulan materi, penyusunan naskah, dan ilustrasi. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rekan-rekan praktisi dan akademisi yang memberikan kritik, saran, serta masukan teknis yang konstruktif. Semoga bantuan dan kerja sama semua pihak mendapat balasan kebaikan dan keberkahan.

Akhir kata, saya berharap buku ini bermanfaat bagi pengembangan kompetensi dan praktik perancangan struktur bentang lebar di Indonesia. Segala kekurangan dalam buku ini merupakan tanggung jawab penulis dan tim; kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan untuk perbaikan penerbitan selanjutnya.

Medan, 2 Januari 2026

Ar. Aulia Muflih Nasution, ST., MSc., IAI

Beserta Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR ILUSTRASI	xvii
CPMK dan Sub-CPMK	xxiii
Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)	xxiii
Sub Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (Sub-CPMK).....	xxiii
Pengantar Struktur Bangunan Bentang Lebar.....	1
Pengertian Bangunan Bentang Lebar.....	2
Sejarah Perkembangan Struktur Bangunan Bentang Lebar	6
Era Kuno dan Klasik: Fondasi Awal	6
Abad Pertengahan dan Renaisans: Evolusi Teknik	10
Revolusi Industri: Material Baru dan Kemungkinan Baru	11
Abad ke-20: Diversifikasi Sistem dan Puncak Inovasi	14
Abad ke-21: Keberlanjutan, Digitalisasi, dan Bentuk Adaptif.....	21
Sejarah Perkembangan Struktur Bentang Lebar Di Indonesia	23
Kearifan Arsitektur Vernakular Indonesia.....	24
Era Modern: Adopsi Teknologi Global	27
Konteks Indonesia Kontemporer.....	32
Evaluasi	34
Logika Dasar Struktur Bangunan Bentang Lebar.....	35
Prinsip Dasar Pembebanan.....	36
Beban Mati (Dead Loads).....	39
Beban Hidup (Live Loads).....	40

Beban Angin (Wind Loads)	41
Beban Gempa (Seismic Loads).....	42
Beban Lain-lain.....	43
Konsep Gaya Tarik, Tekan, Geser, Dan Momen Pada Elemen	43
Gaya Tarik (Tension).....	44
Gaya Tekan (Compression).....	46
Gaya Geser (Shear).....	48
Momen Lentur (Bending Moment).....	49
Perilaku Struktur Terhadap Gaya-Gaya Tersebut	49
Peran Material Pada Struktur Bentang Lebar.....	52
Evaluasi	55
Struktur Rangka Ruang (Space Frame)	56
Elemen Dasar dan Geometri	56
Prinsip Penyaluran Gaya.....	61
Klasifikasi Dan Tipe Rangka Ruang.....	63
Material Dan Sambungan	67
Contoh Aplikasi.....	71
Aplikasi di Dunia	71
Aplikasi di Indonesia.....	76
Keunggulan Dan Keterbatasan.....	83
Evaluasi	85
Struktur Kabel	86
Prinsip Dasar Dan Geometri.....	87
Masalah Instabilitas Aerodinamis.....	89
Klasifikasi Sistem Struktur Kabel.....	90
Struktur Gantung (Suspension Structures).....	90

Struktur Kabel Penopang (Cable-Stayed Structures).....	91
Jaring Kabel (Cable Nets).....	92
Kabel Radial (Radial Cable Structures).....	93
Material Dan Sambungan	95
Material Kabel	95
Sambungan dan Angkur.....	96
Contoh Aplikasi.....	99
Aplikasi di Dunia	99
Aplikasi di Indonesia.....	111
Keunggulan Dan Keterbatasan.....	114
Keunggulan.....	114
Keterbatasan.....	115
Evaluasi	117
Struktur Lengkung (Arch)	118
Prinsip Dasar Dan Geometri.....	118
Persamaan Fundamental Lengkungan.....	119
Karakteristik Umum Lengkungan.....	120
Bentuk Geometri Dan Kurva Lengkungan Efisien.....	120
Lengkungan Parabola	120
Lengkungan Lingkaran (Circular Arch).....	121
Kurva Katenoid (Catenary).....	121
Klasifikasi Lengkungan Berdasarkan Sistem Tumpuan	121
Lengkungan Tiga Sendi (Three-Hinged Arch).....	122
Lengkungan Dua Sendi (Two-Hinged Arch).....	122
Lengkungan Jepit (Fixed Arch atau Encastred Arch).....	122
Prinsip Penyaluran Gaya.....	125

Material Lengkungan.....	126
Beton Bertulang dan Beton Prategang.....	126
Baja.....	126
Material Tradisional: Batu.....	127
Kayu dan Glue-Laminated Timber (Glulam).....	127
Contoh Aplikasi.....	131
Aplikasi di Dunia.....	131
Aplikasi di Indonesia.....	140
Keunggulan Dan Keterbatasan.....	141
Keunggulan.....	141
Keterbatasan.....	141
Evaluasi.....	145
Struktur Cangkang (Shell).....	146
Prinsip Dasar Dan Kurva Gaussian.....	146
Permukaan dengan Positive Gaussian Curvature ($K_G > 0$).....	147
Permukaan dengan Zero Gaussian Curvature ($K_G = 0$).....	147
Permukaan dengan Negative Gaussian Curvature ($K_G < 0$).....	147
Geometri Dan Bentuk Cangkang.....	148
Prinsip Penyaluran Gaya.....	152
Material Cangkang.....	153
Beton Bertulang dan Beton Prategang.....	153
Baja.....	153
Material Komposit dan Fiberglass.....	153
Contoh Aplikasi.....	156
Aplikasi di Dunia.....	156
Aplikasi di Indonesia.....	161

Keunggulan Dan Keterbatasan.....	164
Keunggulan.....	164
Keterbatasan.....	164
Evaluasi	166
Struktur Membran.....	167
Prinsip Dasar Dan Aksi Membran	167
Kondisi Ideal untuk Aksi Membran Murni.....	168
Persamaan Fundamental Aksi Membran.....	169
Geometri Dan Bentuk Membran.....	169
Kubah Sferis (Spherical Dome).....	169
Paraboloid Hiperbolik (Hyperbolic Paraboloid).....	169
Permukaan Minimal (Minimal Surface).....	170
Konoid (Conoid Membrane).....	170
Prinsip Penyaluran Gaya Dan Stress Analysis	174
Material Membran.....	175
Fabric Terkoating (Coated Fabrics).....	175
Kabel Prategang (Prestressing Cables).....	177
Sistem Membran Dan Klasifikasi	177
Tensile Membrane dengan Prategang Eksternal (External Prestressing).....	177
Suspended Membrane (Membran Bergantung).....	177
Hybrid Membran dengan Internal Bracing	178
Contoh Aplikasi.....	182
Aplikasi di Dunia	182
Aplikasi di Indonesia	192
Keunggulan Dan Keterbatasan.....	193

Keunggulan.....	193
Keterbatasan.....	193
Evaluasi.....	195
Struktur Lipatan (Folded Plate).....	196
Prinsip Dasar Dan Aksi Struktural.....	196
Aksi Lentur pada Individual Plate (Bending Action on Plates).....	197
Aksi Membran Lintas Plate (Membrane Action Across Plates)	197
Geometri Dan Bentuk Lipatan.....	198
Roof Lipatan Sederhana (Simple Folded Roof).....	198
Cylindrical Folded Plate (Lipatan Silindris).....	198
Pyramid dan Wedge Structures.....	198
Folded Plate dengan Curved Faces.....	198
Prinsip Penyaluran Gaya.....	200
Material Dan Konstruksi.....	202
Material Utama.....	202
Teknik Konstruksi.....	204
Contoh Aplikasi.....	204
Aplikasi di Dunia.....	204
Aplikasi di Indonesia.....	212
Keunggulan Dan Keterbatasan.....	212
Keunggulan.....	212
Keterbatasan.....	213
Evaluasi.....	214
Struktur Pneumatik (Air-Supported/Air-Inflated).....	215
Prinsip Dasar: Internal Pressure Dan Stabilitas.....	215

Persamaan Tekanan dan Stress.....	216
Jenis-Jenis Struktur Pneumatik.....	217
Air-Supported Structure (Single Membrane).....	217
Air-Inflated Structure (Double atau Multiple Membranes)	218
Hybrid Pneumatic dengan Rigid Frame	219
Membrane Material Untuk Struktur Pneumatik	221
Kekuatan Tarik dan Tear Resistance	221
Permeability dan Air-Tightness.....	221
Sealing Capability	222
Prinsip Penyaluran Gaya.....	223
Contoh Aplikasi.....	224
Aplikasi di Dunia	224
Aplikasi di Indonesia	235
Keunggulan Dan Keterbatasan.....	236
Keunggulan.....	236
Keterbatasan.....	237
Evaluasi	239
Potensi & Batasan Aplikasi Struktur Bentang Lebar.....	241
Potensi Struktur Bentang Lebar	241
Pencapaian Bentang yang Ekstrem	241
Efisiensi Material	242
Fleksibilitas Arsitektur dan Estetika.....	244
Batasan Struktur Bentang Lebar.....	244
Instabilitas Aerodinamis dan Dinamis.....	245
Kompleksitas Analisis dan Desain.....	246
Biaya Sambungan dan Presisi Manufaktur.....	248

Pemeliharaan dan Daya Tahan.....	248
Sensitivitas terhadap Perubahan Beban dan Adaptasi.....	249
Skalabilitas dan Kelayakan Ekonomi pada Rentang Kecil- Menengah	250
Implikasi Desain dan Harapan Klien:.....	251
Logistik Regulasi, Keselamatan, dan Konstruksi	251
Potensi dan Batasan dalam Konteks Indonesia	252
Keuntungan untuk Indonesia.....	252
Tantangan untuk Indonesia	252
Evaluasi.....	254
Pemilihan Struktur Bentang Lebar: Pertimbangan Fungsional & Estetika	256
Pertimbangan Fungsional	257
Program dan Kebutuhan Spatial	257
Daya Tahan dan Persyaratan Pemeliharaan dalam Konteks Geografis.....	259
Kompleksitas Pemuatan dan Kondisi Pembebanan.....	260
Pertimbangan Estetika.....	261
Ekspresi Struktur dan Maksud Arsitektur.....	261
Skala dan Proporsi.....	265
Ekspresi Material dan Kejujuran	265
Integrasi dalam Konteks Perkotaan	267
Kerangka Keputusan untuk Pemilihan Sistem Struktur.....	269
Proses Iteratif Multidisiplin.....	269
Kerangka Pembobotan dan Penilaian.....	269
Evaluasi.....	271

Pemilihan Struktur Bentang Lebar: Pertimbangan Keberlanjutan & Inovasi	272
Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan.....	273
Embodied Carbon dan Konsumsi Material	273
Daur Ulang Akhir Hayat dan Ekonomi Sirkular	276
Energi Operasional dan Lifecycle Carbon	277
Manajemen Air dan Air Hujan.....	278
Inovasi Dalam Struktur Bentang Lebar	279
Inovasi Material.....	279
Inovasi dan Optimasi Bentuk Struktural.....	281
Inovasi Konstruksi dan Prefabrikasi.....	282
Struktur Cerdas dan Pemantauan Kesehatan Struktur.....	283
Keberlanjutan dan Inovasi dalam Konteks Indonesia	285
Peluang	285
Tantangan	285
Evaluasi	286
Penentuan Dimensi Awal, Form-Finding & Studi Kasus Integratif	288
Penentuan Dimensi Awal Dengan Rule Of Thumb.....	289
Konsep dan Aplikasi Rule of Thumb	289
Aturan Umum untuk Berbagai Sistem Struktur	289
Perhitungan Sederhana untuk Desain Awal	292
Estimasi Beban Total.....	292
Pengecekan Defleksi.....	293
Konsep Dasar Form-Finding.....	295
Filosofi Pencarian Bentuk.....	295

Pencarian Bentuk untuk Berbagai Sistem.....	296
Metode Form-Finding.....	297
Model Fisik Analog.....	297
Force Density Method (FDM).....	298
Dynamic Relaxation Method.....	299
Gradient Based Optimization.....	299
Alat Dan Software Untuk Form-Finding.....	300
Perangkat Lunak Pencari Bentuk Khusus.....	300
Studi Kasus Integratif: Pavilion Bentang Lebar Di Lokasi Tropis. 301	
Kasus 1: Pavilion untuk Event Center di Jakarta.....	301
Kasus 2: Studi Desain Terpadu - Jembatan Cable-Stayed di Lokasi Seismic.....	304
Evaluasi.....	306
Review dan Kesimpulan.....	308
Sintesis Pembelajaran dan Wawasan Kunci.....	308
Evolusi Konseptual Struktur Bentang Lebar.....	308
Pemahaman Holistik tentang Potensi dan Batasan.....	310
Peran Bentuk, Material, dan Proses.....	313
Penelitian Terbaru dan Aplikasi yang Muncul.....	314
Inovasi Material dan Komposit Lanjut.....	314
Desain Komputasi dan Berbasis Data.....	315
Adaptasi Iklim dan Resilience.....	316
Struktur Modular dan Adaptif.....	317
Perspektif Untuk Indonesia: Peluang Dan Tantangan.....	317
Konteks Geografis dan Environmental Indonesia.....	317
Solusi Struktural untuk Konteks Indonesia.....	318

Membangun Kapasitas Teknis dan Keahlian	319
Kelayakan Ekonomi dan Pembangunan Berkelanjutan.....	319
Arah Dan Visi Masa Depan.....	321
Menuju Teknik Struktur yang Benar-benar Berkelanjutan.....	321
Menuju Struktur Cerdas dan Otomatis	321
Menuju Integrasi dengan Alam dan Ekosistem Perkotaan.....	322
Menuju Demokratisasi Desain dan Fabrikasi.....	322
Tantangan Besar dan Prioritas Penelitian.....	323
Kesimpulan	324
Evaluasi	326
DAFTAR PUSTAKA	328
Tentang Penulis.....	332
Ar. Aulia Muflih Nasution, ST., MSc. IAI	332
Ar. Dr.-Ing. Mufti Ali Nasution, ST, M.Arch. IAI.....	333
Dr. Ir. Ina Triesna Budiani, MT.....	333
Rina Saraswaty, ST., MT.....	334

DAFTAR ILUSTRASI

Table 1 Perbandingan Karakteristik Desain Struktur Bentang Kecil dan Bentang Lebar.....	3
Diagram 1 Perbandingan Sistem Penyaluran Gaya dalam Struktur Bentang Lebar.....	4
Table 2 Klasifikasi Bentang Bangunan Berdasarkan Dimensi dan Karakteristik Struktural.....	5
Diagram 2 Timeline Perkembangan Sejarah Struktur Bangunan Bentang Lebar.....	6
Gambar 1 Pantheon, Roma (126 M).....	8
Gambar 2 Hagia Sophia, Istanbul (537 M).....	10
Gambar 3 Crystal Palace, London (1851).....	13
Gambar 4 Sydney Opera House, Sydney (1973).....	17
Gambar 5 Munich Olympic Stadium, Munich (1972).....	20
Gambar 6 Beijing National Stadium, "Bird's Nest" (2008).....	22
Gambar 7 Rumah Gadang, Minangkabau, Sumatera Barat.....	25
Gambar 8 Tongkonan, Toraja, Sulawesi Selatan.....	26
Gambar 9 Gelora Bung Karno, Jakarta (1962).....	28
Gambar 10 Jakarta International Stadium, Jakarta (2022).....	31
Diagram 3 Perbandingan Perilaku dan Distribusi Gaya pada Tiga Sistem Struktural.....	36
Table 3 Klasifikasi dan Karakteristik Jenis Beban pada Struktur Bangunan.....	37
Diagram 4 Aliran Beban (Load Path) dari Sumber hingga Fondasi.....	39
Diagram 5 Empat Jenis Gaya Internal pada Elemen Struktural.....	44
Gambar 11 Contoh Struktur Kabel Gantung - Millennial Bridge, London.....	46
Gambar 12 Contoh Struktur Lengkung - Gateway Arch, St. Louis, USA.....	48

Gambar 13 Detail Sambungan Baja Menunjukkan Distribusi Gaya Geser	49
Gambar 14 Struktur Rangka Ruang (Space Frame) - British Museum Great Court Roof.....	51
Table 4 Perbandingan Sifat Material untuk Struktur Bentang Lebar	52
Gambar 15 Elemen Dasar dan Geometri Struktur Rangka Ruang.....	57
Gambar 16 Interior View Struktur Rangka Ruang Modular.....	58
Gambar 17 Klasifikasi Lapisan Struktur Rangka Ruang.....	59
Diagram 6 Perbandingan Konfigurasi Single-Layer dan Double-Layer Space Frame.....	60
Gambar 18 Penggunaan Struktur Space Frame pada Bangunan Heidar Aliyev Center.....	60
Diagram 7 Prinsip Distribusi Gaya dalam Rangka Ruang.....	61
Diagram 8 Mekanisme Penyaluran Gaya Tiga Dimensi pada Rangka Ruang.....	62
Diagram 9 Perbandingan Sistem Sambungan Node pada Rangka Ruang.....	63
Gambar 19 Detail Sambungan Node Sistem Mero - Koneksi Presisi Tinggi.....	65
Gambar 20 Penggunaan Sambungan pada Struktur Space Frame.....	65
Table 5 Perbandingan Sistem Sambungan Node pada Rangka Ruang.....	66
Table 6 Karakteristik Material dan Profil Batang untuk Space Frame.....	67
Gambar 21 Proses Konstruksi Space Frame - Jacking Method.....	70
Table 7 Rekomendasi Pemilihan Material pada Struktur Space Frame.....	70
Gambar 22 Montreal Biosphere - Kubah Geodetik Ikon Ekspo 1967	74
Gambar 23 Louvre Pyramid, Paris (1989).....	76
Gambar 24 Aplikasi Space Frame di Indonesia - Terminal 3 Bandara.....	79
Gambar 25 Aplikasi Space Frame di Indonesia - Jakarta Internasional Stadium (JIS).....	83
Diagram 10 Bentuk Alami Kabel di Bawah Berbagai Jenis Pembebanan.....	87
Diagram 11 Fenomena Instabilitas Aerodinamis pada Struktur Kabel.....	89

Diagram 12 Sistem Jembatan Gantung (Suspension Bridge) - Skema Golden Gate Bridge.....	91
Diagram 13 Perbandingan Suspension Bridge vs Cable-Stayed Bridge System.....	92
Diagram 14 Jaring Kabel (Cable Net) - Struktur Permukaan Lengkung Ganda 3D.....	93
Table 8 Perbandingan Sistem Kabel pada Struktur Bentang Lebar.....	94
Diagram 15 Detail Sambungan Kabel dan Sistem Penahan Gaya Horizontal.....	97
Table 9 Karakteristik Material Kabel Baja Tarik Mutu Tinggi.....	97
Gambar 26 Golden Gate Bridge - Detail Sistem Kabel Utama dan Tower Saddle.....	102
Gambar 27 Munich Olympic Stadium - Inovasi Cable Net (Jaring Kabel) oleh Frei Otto (1972).....	107
Gambar 28 Millau Viaduct - Sistem Cable-Stayed dengan Tower 343 Meter.....	111
Table 10 Perbandingan Aplikasi Kabel - Case Studies Real-World.....	112
Diagram 16 Perbandingan Aliran Gaya - Balok Sederhana vs Lengkungan..	119
Diagram 17 Bentuk Geometri Lengkungan Optimal Berdasarkan Jenis Pembebanan.....	121
Diagram 18 Tiga Sistem Lengkungan Berdasarkan Konfigurasi Tumpuan.....	123
Table 11 Perbandingan Tiga Sistem Lengkungan Berdasarkan Tumpuan.....	123
Diagram 19 Aliran Gaya Internal - Bagaimana Lengkungan Mengalihkan Beban Lebih Efisien.....	126
Table 12 Karakteristik Material Lengkungan - Sifat Mekanis dan Aplikasi.....	127
Gambar 29 Pantheon, Roma (125 M.) - Kubah Beton Berdiameter 43.3 Meter.....	133
Gambar 30 Sydney Harbour Bridge, Australia (1932) - Lengkungan Baja 503 Meter.....	136
Gambar 31 Gateway Arch, St. Louis, USA (1965) - Monument Lengkungan Baja 192 Meter.....	140

Diagram 20 Gaya Dorong Horizontal dan Persyaratan Fondasi Lengkungan	142
Diagram 21 Fenomena Tekuk Elastis dan Mode-Mode Kegagalan Lengkungan	143
Diagram 22 Klasifikasi Gaussian Curvature dan Implikasi Struktural.....	148
Diagram 23 Tiga Tipe Cangkang–Geometri, Aliran Gaya, dan Performa Struktural.....	150
Table 13 Perbandingan Tiga Tipe Cangkang Berdasarkan Geometri dan Performa Struktural.....	150
Diagram 24 Aksi Membran Ideal vs Aksi Lentur Nyata pada Struktur Cangkang.....	152
Table 14 Karakteristik Material untuk Struktur Cangkang.....	154
Gambar 32 Dulles International Airport Terminal–Cylindrical Vault Monumental Eero Saarinen.....	160
Gambar 33 Gereja Katedral Jakarta - ribbed vault cangkang beton	163
Diagram 25 Perbandingan Aksi Membran Ideal vs Aksi Lentur pada Struktur Bearing	168
Diagram 26 Empat Tipe Geometri Membran–Karakteristik Stress, Efisiensi, dan Aplikasi Struktural.....	171
Table 15 Perbandingan Empat Tipe Geometri Membran: Dome, Hypar, Minimal Surface, Conoid	171
Diagram 27 Analisis Distribusi Stress Meridional dan Circumferential pada Dome Spherical Membran	175
Diagram 28 Perbandingan Material Fabric Membran–Properti Mekanis, Durabilitas, dan Performance Lifecycle di Iklim Tropis Indonesia.....	176
Table 16 Perbandingan Material Membran: Properti, Durabilitas, dan Kesesuaian Indonesia Tropis.....	178
Gambar 34 Millennium Dome / O2 Arena–World's Largest Tensile Membrane Dome (1997)	186

Gambar 35 Serpentine Pavilion Series—Innovation dalam Temporary Tensile Structures (2003-2024).....	192
Diagram 29 Bending vs Membrane Action (Folded Plate).....	197
Diagram 30 Four Folded Plate Geometry Types.....	199
Table 17 Perbandingan Empat Tipe Lipatan: Karakteristik Struktural dan Aplikasi.....	199
Diagram 31 Ridge Line Analysis & Force Transfer.....	201
Table 18 Material dan Sistem Konstruksi untuk Struktur Lipatan	202
Diagram 32 Folded Plate vs Cylindrical Shell Comparison.....	203
Diagram 33 Construction Sequence & Detail.....	204
Gambar 36 Habitat '67, Montreal (1967).....	208
Gambar 37 Kimbell Art Museum, Fort Worth (1972).....	212
Diagram 34 Pneumatic Principles - Pressure & Stress.....	217
Diagram 35 Three Types of Pneumatic Structures	219
Table 19 Perbandingan Tipe-Tipe Struktur Pneumatik.....	220
Diagram 36 Air-Tightness & Sealing Details	222
Table 20 Sifat-Sifat Material Pneumatik.....	222
Gambar 38 Eden Project Biomes, Cornwall UK (2001).....	232
Gambar 39 Temporary Stadium Air Dome.....	235
Gambar 40 Agricultural Storage / Emergency Shelter.....	236
Diagram 37 Failure Modes & Redundancy.....	238
Diagram 38 Aerodynamics Instability & Mitigation Strategies.....	246
Diagram 39 Indonesia Context - Opportunities & Challenges Assessment	253
Gambar 41 Cable-Stayed Bridge	263
Gambar 42 Arch Bridge.....	264
Diagram 40 Aesthetic Expression & Material Character.....	267

Gambar 43 Stadium/Membrane	268
Diagram 41 Structural System Selection - Decision Framework Scorecard	270
Diagram 42 Embodied Carbon Comparison - Materials & Systems.....	274
Table 21 Material Carbon Intensity & Properties Reference Data	274
Diagram 43 Material Innovation Comparison - Advanced vs Conventional Materials.....	281
Table 22 Rule of Thumb Quick Reference & Load Estimation.....	294
Diagram 45 Form-Finding Methodology & Decision Framework.....	300
Diagram 46 Evolution of Wide-Span Structures: Three Dimensions of Progress	310
Table 23 Struktur Bentang Lebar: Peluang vs Batasan dan Trade-offs Desain Strategis.....	311
Diagram 47 Trinitas Terintegrasi: Proses-Bentuk-Material-sebagai Faktor Keberhasilan yang Saling Bergantung.....	314
Table 24 Konteks Indonesia: Faktor Geografis dan Lingkungan Untuk Desain Struktur Bentang Lebar.....	320