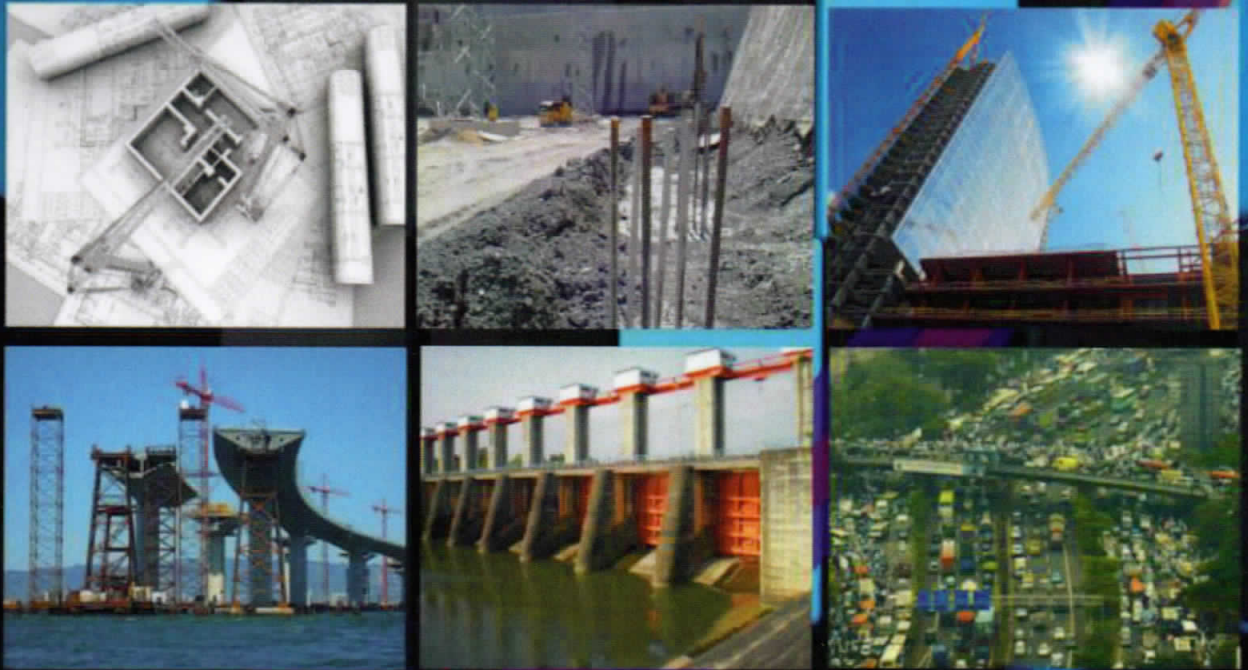


ISSN : 251-0318 (Online)
ISSN : 251-2884 (Print)

AGREGAT



Vol.5, No.1, Mei 2020



Dipublikasikan oleh
Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Susunan Dewan Redaksi
Jurnal "AGREGAT" Teknik Sipil FT UMSurabaya
No. ISSN: 2541-0318 (Online)
No. ISSN: 2541-2884 (Print)

Pembina:

- Dekan Fakultas Teknik : Ir. Gunawan, M.T.
- Kaprodi : Miftachul Huda, S.Pd. M.T.

Ketua:

- Anna Rosytha, S.T., M.T.

Editor

- Adhi Muhtadi, S.T., S.E., M.Si., M.T. (Universitas Narotama)
- Candra Irawan S.T., M.T. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Puguh Novi Prasetyono, S.Pd., M.T. (Universitas Negeri Surabaya)
- Ir. Zainal Abidin, M.T. (Universitas Muhammadiyah Surabaya)
- Ir. Isnaniati, M.T. (Universitas Muhammadiyah Surabaya)

Reviewer

- Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Harun Al Rasyid, S.T., M.T., Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Dr. Ir. Dadang Supriyatno, M.T. (Universitas Negeri Surabaya)
- Dr. Ir. Suharjoko, M.T. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Freddy Kurniawan, S.T., M.Eng., Ph.D. (Universitas Narotama)
- Ir. Zainal Abidin, M.T. (Universitas Muhammadiyah Surabaya)
- Ir. Isnaniati, M.T. (Universitas Muhammadiyah Surabaya)

Kesekretariatan

- Anoech Tri Pangastuti, S.T.

Alamat redaksi :
Program Studi teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Sutorejo 59 Surabaya 60113
Tlp : 031-3811966
Fax : (031)3813096
Email : agregat@um-surabaya.ac.id
Homepage : <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/Agregat>

DAFTAR ISI

	halaman
SUSUNAN DEWAN REDAKSI	i
TERBIT DAN FOKUS BIDANG	ii
PETUNJUK PENULISAN ARTIKEL ILMIAH	iii
DAFTAR ISI	vi
KATA PENGANTAR	vii
PRIORITAS	viii
ANALISIS KINERJA BUNDEAN DI BUNDEAN NGANJUK UNTUK PERENCANAAN JALAN TOL KERTOSONO – KEDIRI (R. Endro Wibisono, Muhammad Shofwan Donny Cahyono, Adhi Muhtadi)	381-386
KAJIAN METODE STRUKTUR PELAT KONVENSIONAL TERHADAP PELAT PRACETAK SEGMENTAL DAN PELAT BONDEK DITINJAU DARI SEGI WAKTU, BIAYA DAN STRUKTUR (Eko Adityo, Darman Katni, Arifien Nursandah)	387-395
PERENCANAAN SISTEM INFORMASI MANAJEMEN JADWAL DAN BIAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE <i>EARNED VALUE</i> PADA PROSES MANAJEMEN KONSTRUKSI (Yungky Sasmita Prasetya, Darman Katni, Arifien Nursandah)	396-405
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN DATA CPT (<i>CONE PENETRATION TEST</i>) STUDI KASUS PROYEK-X DI SURABAYA PUSAT (Irmasanti, Isnaniati, Himatul Farichah)	406-415
ANALISIS MANAJEMEN PELAYANAN PUBLIK BAGI PENGGUNA KERETA API LRT DI KOTA PALEMBANG (Handoko)	416-421
IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN KECELAKAAN SEBAGAI DASAR PEMBUATAN BUKU PEDOMAN TEKNIS PENANGANAN KECELAKAAN (STUDI KASUS: BEBERAPA RUAS JALAN DI WILAYAH KOTA SURABAYA PROVINSI JAWA TIMUR) (Dadang Supriyatno)	422-427
STRUKTUR CANGKANG BENTUKAN BEBAS DENGAN MATERIAL NON-BETON BERTULANG : PENUNJANG ARSITEKTUR ORGANIK (Fibria Conyatin Nugrahini)	428-436
UCAPAN TERIMAKASIH	

STRUKTUR CANGKANG BENTUKAN BEBAS DENGAN MATERIAL NON-BETON BERTULANG : PENUNJANG ARSITEKTUR ORGANIK

Fibria Conytin Nugrahini¹⁾

¹⁾Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surabaya
Jl. Sutorejo 59, Kode pos 60113
Email: fibrisan@gmail.com

Abstract

A shell is a structure with the force distribution in the entire surface of the shell. The free-form shells are the type of shells that are not fixed with particular curve shapes, such as a single curve or a double curve. Free-form shells are more flexible to follow the architect's imagination aided by using digital-computer aided design. The free-form shells are widely used in organic architecture which is an arch that wants closeness to nature, such as glass cover material. This article is a review of precedent studies of the design and construction aspects of the free-form shell with non-concrete material that supports the realization of organic architecture. The research method uses secondary data reference studies from various literature.

Keywords: Free-form shells, organic architecture, construction, design, non reinforced shells.

Abstrak

Cangkang adalah struktur dengan penyebaran gayanya yang merata pada seluruh permukaan cangkangnya. Cangkang bentukan bebas merupakan salah satu jenis cangkang yang tidak terpaku dengan bentuk kurva tertentu, seperti kurva tunggal dan kurva ganda. Bentuk cangkang bentukan bebas lebih fleksibel mengikuti imajinasi arsitek dibantu dengan menggunakan *digital-computer aided design*. Cangkang bentukan bebas banyak dipakai pada arsitektur organik yang merupakan arsitektur yang mempunyai karakter bentukan-bentukan alami yang ada pada alam. Dalam perkembangannya beberapa alternatif penggunaan material struktur dan penutupnya berkembang dewasa ini, sehingga menunjang arsitektur organik yang menginginkan adanya kedekatan dengan alam, seperti material penutup berupa kaca. Artikel ini merupakan tinjauan studi preseden segi desain dan konstruksi dari cangkang bentukan bebas dengan material non-beton yang menunjang perwujudan arsitektur organik. Metode penelitian menggunakan studi referensi data-data sekunder dari berbagai literatur.

Kata Kunci: Cangkang bentukan bebas, arsitektur organik, konstruksi, desain, cangkang non-beton bertulang.

PENDAHULUAN

Cangkang adalah bentukan yang diinspirasi dari bentukan alam, yaitu rumah keong, kulit telur, rumah siput dan lainnya. Dibandingkan dengan bentangnya, cangkang merupakan struktur yang sangat tipis dan mempunyai lengkungan. Cangkang sistem dua arah mempunyai penyaluran gaya yang menyebar ke permukaannya pada garis kurva yang membujur dan melintang. Perpaduan gaya tarik dan tekan pada permukaan strukturnya menyebabkan cangkang menjadi dinamis dan secara efisiensi strukturalnya kuat. Bentang cangkang bisa mencapai 500 sampai dengan 1500 kali dari ketebalannya. Karena berat dari cangkang sendiri akan dapat memungkinkan untuk bentang yang sangat lebar. Kekakuan cangkang tergantung dari bentuknya dan kondisi pendukung strukturnya.

Cangkang bentukan bebas merupakan cangkang yang mempunyai bentukan yang tidak teratur sehingga lebih rumit baik dalam penyebaran gayanya maupun pencarian bentuknya. Bentuk dan kekuatan yang terbentuk dari cangkang bentukan bebas yang secara geometris tidak teratur sehingga bentuk dan kekuatan lebih rumit dan kompleks (Li, Qingheng, 2018).

Cangkang dengan material non-beton menjadi alternatif untuk membuat cangkang bentukan bebas. Cangkang bentukan bebas dengan material non-beton di masa sekarang ini dibuat dengan teknologi

yang tinggi. Beberapa material non-beton bernilai arsitektur yang tinggi juga baik untuk penggunaan arsitektur organik dimana membutuhkan tampilan yang natural. Material non-beton juga mudah diaplikasikan untuk bentuk-bentuk alam serta bangunan yang harus menyatu dengan alam, serta membutuhkan bentuknya akan menjadi identitas lingkungannya.

Selain adanya kontinuitas antara interior dan eksterior serta menghadirkan bangunan yang menyatu dengan alam, arsitektur organik juga berpegang pada desain yang menciptakan lingkungan yang menyediakan manusia untuk sejenak untuk menyegarkan, merefleksikan diri. Baik dengan penyatuan dengan alam maupun dengan material yang digunakan.

Artikel ini menyajikan studi preseden desain dan konstruksi cangkang bentukan bebas dengan material non-beton pada bangunan dengan arsitektur organik. Diharapkan dengan studi kajian literatur dan preseden dari penggunaan cangkang bentukan bebas dengan material non-beton dapat menjadi referensi untuk perancangan arsitektur organik.

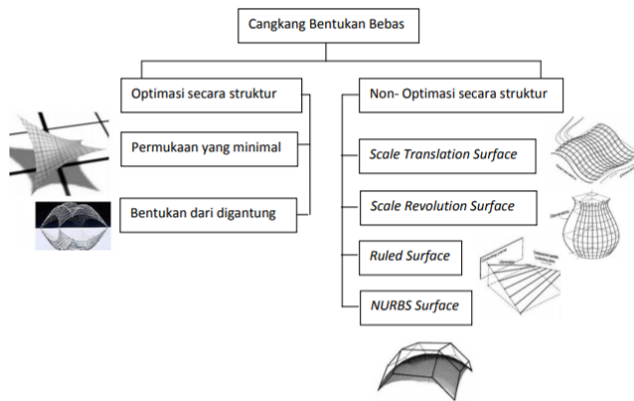
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan studi literatur dan studi preseden dari data sekunder untuk mendapatkan gambaran dan perbandingan bangunan dengan arsitektur organik baik dari desain dan konstruksi masing-masing preseden.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tipologi Cangkang Bentuk Bebas

Tipologi cangkang bentuk bebas dapat dibagi dari pencarian bentuknya digambarkan pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Tipologi Cangkang Bentuk Bebas

Sumber : Novum Structures (2018)

Dalam tipologi cangkang bentuk bebas dengan mengoptimasikan struktur, ada sistem struktur cangkang yang mempunyai permukaan yang minimal. Terdiri dari kurva ganda berfungsi tarik dan tekan atau disebut cangkang antiklastik. Pencarian bentuknya diperoleh dengan perhitungan dan percobaan.

Sedangkan sistem cangkang dengan bentuk digantung merupakan hasil dari percobaan membran atau model yang digantung dan akan terbentuk dari beban grafitasi yang terjadi. Cangkang ini lebih optimal karena model dibuat secara natural dan model yang terjadi akan didapatkan titik node yang kemudian dipindahkan secara digital pada komputer. Penggantungan model menghasilkan struktur yang alami tertarik, sehingga jika dibalik akan menghasilkan struktur alami tertekan. (Asmalji, 2013).

Sedangkan tipologi cangkang bentuk bebas yang tidak menggunakan pendekatan optimalisasi struktur yaitu dengan menggunakan *scale translation surface*, yaitu pemindahan poligon secara paralel dan serentak sehingga dihasilkan permukaan sepanjang poligon garis pedoman dan diskalakan.

Cangkang bentuk bebas menggunakan pencarian bentuk *scale revolution surface* dengan penskalaan bentuk yang diperoleh dengan merotasi poligon sesuai dengan sumbu rotasi.

Sedangkan *ruled surface* merupakan cangkang bentuk bebas dengan memindahkan garis sepanjang dua garis pedoman yang tidak simetris atau miring sehingga menghasilkan bentuk bebas. Atau dapat memindahkan garis miring atau tidak simetris sepanjang garis sumbu dimana tiap hiperboloid dapat dihasilkan dari dua garis yang berbeda.

NURBS Surface (Non Uniform Rational B-Spline) dihasilkan dari jaring/polihedron yang diaplikasikan pada permukaan atau geometri tertentu dan model tertentu dengan tetap menjaga simpul sepanjang area permukaannya. Jenis ini didapat dengan mudah

dengan menempelkan polihedron/ jaring tersebut untuk menghasilkan permukaan dengan kurva ganda dan simpul jaring yang dikontrol pada keseluruhan permukaannya sehingga kelengkungannya rapi.



Gambar 2. Contoh Tipologi Cangkang Bentuk Bebas : (a) Permukaan minimal, (b) *Scale Translation Surface*, (c) *Scale Revolution Surface*, (d) Bentuk dari digantung, (e) *Ruled Surface*, (f) *NURBS Surface*

Sumber : Novum Structures (2018)

Material Cangkang Beton dan Non-Beton

Dari segi material yang digunakan, beton bertulang merupakan bahan bangunan yang sangat cocok untuk menghasilkan permukaan kulit yang halus. Langsung dicetak dan dituangkan di tempat, menciptakan permukaan yang menerus dari penuangannya. Namun tantangan utama terletak pada perancah dan bekisting selama konstruksi (Chilton, 2000). Hal ini menyebabkan memakan waktu, biaya sumber daya yang tinggi sehingga penggunaan cangkang beton mengalami penurunan. Meskipun pada dekade terakhir, teknologi digital (CAD) untuk permodelan dan perhitungan dengan Finite Element Modelling (FEM) memudahkan, namun perkembangannya tidak sejalan dengan proses desain dan rekayasa (Huijben, dkk, 2011). Dari segi ekonomis, penggunaan cangkang bentuk bebas seringkali terbentur pada permasalahan bekisting yang kompleks dan memakan biaya tinggi pada penggunaan beton bertulang.

Material non beton untuk cangkang bentuk bebas dengan menggunakan grid sebagai pengganti beton bertulang berkembang dewasa ini. Material grid yang digunakan bisa berupa kayu, baja hollow, serta penutup berupa panel kaca maupun penutup membran. Material ini menjadi pengganti yang sangat menunjang arsitektur kontemporer khususnya arsitektur organik, terutama dari segi keterpaduan antara interior dan eksterior yang dituntut adanya penyatuan.

Arsitektur Organik

Arsitektur organik adalah aliran yang menyatakan bahwa sebuah bangunan adalah elemen dari lingkungannya sehingga harus berinteraksi dan menyatu dengan lingkungannya. Organik merupakan kesatuan, keterpaduan, bagian dari keseluruhan atau sebaliknya keseluruhan atas bagian. Arsitek yang mempopulerkan antara lain Frank Lloyd Wright, Antonio Gaudi dan Rudolf Steiner.

”What we call organic architecture is no mere aesthetic, nor cult nor fashion but an actual movement based upon a profound idea of new integrity of human life wherein art, science, religion are one: Form and Function seen as One, of such is Democracy.” (Frank Lloyd Wright, 1939, *The Architecture of Democracy*)

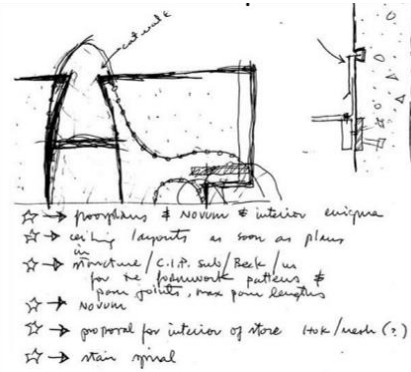
”Apa yang kita sebut organik adalah lebih dari sekedar estetika ataupun mode tetapi perkembangan nyata yang didasari pada ide mendalam akan integritas baru dari hidup manusia dimana seni, ilmu pengetahuan, agama adalah satu. Bentuk dan fungsi terlihat menjadi satu dan itulah demokrasi”(Frank Lloyd Wright, 1939, *The Architecture of Democracy*)

Frank Lloyd Wright meneruskan “*form follow function*” yang menjadi populer sebelumnya menjadi “*form and function are one*”. Bangunan menyatu dengan alam merupakan konsep yang penting dalam arsitektur organik. Selain itu bentuk juga dapat mengambil bentuk-bentuk alam sebagai idenya. Hal ini menjadikan bentuk-bentuk alam selaras dengan tujuannya yang menginginkan bersama dengan alam. Alam dan bangunan menjadi satu, apalagi dengan menambahkan pemecahan permasalahan iklim, material dan topografi, maka arsitektur organik menjadi semakin bermakna. (Widiati, 2014).

Ada beberapa karakter arsitektur organik yang digagas Frank Lloyd Wright antara lain :

- Perkembangan orientasi dari dalam keluar, bahwa sebuah karya arsitektur sangat dipengaruhi oleh lingkungan sekitar dan semestinya mengacu pada tapak yang ada.
- Pada konstruksi dan materialnya menggambarkan karakter lingkungan sekitarnya.
- Pemilihan material dan metode konstruksinya sesuai dengan kondisi alamnya.
- Bentuk-bentuk di alam menjadi sumber ide desain, seperti bentuk pegunungan, hewan dan lainnya.
- Rancangan tampil sesuai dengan waktu, tempat dan tujuannya, tanpa merusak lingkungannya sehingga menciptakan harmonisasi dengan alam. Waktu yaitu menggambarkan bahwa bangunan tidak anti teknologi, tetapi mengikuti perkembangan teknologi. Tempat dimaksudkan bahwa bangunan menjadi identitas dimana bangunan tersebut berada. Dan tujuan dimaksudkan bahwa bangunan harus memperhatikan keinginan penghuninya yang didasari oleh tujuan psikologi dari manusia.

Salvador Dali Museum



Gambar 3. Sketsa Ide Salvador Dali Museum
Sumber : Novum Structures (2018)

Bangunan ini dibangun di St. Petersburg, Florida dengan konsep arsitektur menggunakan cangkang bentukan bebas yang didesain oleh Yann Weymouth dalam tim HOK Architects. Dibuka pada Januari 2011, bangunan ini menyimpan koleksi Dali berupa karya seni, termasuk lukisan, gambar, sketsa, fotografi dan skulptur. Dengan menggunakan material cangkang yang ada pada eksterior bangunan yang terbuat dari konstruksi baja yang menggunakan rangka geodesik yang dinamakan “enigma” dan “igloo”. Cangkang dengan penutup kaca tersebut menghiasi sisi bangunan kotak berpenutup beton bertulang.

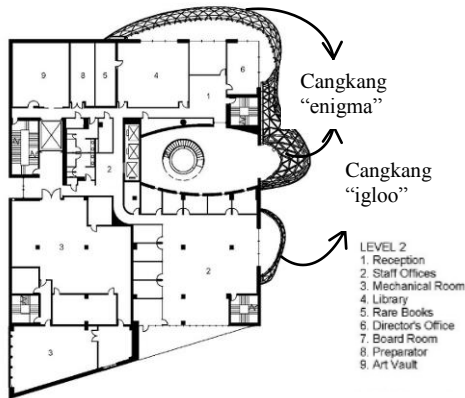
Ide desain dari cangkang enigma ini didasari pada Dali sebagai seniman dengan karyanya yang mengagumi bentuk dari alam dan matematika alam. Karyanya berupa karya realitas dan organik. Enigma ini diinspirasi dari hal tersebut dengan membuat perpaduan geometri dan bentuk organik.

Bangunan museum pada awalnya mempunyai bangunan lama, dan menginginkan adanya tambahan pada bangunan lamanya. Namun pihak konsultan yang memenangkan kompetisi meyakinkan pihak museum bahwa menambah struktur lama akan mahal dan rapuh dibandingkan membangun baru akan jauh lebih baik.



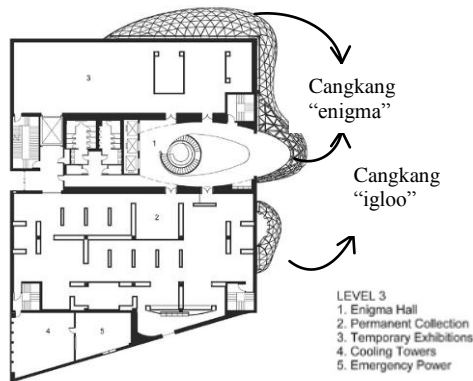
Gambar 4. Denah Lantai 1 Salvador Dali Museum
Sumber : <https://www.archdaily.com>

Cangkang kaca tersebut dapat diakses di lantai 1 pada entrance, museum store, atrium cafe dan multi purpose room.



Gambar 5. Denah Lantai 2 Salvador Dali Museum
Sumber :<https://www.archdaily.com>

Cangkang kaca tersebut dapat diakses di lantai 2 pada resepsionis, staff office dan atrium.

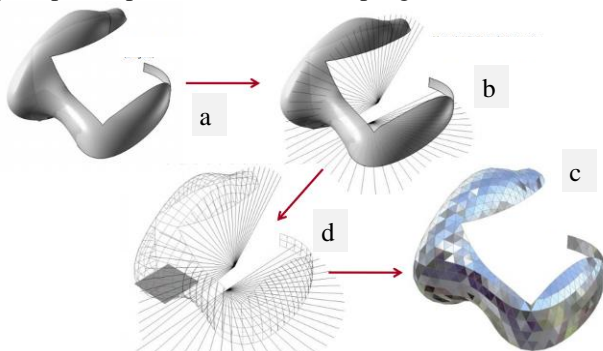


Gambar 6. Denah Lantai 3 Salvador Dali Museum
Sumber :<https://www.archdaily.com>

Pada lantai 3 eksistensi cangkang semakin dekat dan menyatu dengan pengunjung.

Konstruksi Cangkang

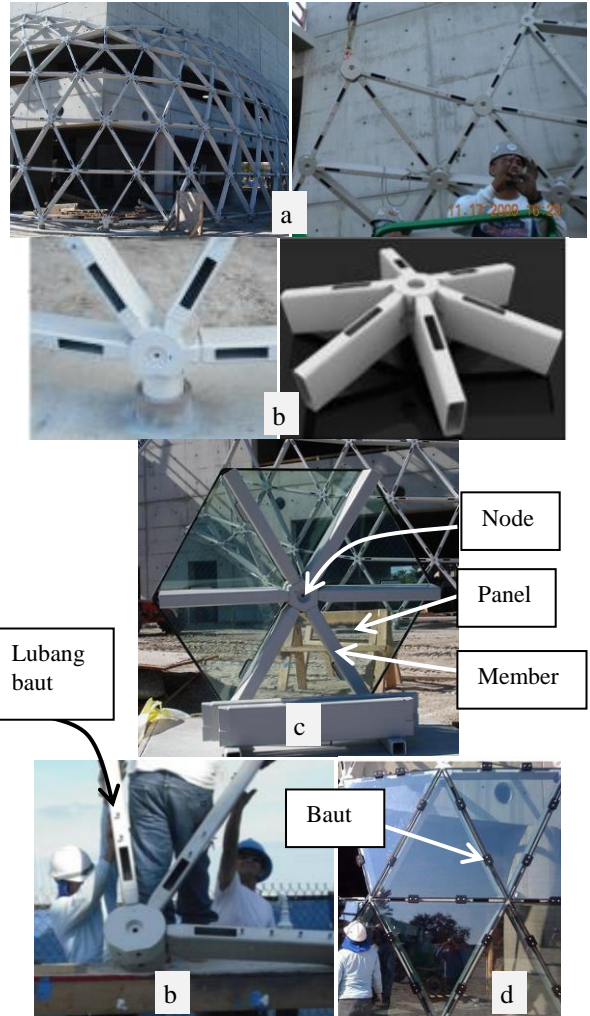
Panjang struktur cangkang yang ada mempunyai panjang 37m, lebar 30m dan tinggi cangkang 23m. Mempunyai jumlah node simpul sebanyak 815, dan elemen rangka baja mempunyai jumlah 1613 batang. Panel kaca yang digunakan sebanyak 900 bentuk segitiga. Termasuk dalam cangkang geodesik membuat segitiga pada tiap panel merupakan bentuk yang paling baik, karena pada tegangan yang tinggi bentuk segitiga justru semakin kuat. Tidak ada dua panel kaca yang identik pada konstruksinya, dan hal ini didapatkan secara mendetail pada proses pencarian bentuk dan pengukuran detail.



Gambar 1. Denah Lantai 2
Sumber :Novum Structures (2018)

- Ide permukaan NURBS (enigma)
- Pembagian bidang secara manual
- Pembagian bidang menghasilkan dimensi yang terkontrol sebagai pola tiap grid yang berbeda sekaligus kontrol tepi untuk menghindari cangkang bergelombang.
- Menghasilkan grid pada permukaan cangkang bentuk bebas.

Model CAD yang sudah dihasilkan ditransfer untuk digunakan sebagai parameter pemotongan hollow baja secara otomatis.



Gambar 7. Konstruksi dan Detail Salvador Dali Museum
Sumber :Novum Structures (2018)

- Grid cangkang yang sudah terpasang, tinggal memasang panel kaca
- Rangka baja grid dengan lubang untuk baut untuk pemasangan panel kaca.
- Komponen rangka baja terdiri dari node, member dan panel kaca.
- Panel kaca yang sudah dipasang

Kaca mempunyai kekakuan dan kuat tekan yang sangat tinggi. Selain itu dengan material penutup kaca dan teknik pembuatan yang menggunakan teknologi tinggi memungkinkan penggunaan material kaca yang semakin luas.

Arsitektur Organik

Dengan keberadaan cangkang kaca ini cahaya alami dapat masuk memberikan nuansa yang dramatis dan menakjubkan. Cangkang ini memberikan pula pandangan pada formasi batu cadaques di luar bangunan yang menambah suasana sepadu dengan lukisan-lukisan dalam museum Dalli. Hal ini selaras dengan karakteristik dari arsitektur organik.



Gambar 8. Eksterior dan Interior Salvador Dali Museum
Sumber :<https://www.archdaily.com>

Bangunan memberikan suasana yang tidak terlupakan bagi para pengunjung, dan memberikan view yang unik dari dalam dan luar bangunan menuju pantai St. Petersburg. Sebuah survei yang dilakukan oleh pihak museum menyatakan bahwa para pengunjung sebanyak 70% datang ke Dalli museum karena ingin melihat bangunan dan suasana yang dihasilkan. Para pengunjung membawa kesan yang mendalam dari hal-hal yang dihadirkan oleh museum Dalli, perpaduan karya seni, view dan dramatisasi cangkang kaca yang menciptakan keterpaduan. (Weymouth, Inhabitat.com).

Sebuah karya arsitektur organik yang menyajikan keterpaduan antara alam, bentuk yang alami dan teknologi cangkang grid. Material penutup kaca serta bentuk cangkang bentukan bebas yang selaras dengan alam dan menyatu dengan bentuk batu-batuan yang berada di luar bangunan. Selain itu bangunan ini selaras dengan karakter arsitektur organik menjadi identitas bagi lingkungannya.

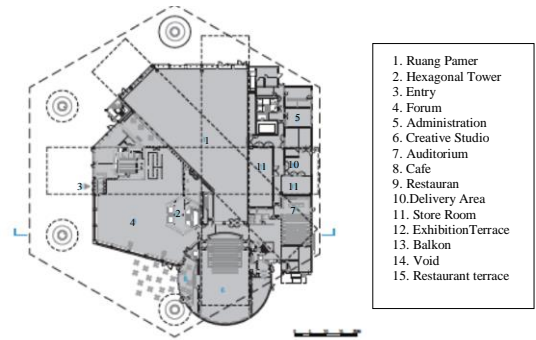
PompidouCentre, Metz



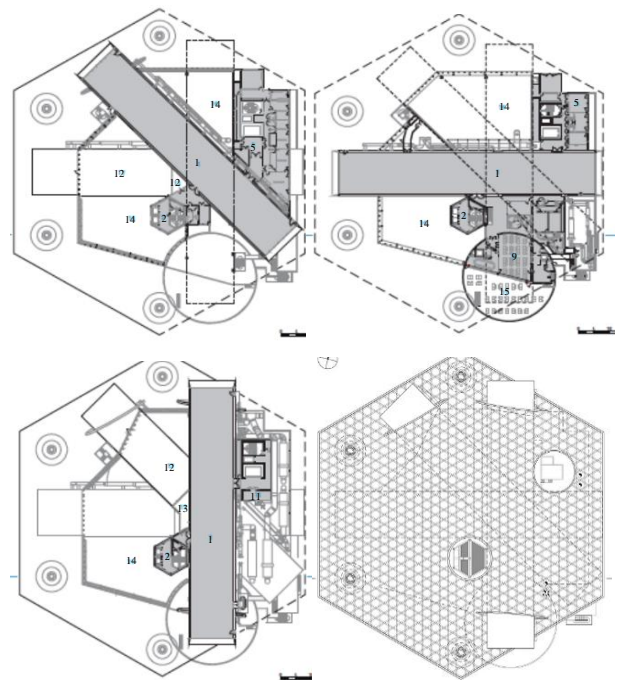
Gambar 9. Ide Desain & Perspektif Pompidou Centre Metz
Sumber: www.bamboonet.com.br (kiri)
www.aasarchitecture.com(kanan)

Centre Pompidou, Metz adalah bangunan pusat seni, pertunjukan, budaya dan ruang pameran. Didesain oleh Shigeru Ban dan Jean De Gastines, filosofi desain dari cangkang bangunan centre pompidou berasal dari anyaman bambu topi cina/ chinese hat.

Anyaman bambu pada topi merupakan sebuah bentukan yang secara struktural sama dengan struktur cangkang. Mempunyai ketebalan yang tipis namun mampu membentangi lebar topi, juga mempunyai lengkungan. Pencarian geometri cangkang dicari dengan menggunakan perangkat digital pencari bentuk.



Gambar 10. Denah Lantai 1 Pompidou Centre Metz
Sumber :<https://aasarchitecture.com>



Gambar 11. Denah Lantai 2,3,4 dan Atap Pompidou Centre Metz

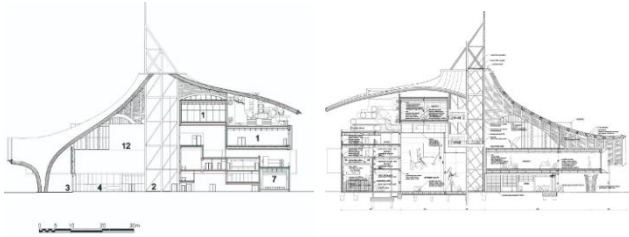
Sumber :<https://www.archdaily.com>

Cangkang melingkupi bangunan pada lantai atas sampai menjutai ke bawah. Dibeberapa sisi cangkang tertembus oleh kotak panjang di lantai 2, 3, dan 4 yang berfungsi sebagai ruang pameran. Kotak persegi panjang dirotas sebesar 45° di lantai 2 dan 90° di lantai 3 dari kotak persegi panjang di lantai 4. Kotak panjang di lantai 2, 3, dan 4 berfungsi sebagai ruang pameran.

Lantai 2,3 dan 4 dihubungkan oleh sebuah tower berisi lift dan juga 2 tangga manual yang juga merupakan jalur darurat sebagai penghubung vertikal.



Gambar 12. Maket Pompidou Centre Metz
Sumber: <https://www.inexhibit.com>



Gambar 13. Potongan Pompidou Centre Metz
Sumber: <https://www.archdaily.com>

Konstruksi cangkang

Atap cangkang menutupi sampai dengan lebar 90 meter, dengan bentuk hexagon terbuat dari balok kayu yang hexagonnya berjarak 2,9 m dengan berat total atap cangkang kayu seberat 650 ton. Luasan area atap cangkang mencapai 8000 m². Material yang digunakan berupa balok kayu *glue laminated* yang ketahanan yang tinggi dan memungkinkan bentang yang lebar.

Terdiri dari dua layer ditumpangkan dengan tiga arah dan keseluruhan dipilin membentuk sebuah hexagon yang diaplikasikan pada atap bangunan. Keseluruhan jala kayu mencapai 18 km terdiri dari 16000 batang dengan menggunakan kayu cemara Austria dan Swiss.

Setiap balok menggunakan mesin CNC untuk pemotongannya, sehingga memungkinkan menghasilkan lengkung multi arah yang tiap bagiannya unik. Semua pemotongan membutuhkan tiga perempat tahun untuk membuat semua bagian. Setelah itu membutuhkan waktu 10 bulan persiapan dan 4 bulan pemasangan untuk jala kayu tersebut



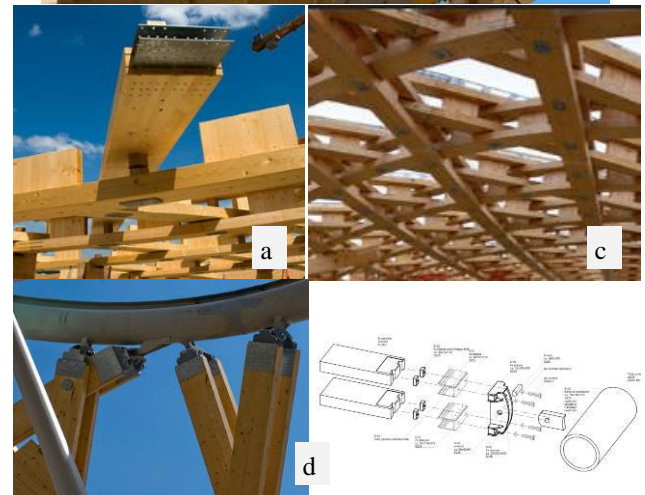
Gambar 14. Proses Konstruksi Pompidou Centre Metz
Sumber : Mossot 2010, wikipedia

Pada atap cangkang tersebut dilapisi dengan lapisan tahan air PTFE (Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene), yang menjaga suhu dan melindungi kayu dari panas, hujan, angin dan menjaga kebutuhan energi secara alami. Selaput tersebut tembus cahaya membiarkan cahaya sebesar 15% sehingga pada malam hari dapat menikmati

secara lebih jelas struktur cangkang heksagonal pada malam hari.



Gambar 15. Penunpu Atap Pompidou Centre Metz
Sumber: <https://www.centrepompidou-metz.fr>



- a. Lembaran plat baja sebagai pasak untuk sambungan kayu
- b. Sambungan kayu dengan ujung bawah atap.
- c. Tampilan atap yang sudah jadi dari dekat
- d. Sambungan antara kayu pada ujung atas lubang atap cincin metal.

Gambar 16. Detail Konstruksi Pompidou Centre Metz
Sumber : Designtoproduction, flickr.com

Arsitektur Organik

Penggunaan kayu dipilih sebagai bahan yang tidak habis dan mudah didaur ulang. Dua taman yang terdapat di luar mengelilingi bangunan serta teras yang landai yang memiliki jalur pejalan kaki ke arah stasiun kereta api.

Penyatuan dengan alam terasa pada desain bangunan dengan adanya cangkang menambah suasana menyatu dengan alam. Menambah suasana dramatis dari cangkang yang dihasilkan dengan cahaya yang menerangi bangunan. Bentuk bangunan juga mengambil bentuk yang natural dari topi, memperkuat arsitektur organik yang ditampilkan oleh bangunan ini. Pantulan cahaya pada malam hari tertampak dari bangunan pada malam hari

menggambarkan bahwa bangunan ini memberikan identitas yang kuat pada lingkungannya.

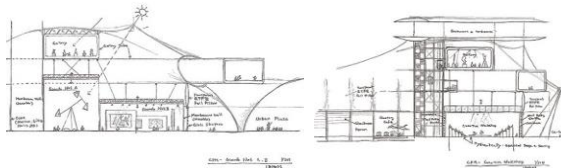


Gambar 17. Interior Pompidou Centre Metz
<https://architizer.com>
(kiri)<https://www.archdaily.com>(kanan)



Gambar 18. Eksterior Malam Hari Pompidou Centre Metz
Sumber :<https://www.dezeen.com>

Bangunan dirancang memenuhi kriteria pembangunan berkelanjutan dan menjadikan Pompidou Centre Metz sebagai patokan inovasi dalam dunia konstruksi.



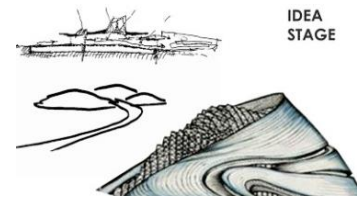
Gambar 19. Konsep Sustainable Pompidou Centre Metz
Sumber :<https://www.architectsjournal.co.uk/>

Harbin Opera House

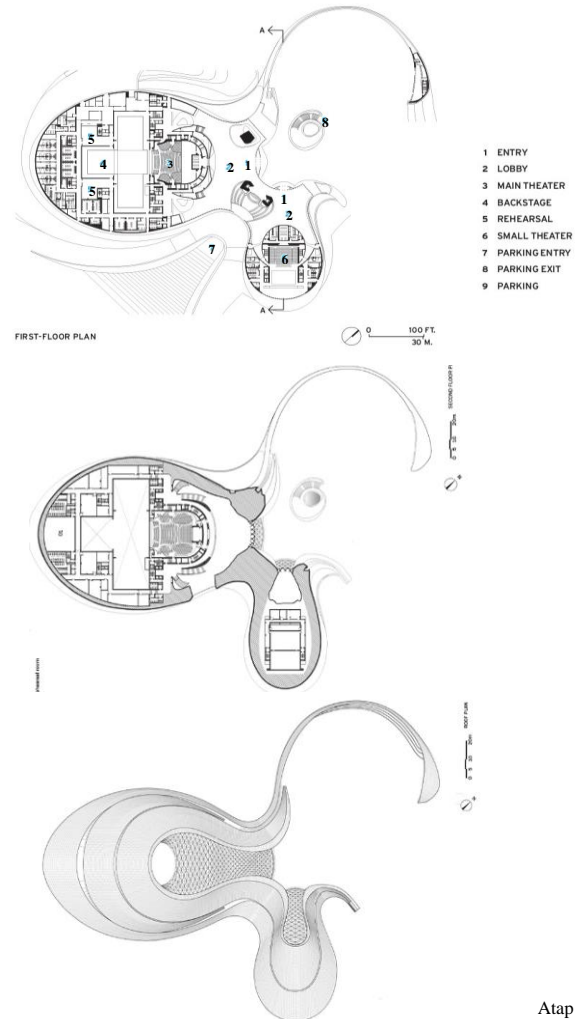
Bangunan Harbin Opera House adalah bagian dari *Harbin Culture Land*, Cina. Merupakan kompleks seni yang baru dikembangkan diantara sungai Songhua. Didesain oleh tim MAD Architects (yang memenangi kompetisi pada tahun 2010), mempunyai area konstruksi sebesar 79000m². Bangunan ini merupakan bangunan milik pemerintah kota Harbin diselesaikan pada tahun 2015.

Bangunan ini didesain tidak terletak pada pusat kota, tetapi terletak di area budaya direncanakan untuk menyatu dengan alam, salju pada musim dingin yang menghadirkan lingkungan yang terintegrasi dan terpadu dalam alam, budaya dan seni. Dekat dengan *Harbin Labor Recreation Center*, *Harbin Great Square* dan *Wetland Park* terpadu dalam *Harbin Culture Land*.

Proses pencarian ide, arsitek berdiri dan memperhatikan alam, salju dari pulau Harbin tersebut. Membuat beberapa sketsa ide dan kemudian mengkomputerisasikan ide awal dengan progressif melalui desain digital. Gambar 20 memperlihatkan sketsa ide awal dalam proses pencarian bentuk bangunan yang dibentuk oleh struktur cangkang bentukan bebasnya.



Gambar 20. Sketsa Ide Harbin Opera House
<http://archisupertorture.blogspot.com>
Denah bangunan dapat dilihat pada gambar 21 menunjukkan ruangan teater utama, teater kecil



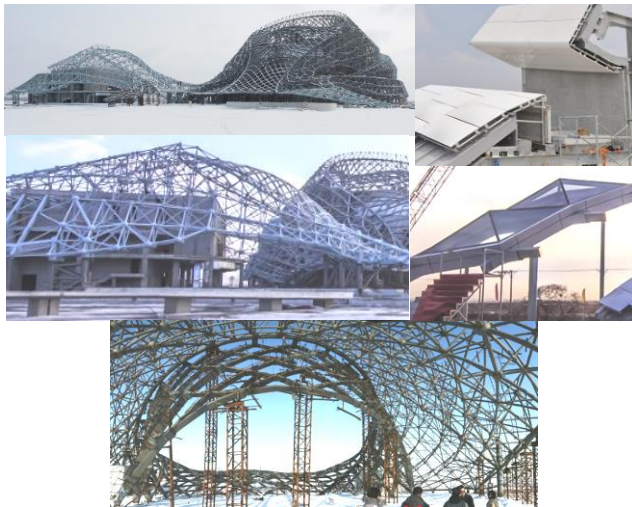
Gambar 21. Denah Lt 1, 2, dan Atap Harbin Opera House
Sumber :<https://www.archdaily.com>

Desain menyajikan cangkang yang transparan ketika pertama kali memasuki area bangunan ini. Dapat dilihat pada gambar atap, cangkang kaca dengan bentukan yang dramatis dan mewah menangkap pandangan pengunjung secara langsung.

Konstruksi Cangkang

Konstruksi cangkang menggunakan desain komputer yang canggih. Desain dapat menghasilkan output geometris yang dihasilkan dengan algoritmanya sehingga menghasilkan permodelan, struktur dan menghasilkan desain akhir serta konstruksi. Untuk rangka baja ringan diagrid menjadi struktur utama cangkang kaca

dan rangka ruang menjadi struktur dengan lapisan sandwichpanel penutup aluminium.



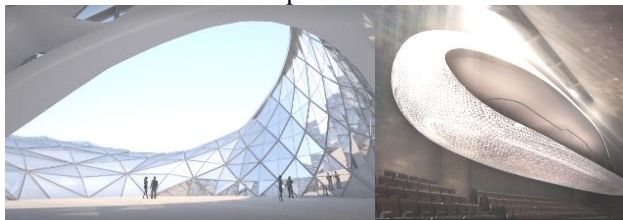
Gambar 22. Konstruksi Atap Harbin Opera House
Sumber :<https://www.archdaily.com>

Piramida transparan dengan kaca kristal dirancang secara detail terhadap keseluruhan lengkung 3D dengan setiap piramida tidak sama satu dengan yang lainnya. Setiap piramida kaca terdiri dari segitiga dengan ukuran berbeda. Kaca yang digunakan mempunyai isolasi termal yang baik dengan tiga lapis 10FT + 12A + 8FT + 12A + 8FT + PVB + 8FT dan menutupi area yang luas.

Arsitektur Organik



Gambar 23. Site dan Eksterior Harbin Opera House
Sumber :<https://divisare.com>



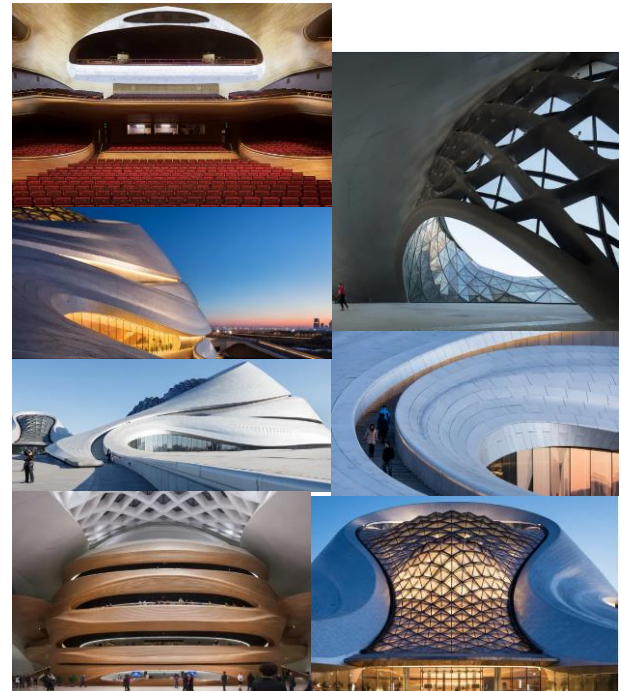
Gambar 24. Interior Harbin Opera House
Sumber : archdaily.com

Selaras dengan arsitektur organik, pengunjung dibuat menjadi pemain yang akan menikmati desain bangunan dan berinteraksi dengan bangunan serta menjadi tempat yang menyegarkan pikiran serta tempat relaksasi. Lansekap diluar yang berliku menjadikan hubungan yang harmoni antara bentuk bangunan dan lingkungan sekitarnya.

Mempunyai tangga melingkari bangunan yang mengarahkan pengunjung ke arah atas puncak seperti

diatas sebuah gunung. Diatas dapat menikmati alam sekitar yang apabila musim salju jalanan putih menyatu dengan warna bangunan. Ketika menuruni tangga seolah olah sedang menjelajahi bangunan yang melebur dengan topografi dengan permukaan bangunan yang halus dari aluminium serupa dengan salju berpadu dengan permukaan yang faceted dirupakan dengan es.

Identitas bangunan menjadi kuat seperti sebuah gunung dengan lekukan yang dipahat oleh angin dan air menjadikan Harbin Opera House pertunjukan bagi lingkungan sekitarnya menyatu dengan pulau Harbin yang diharapkan menjadi pusat budaya kota Harbin.



Gambar 25. Ekspresi Arsitektur Organik Harbin Opera House
Sumber :<https://divisare.com>

KESIMPULAN

Struktur cangkang dapat memberikan nilai tambah pada bangunan dalam perwujudannya sebagai identitas pada lingkungannya. Hal ini disebabkan bentuk cangkang bentuk bebas mempunyai inovasi, kreatifitas dan ide yang bervariasi. Hal itu didukung oleh penggunaan bentuk-bentuk alam yang selaras dengan ide desain dari arsitektur organik yang menyatakan bangunan harus terpadu dengan alam dan lingkungannya.

Penggunaan cangkang dengan material non-beton bertulang menawarkan keterpaduan dengan alam dengan bentuk yang lebih flexibel dan dapat dipadukan dengan cangkang material beton sehingga kesan kaku dapat dihilangkan, Penggunaan cangkang bentuk bebas dengan material non- beton sejalan dengan karakter dan ide desain dari arsitektur organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Rattenbury, John(2000). *A Living Architecture: Frank Lloyd Wright and Taliesin Architects*.
- Chilton, John(2000). *Space Grid Structures*. Architectural Press, Oxford.
- Novum Structures (2018). “*Grid Shell Structure on Freeform Surfaces*”.
- Z. Asmaljee(2013). “Form-Finding of Thin Shell Structures.” Master Thesis, Faculty of Engineering and the Built Environment University of Witwatersrand.
- Anne Bagger(2010). “Plate Shell Structures of Glass, Studies Leading to Guidelines for Structural Design.” Ph.D. Thesis Department of Civil Engineering Technical University of Denmark
- Huijben, dkk(2011).“Concrete Shell Structures Revisited: Introducing A New ‘Low-Tech’ Construction Method Using Vacuumatics Formwork.”International Conference On Textile Composites And Inflatable Structures Structural Membranes.
- Titiani Widati (2014) “Rumah Usonian Sebagai Penerapan Arsitektur Organik Frank Lloyd Wright.” Jurnal Perspektif Arsitektur, Vol.9, No.2, Desember 2014, Hal 2-4.
- .Qingpeng Li (2018). “Form Follows Force aTheoretical Framework for Structural Morphology, and Form-Finding Research on Shell Structures.” Doctor Thesis, Architecture and the Built Environment,Delft University of Technology.
- Dlubai Software GmbH(2013). “Salvador Dalí Museum in Florida, USA”, 1April2013<<https://www.dlubal.com/en/downloads-and-information/references/customer-projects/000667?industry=buildings>> [diakses pada 13 Mei 2020].
- Diane Pham(2014). “INTERVIEW: HOK’s Yann Weymouth Discusses Designing the Hurricane-Resistant Salvador Dalí Museum”, 18 November 2014,<<https://inhabitat.com/interview-hoks-yann-weymouth-discusses-designing-the-hurricane-resistant-salvador-dali-museum/>>[diakses pada 14 Mei 2020].
- Bonnie Sui. “An architectural tour around the \$36 million Salvador Dalí Museum :The New Museum Dedicated to The Artist in St. Petersburg, Florida, Makes for an Immersive Visitor Experience”.<<https://uk.phaidon.com/agenda/architecture/picture-galleries/2011/march/22/an-architectural-tour-around-the-36-million-salvador-dali-museum/>>[diakses pada 14 Mei 2020].
- Rose Etherington(2010). “Centre Pompidou-Metz by Shigeru Ban”, 17 Februari 2010, <<https://www.dezeen.com/2010/02/17/centre-pompidou-metz-by-shigeru-ban/>> [diakses pada 15 Mei 2020].
- Ridhika Naidoo(2009). “The Metz Centre Pompidou Roof Structure Construction Complete”, 4 September 2009,<<https://www.designboom.com/architecture/the-metz-centre-pompidou-roof-structure-construction-complete/>> [diakses 15 Mei 2020].
- Aasarchitecture.com(2013). “Centre Pompidou-Metz By Shigeru Ban Architects”, 7 Mei 2013, <<https://aasarchitecture.com/2013/05/centre-pompidou-metz-by-shigeru-ban-architects.html/>> [diakses 16 Mei 2020].
- Will Hunter (2014). “Centre Pompidou-Metz by Shigeru Ban Architects & Jean de Gastines Architectes, France”, 24 Maret 2014, <<https://www.architectural-review.com/architects/shigeru-ban/centre-pompidou-metz-by-shigeru-ban-architects-and-jean-de-gastines-architectes-france/8600443.article>> [diakses 16 Mei 2020].
- Kurze Werbepause. “A Snowdrift of Steel: Harbin Opera House”, <<https://www.detail-online.com/article/a-snowdrift-of-steel-harbin-opera-house-27120/>> [diakses 16 Mei 2020]
- Divisare.com (2018). “Mad Architects Harbin Opera House”, 5 Februari 2018, <<https://divisare.com/projects/378745-mad-architects-pawel-paniczko-harbin-opera-house>> [diakses 16 Mei 2020].
- Alexandra A. Seno (2015). “Harbin Opera House : The sensual lines of a performing-arts complex express a city's bold bid for attention, 1 Desember 2015”,<<https://www.architecturalrecord.com/articles/11368-harbin-opera-house>> [diakses 17 Mei 2020].
- Diego Hernández (2013). “Harbin Cultural Center / MAD Architects”, 18 Sep 2013. <<https://www.archdaily.com/430314/harbin-cultural-center-mad-architects/>> [diakses 18 Mei 2020].
- Archdaily.com, <https://www.archdaily.com/103728/salvador-dali-museum-hok/571f0b74e58ece8f66000077-salvador-dali-museum-hok?next_project=no>[diakses 13-18 Mei 2020].
- Flickr.com, <https://www.flickr.com/photos/dali_museum/4109857864/in/photostream/> [diakses 13-18 Mei 2020].
- Centrepompidou-metz.fr <<https://www.centrepompidou-metz.fr/en/two-ambitions>> [diakses 13 Mei 2020].