

# Dasar- Dasar Desain Parametrik

**Buku Ajar Untuk Mata Kuliah AR-4214**

Pendekatan Algoritmik dalam Perancangan  
dan Konstruksi Purwa Rupa

BUKU AJAR AR-4214 TAHUN 2021



# Dasar- Dasar Desain Parametrik

Buku Ajar Untuk Mata Kuliah AR-4214

Pendekatan Algoritmik dalam Perancangan  
dan Konstruksi Purwa Rupa

Aswin Indraprastha, Ph.D.



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit.

*Dasar-Dasar Desain Parametrik: Buku Ajar untuk Mata Kuliah Ar-4214: Pendekatan Algoritmik dalam Perancangan dan Konstruksi Purwa Rupa*

Penulis : Aswin Indraprastha  
Editor : Edi Warsidi  
Desainer : Ripky  
Cetakan I : 2021  
ISBN : 978-623-297-140-0

BUKU AJAR AR-4214 TAHUN 2021



Gedung Perpustakaan Pusat ITB  
Lantai Basement, Jl. Ganesa No. 10  
Bandung 40132, Jawa Barat  
Telp. 022 2504257/022 2534155  
e-mail: [office@itbpress.itb.ac.id](mailto:office@itbpress.itb.ac.id)  
web: [www.itbpress.itb.ac.id](http://www.itbpress.itb.ac.id)  
Anggota Ikapi No. 034/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

# PRAKATA

**D**i tahun 2013 penulis membuka mata kuliah pilihan dengan judul: Pendekatan Algoritmik dalam Perancangan yang ditujukan bagi mahasiswa Arsitektur mulai semester 5. Pembukaan mata kuliah pilihan ini dilatarbelakangi oleh harapan penulis memperkenalkan metode baru dalam proses analisis dan sintesis desain yang memanfaatkan teknologi informasi dan komputasi yang akan berguna sebagai bekal calon lulusan yang akan memasuki dunia kerja.

Buku ini merupakan rangkuman dari *handout* dan bahan ajar serta bahan praktikum dari mata kuliah tersebut. Selama itu pula penulis berupaya mencari metode pengajaran dan pedagogi yang pas serta sesuai dengan konteks pendidikan desain dan arsitektur. Walaupun pemrograman adalah tentang cara berpikir—dan ini seharusnya universal—, belajar pemrograman bagi mahasiswa arsitektur yang terbiasa dengan pola pikir dan pola kerja yang cenderung mengedepankan kreatifitas dan intuisi non-linier, *less formal*, ternyata cukup menantang. Walaupun pula istilah “pemrograman” di sini lebih fokus pada apa yang dihasilkan (kalau istilah dari Robert Woodbury: *designers are delighted if the resulting model (i.e., program) works, right now*) alih-alih bagaimana program ini menyelesaikan persoalan secara lebih efisien. Desainer dan arsitek merancang dan membuat program dengan pola pikir yang berbeda dengan programmer pada konteks sains komputer.

Dalam kurun waktu tersebut perkembangan teknologi informasi dan metode komputasi dalam desain terjadi dengan cepat. Desain arsitektur menjadi ajang dalam eksplorasi metode dan teknik baru.

Sebagai buku ajar, penulis mengharapkan buku ini dapat digunakan sebagai salah satu pegangan bagi mahasiswa yang tertarik dan akan belajar dasar-dasar desain parametrik (tentunya bagi peserta mata kuliah ini). Ada banyak sekali sumber belajar lewat internet atau buku-buku yang bisa dipilih jika mahasiswa akan belajar lebih lanjut tentang ini. Ranah desain komputasional (*computational design*) sangat luas dan sangat potensial untuk dapat dikuasai. Materi yang ada di buku ini adalah materi fundamental dan mendasar sebagai titik awal mengarungi dunia desain komputasional yang sangat menantang.

Buku ini diposisikan sebagai buku pegangan yang memuat konsep, prinsip dan teknik-teknik dasar penguasaan software yang diajarkan dalam mata kuliah bersangkutan, serta dirancang untuk diselesaikan dalam minimal 14 kali pertemuan (@100 menit). Latihan dan kasus-kasus aplikasi pada buku ini dirancang memiliki karakteristik dan obyektif berbeda agar mahasiswa dapat mengembangkan sendiri berdasarkan program atau definisi yang dipahami.

Kapabilitas yang dimiliki oleh metode komputasional yang dimulai dari metode parametrik akan membuka peluang baru tentang bagaimana arsitek berproses dan bekerja. Mulai dari eksplorasi geometri, umpan balik dari analisis dan pemodelan serta simulasi optimasi dan lainnya.

## Pengguna

Buku ini ditulis sebagai kompilasi dari *handout workshop/ praktikum* untuk para mahasiswa arsitektur atau peserta mata kuliah ini, yang berisi tidak hanya prinsip-prinsip dan konsep mendasar dari desain parametrik serta contoh-contoh implementasinya, melainkan juga secara spesifik menjelaskan bagaimana informasi dan data distrukturkan dan dikelola oleh perangkat lunak, dalam hal ini adalah *Rhinoceros* dan *Grasshopper*.

Buku ini ditujukan tidak hanya untuk mahasiswa arsitektur, tetapi juga mahasiswa lain yang tertarik dengan pendekatan dan metode baru dalam mengolah bentuk-bentuk geometri yang aplikasinya tidak terbatas hanya pada ranah arsitektur saja, melainkan ke ranah desain dan produk industri, interior dan lain sebagainya.

Struktur buku ini pada dasarnya terdiri dari empat bagian dan ditulis untuk memudahkan bagi pengguna yang sama sekali belum pernah menggunakan *Rhinoceros* dan *Grasshopper* dan mulai belajar pemodelan 3D serta pemrograman parametrik, sehingga materi tidak hanya tentang teknik melainkan juga wawasan dan pengetahuan tambahan yang terkait.

Untuk memudahkan pengguna belajar, file-file latihan dari bab-bab yang ada dibuka ini dapat diakses di: <https://github.com/aswinindra/eskacangmerah>

### 1. Bagian 1: Desain Parametrik

Berisi pengenalan tentang desain parametrik yang dimulai dari latar belakang, konsep pemodelan parametrik dan sejarah perkembangan konsep parametrik. Bagian ini juga menjelaskan secara ringkas tentang perbedaan pemodelan 3D konvensional dengan pemodelan parametrik dari sudut pandang proses, yakni aditif dan asosiatif, dilanjutkan dengan spektrum penggunaan metode parametrik dalam desain arsitektur. Wawasan tentang desain parametrik dalam bagian ini ditutup dengan beberapa teknologi yang sudah ada dan berkembang untuk mengkonstruksi obyek-obyek digital, khususnya produk dari metode parametrik.

### 2. Bagian 2: CAD (Computer-Aided Design)- Dasar-Dasar *Rhinoceros* 3D

Ini adalah bagian yang lebih dekat kepada *handout* atau modul belajar dasar-dasar pemodelan 3D dengan *Rhinoceros*. Yang merupakan hal esensial sebelum belajar pemodelan dengan metode parametrik menggunakan *Grasshopper*. Bagian ini berisi file-file latihan yang dapat diakses lewat internet.

### 3. Bagian 3: Dasar-Dasar Desain Parametrik dengan *Grasshopper*

Bagian ini berisi materi yang merupakan pengetahuan atas prinsip dan konsep tentang desain parametrik dan juga bagian teknis tentang dasar-dasar metode parametrik dengan pemrograman menggunakan *Grasshopper Visual Algorithm Editor*. Fokus utama dari materi ini adalah memberikan dasar-dasar pemahaman cara kerja program, relasi antar obyek dan data serta struktur data, geometri kurva (*curve*) dan geometri permukaan (*surface*) kemudian aplikasi pada obyek seperti enklosur/kulit (*skin*), transformasi obyek dan diakhiri dengan dasar-dasar metode pencarian

bentuk (*form finding*) dengan simulasi berbasis fisik. Bagian ini berisi file-file latihan yang dapat diakses lewat internet.

#### 4. Bagian 4: Fabrikasi

Bagian ini berisi rangkuman pengetahuan tentang prinsip dan cara kerja beberapa perangkat fabrikasi digital mulai dari Laser Cutter, CNC Milling Router dan 3D Printer sebagai wawasan dan persiapan bagi mereka yang mulai akan memproduksi hasil programnya dengan perangkat fabrikasi digital. Bagian ini berisi file-file latihan yang dapat diakses lewat internet.

Mengingat perkembangan teknologi komputasi di dunia yang cukup pesat dan kebutuhan akan para lulusan arsitektur yang memiliki kompetensi dasar dan pemahaman prinsip komputasi mulai meningkat disertai pula terkait respon terhadap fenomena *industry 4.0*, maka pendekatan dan metode komputasi mulai tahun 2013 dimasukkan dalam kurikulum program studi Sarjana Arsitektur ITB. Sebagian dari materi dari buku ini diajarkan pada Studio Komputasi Arsitektur (AR-2250) untuk mahasiswa Program Sarjana semester 4.

Tentu saja bila mahasiswa ingin mengeksplorasi lebih jauh baik tentang teknik- teknik pemrograman lanjut dan terkini terkait desain parametrik (*parametric design*), desain komputasional (*computational design*) ataupun desain generatif (*generative design*), sangat disarankan mahasiswa mencarinya secara mandiri baik melalui buku-buku referensi, atau media internet.

### Cara Menggunakan Buku Ajar Ini

Buku ajar ini merupakan buku pegangan mata kuliah bagi mata kuliah AR-2250: Studio Komputasi Arsitektur dan AR-4214 : Pendekatan Algoritmik dalam Perancangan dan Konstruksi Purwa Rupa. Mata kuliah AR-2250 adalah mata kuliah wajib bagi mahasiswa semester 4 dan buku ini merupakan buku pegangan untuk modul Pemodelan 3D dan Dasar-Dasar berpikir Komputasional. Mata kuliah AR-4214 adalah mata kuliah pilihan untuk mahasiswa semester 6 atau semester 8. Substansi dalam buku ini adalah dasar-dasar pemahaman tentang desain parametrik, khususnya menggunakan bahasa pemrograman visual Grasshopper<sup>1</sup> dan software pemodelan 3D, Rhinoceros<sup>2</sup>.

Desain parametrik yang merupakan bagian dari desain komputasional, merupakan ranah baru yang membuka potensi eksplorasi dan kreativitas dalam bentuk lain. Sebagaimana bentuk desain lainnya, desain parametrik lebih baik jika dipelajari dengan cara dijalankan melalui latihan-latihan pemrograman dan refleksi atas apa yang telah dihasilkan dalam proses pembelajaran itu (*hands-on exploration*). Karena itu penulis menganjurkan agar apa yang ada di buku ini tidak hanya dibaca dan dipahami, tetapi secara aktif dilatih dalam melalui penulisan program-program (atau istilah dalam Grasshopper dan digunakan di buku ini adalah *definisi*) baik yang dibuat sendiri ataupun merupakan pengembangan dari *definisi* sebelumnya.

1 [www.grasshopper3d.com](http://www.grasshopper3d.com)

2 [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com)

Perangkat utama dalam program ini adalah Rhinoceros 3D yang merupakan software pemodelan 3D, sedangkan *editor* visual menggunakan Grasshopper yang merupakan *open source*. Beberapa bagian dari buku ini memiliki link URL ke file latihan dan dapat diakses secara bebas.



Penulis berterima kasih kepada Institut Teknologi Bandung  
atas dukungan penerbitan buku ajar ini.



# DAFTAR ISI

PRAKATA .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxiii
1. DESAIN PARAMETRIK .....	3
1.1. Latar Belakang .....	3
1.2. Pemodelan Parametrik .....	8
1.3. Sejarah Konsep Parametrik .....	10
1.4. Proses Aditif vs Proses Asosiatif .....	11
1.5. Arsitektur Parametrik: Spatial-Geometrik, Struktural, dan Analisis Lingkungan .....	12
1.6. Konstruksi Obyek .....	13
2. COMPUTER AIDED DESIGN -DASAR-DASAR RHINOCEROS 3D .....	17
2.1. Halo Rhinoceros! .....	17
2.1.1. Jenis Obyek .....	17
2.1.2. User Interface dan Navigasi.....	21
2.1.3. Memasukkan perintah ( <i>Command Launching</i> ) .....	24
2.1.4. Tombol-Tombol dengan Mouse.....	24
2.2. Alur Kerja Dasar dan <i>Setting</i> .....	25
2.2.1. Preferences .....	25
2.2.2. Metode Memilih Obyek .....	27
2.2.3. Bekerja dengan Layer.....	28
2.2.4. Modifikasi Obyek dengan Gumball.....	30
2.2.5. Memodifikasi Sub-object dengan Gumball .....	31
2.2.6. Modeling Aids .....	31
2.2.7. Selection .....	31
2.3. Curve & 2D Geometry.....	32
2.3.1. Line, Polyline .....	32
2.3.2. Circle.....	33
2.3.3. Ellipse .....	33
2.3.4. Free-form Curve .....	33
2.3.5. Control Point Curve .....	34
2.3.6. Arc .....	35
2.3.7. Rectangle.....	35
2.3.8. Polygon .....	36
2.3.9. Modifikasi Curve .....	36
2.3.10. Bekerja dengan Background Images .....	37
2.4. Surface .....	42
2.4.1. Construction Strategies.....	42

2.4.2.	Membuat Surface dari Curve atau Gabungan Curve .....	45
2.4.3.	Record History dan Associative Modeling.....	49
2.5.	Solid Object .....	49
2.5.1.	Offset Surface & Extrude Surface.....	50
2.5.2.	Operasi Boolean.....	50
2.5.3.	Solid Trim & Create Solid .....	51
2.6.	Ekstraksi 2D dari Obyek 3D .....	54
2.7.	Layout dan Percetakan .....	54
2.8.	Analisis Curve dan Surface .....	57
2.8.1.	Pengukuran .....	57
2.8.2.	Arah Curve dan Surface.....	57
2.8.3.	Curvature .....	58
2.8.4.	Edge Evaluation.....	58
2.9.	Interoperability.....	59
2.9.1.	AutoCAD .....	59
2.9.2.	SketchUp .....	59
3.	DASAR-DASAR DESAIN PARAMETRIK DENGAN GRASSHOPPER.....	63
3.1.	Bagaimana Desainer (dan Arsitek) Menggunakan Parameter .....	63
3.1.1.	Ketrampilan ( <i>Skill</i> ) Baru .....	63
3.2.	Strategi Belajar Desain Parametrik .....	65
3.3.	Algoritma dan Data .....	67
3.3.1.	Desain Algoritmik.....	68
3.4.	Anatomi Sebuah Definisi.....	69
3.5.	Mendesain Algoritma: 4 Langkah Proses .....	70
3.6.	Berpikir Algoritmik di <i>3D Modeling (Additive)</i> <i>vs Parametric Modeling (Associative)</i> .....	71
3.7.	Pemrograman Visual dengan Grasshopper .....	72
3.8.	Instalasi dan Add-ons .....	73
3.9.	User Interface.....	74
3.10.	Koneksi dengan Rhinoceros.....	79
3.11.	Beberapa Hotkeys atau Shortcut.....	81
3.12.	Anatomi Sebuah Definisi.....	84
3.12.1.	Jenis Obyek .....	84
3.12.2.	Label .....	85
3.12.3.	Warna Obyek .....	86
3.12.4.	Bagian-Bagian Komponen .....	87
3.12.5.	Display Label dan Ikon.....	87
3.12.6.	Tooltips .....	88
3.12.7.	Contextual Popup Menu.....	89
3.12.8.	Zoomable User Interface.....	89
3.12.9.	Menghubungkan Kontainer/Komponen dengan Kabel .....	90
4.	DATA .....	93
4.1.	Konsep Persistent dan Volatile Data .....	93
4.2.	Jenis Data/ Data Types .....	94

4.3.	Number Generator.....	96
4.4.	Pemrosesan Data.....	98
4.4.1.	Numeric Operation.....	98
4.4.2.	Logical Operation.....	99
4.4.3.	Data Analysis.....	100
4.4.4.	Menyortir Data/ Sorting.....	100
4.4.5.	Memilih Data/ Data Selection.....	101
4.4.6.	Memetakan Data/ Data Mapping.....	101
4.5.	Kesalahan dalam Desain Algoritmik.....	103
4.6.	Points, Vector, Plane.....	105
4.6.1.	Point.....	105
4.7.	Vector .....	106
4.8.	Plane .....	106
5.	STRUKTUR DATA .....	115
5.1.	List .....	115
5.1.1.	Membuat List .....	116
5.1.2.	Operasi List/ Manajemen List.....	118
5.2.	List Matching/ Data Stream Matching.....	123
5.2.1.	Latihan Data Matching .....	125
5.3.	Visualisasi List .....	126
5.4.	Data Tree .....	131
5.4.1.	Perbedaan List dan Data Tree.....	132
5.4.2.	Konfigurasi Path.....	133
5.4.3.	Notasi Data Tree .....	135
5.4.4.	Menghasilkan Data Tree .....	135
5.4.5.	Mengakses dan Memodifikasi Data pada Tree.....	137
5.4.6.	Memanipulasi Data Tree.....	140
6.	SURFACE GEOMETRY.....	149
6.1.	NURBS Surface.....	149
6.2.	Membuat Surface.....	151
6.3.	Evaluasi Surface .....	152
6.4.	Vektor Normal dan Bidang Tangensial ( <i>Normal Vector &amp; Tangent Planes</i> ) .....	152
6.5.	Menemukan Titik pada Suatu Surface.....	153
6.6.	Menemukan Titik pada Suatu Surface yang Tegak Lurus dengan Titik di Luar Surface.....	153
6.7.	Membalikkan Arah Vektor dari Suatu Surface .....	154
6.8.	Mengekstrak Komponen Pembentuk Surface (IsoCurve).....	154
6.9.	Membagi Surface.....	154
6.10.	Mengekstrak Komponen Surface.....	156
7.	SELUBUNG DAN FAÇADE ( <i>SKINS</i> ).....	167
7.1.	Grid Wafel (Rectangular Pattern).....	167
7.2.	Modifikasi Elemen <i>Gridface</i> .....	172

7.3.	Projection, Mapping & Morphing .....	174
7.4.	Twisting Louvers.....	176
7.5.	Interpolasi Diagrid ( <i>Lattice of Intersecting Fin</i> ) .....	179
7.6.	Image Sampler .....	182
7.7.	Pola Gelombang ( <i>Wavy Pattern</i> ) .....	184
7.8.	Anyaman ( <i>Weaving</i> ) .....	187
7.9.	Smooth Panel.....	190
8.	TRANSFORMASI .....	195
8.1.	Vector .....	195
8.1.1.	Unit X, Y, Z:.....	196
8.1.2.	Vector 2Pt: .....	196
8.1.3.	Unit Vector.....	196
8.1.4.	Amplitude .....	197
8.2.	Transformasi Euklid.....	197
8.2.1.	Translasi-Move .....	197
8.2.2.	Translasi- Rotate .....	197
8.2.3.	Translasi-Orient .....	198
8.3.	Transformasi Affine.....	198
8.3.1.	Scale dan Scale NU (Non Uniform) .....	199
8.4.	Bentuk Lipat ( <i>Folded Structure</i> ).....	200
9.	SMOOTHNESS DAN MESH.....	207
9.1.	Mesh di Grasshopper.....	208
9.1.1.	Mesh dengan Topologi: Triangluar Mesh dan Quad Mesh .....	208
9.2.	Mesh dengan Triangulasi: Algoritma Delaunay .....	210
9.2.1.	Mesh dengan Konversi.....	212
9.2.2.	Diagram Voronoi.....	213
9.2.3.	Diagram Quad Tree .....	214
9.2.4.	Diagram Proximity.....	214
9.3.	Smoothness.....	215
9.3.1.	Smooth Mesh.....	216
9.3.2.	Weaverbird Subdivision: Loop Subdivision (Triangular Mesh) dan Catmull-Clark Subdivision (Quad Mesh).....	217
9.4.	Interactive Form-finding: Kangaroo Physics.....	217
9.4.1.	Gaya ( <i>Forces</i> ) dan Hukum Hooke .....	219
9.4.2.	Pemodelan dan Simulasi Membran.....	222
9.5.	Pemodelan dan Simulasi Tensegrity.....	226
9.5.1.	Pemodelan Modul Tensegrity Sederhana.....	227
9.5.2.	Pemodelan Unit Tensegrity Berbasis Heksagon.....	230
9.6.	Pemodelan dan Simulasi Bending Active.....	232
9.6.1.	Batang/rod Berkarakter Bending-active.....	233
9.6.2.	Pemodelan Gridshell.....	234
9.6.3.	Bending Active Plate.....	238
9.7.	Struktur Hibrida ( <i>Hybrid Structure</i> ) .....	241
9.8.	Struktur Pneumatik atau Mengembang ( <i>Inflatable Structure</i> ) .....	243

10. FABRIKASI DIGITAL .....	247
10.1. Pemodelan Untuk Fabrikasi Dengan Laser Cutter .....	248
10.1.1.Prinsip Pemodelan .....	249
10.1.2.Alur Kerja.....	249
10.1.3.Jenis Perakitan (Assembly Types).....	250
10.1.4.Setting Mesin Laser Cutter.....	251
10.1.5.Fabrikasi dengan Laser Cutter .....	251
10.2. Pemodelan Untuk Fabrikasi dengan CNC Milling .....	270
10.2.1.Pengenalan Umum CNC .....	272
10.2.2.Material.....	273
10.2.3.2-Axis Milling.....	273
10.2.4.Prinsip Pemodelan Untuk 2 Axis CNC .....	274
10.2.5.3-Axis Milling.....	274
10.2.6.Prinsip Pemodelan Untuk 3 Axis CNC .....	277
10.2.7.Keterbatasan Mesin CNC Miling Router.....	277
10.2.8.Fabrikasi dengan CNC Milling Router .....	277
10.3. Pemodelan untuk Fabrikasi dengan 3D Printer .....	278
10.3.1.Karakteristik Obyek Yang Dapat dicetak di Mesin Printer 3D ( <i>Printable Object</i> ).....	280
REFERENSI .....	283





# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Celestial Queen oleh Mary Wagner (Sumber: saatchiart.com) .....	3
Gambar 2.	Ligas oleh Parametria (Sumber: Parametria.com) .....	4
Gambar 3.	Berpikir Komputasi (Sumber: tinythinkers.org) .....	5
Gambar 4.	Versioning; Eksplorasi dalam Serial Perubahan Skalar (Sumber: Ingeborg M. Rucker).....	7
Gambar 5.	Hanging Chain Model oleh Antonio Gaudi (Sumber: dataphys.org) ....	10
Gambar 6.	Stadium N oleh Luigi Moretti (Sumber: researchgate.net) .....	10
Gambar 7.	Eksperimen dengan Busa Sabun oleh Frei Otto (Sumber: archdaily.com) .....	11
Gambar 8.	Analisis Deformasi dan Bentuk Konstruksi (Sumber: karamba3d.com) ..	12
Gambar 9.	Klasifikasi Desain Apartemen Berdasarkan Jenis Interaksi Sosial (Sumber: Van Ameijde, 2019).....	12
Gambar 10.	Beberapa Jenis Metrik pada Desain Interior:Ki-Ka: Kedekatan Fungsi, <i>Work Style</i> , Area Sosial, Produktivitas, <i>Daylight Factor</i> , Pandangan ke Luar Generative Design (Sumber: Nagy, Danil, et al.,2018).....	13
Gambar 11.	Mesin CNC Skala Besar (Sumber: Parametric Architecture) .....	13
Gambar 12.	Model hasil dari 3D Printer (Sumber: makershop3d.com) .....	14
Gambar 13.	Robotic Arm (Sumber: daily3dprints.com) .....	14
Gambar 14.	Representasi surface.....	17
Gambar 15.	Polysurface.....	18
Gambar 16.	Solid (kiri); Surface- obyek polysurface yang di-explode (Kanan) .....	18
Gambar 17.	Lightweight extrusion objects.....	19
Gambar 18.	Curves .....	19
Gambar 19.	Solid (kiri); Mesh (kanan) .....	20
Gambar 20.	Control Points .....	20
Gambar 21.	Jendela pembuka Rhinoceros .....	21
Gambar 22.	Rhinoceros <i>User interface</i> .....	22
Gambar 23.	Panels (Sumber: Rhino 6 User Guide) .....	24
Gambar 24.	Options.....	25
Gambar 25.	Nudge .....	26
Gambar 26.	View Default Camera Lens .....	26
Gambar 27.	Color Setup .....	27
Gambar 28.	Cursor Tooltip .....	27
Gambar 29.	Layers .....	28
Gambar 30.	Gumball.....	30
Gambar 31.	Memindahkan poros gumball.....	30
Gambar 32.	Modifikasi sub-object dengan gumball.....	31
Gambar 33.	Line & Polyline .....	32
Gambar 34.	Circle .....	33
Gambar 35.	Beberapa teknik membuat Circle .....	33

Gambar 36.	Ellipse.....	33
Gambar 37.	Beberapa teknik membuat Ellipse .....	33
Gambar 38.	Beberapa Jenis Free-form Curves .....	34
Gambar 39.	Point Edit.....	35
Gambar 40.	Arc	35
Gambar 41.	Beberapa teknik membuat Arc .....	35
Gambar 42.	Rectangle.....	35
Gambar 43.	Beberapa Teknik Membuat Rectangle.....	36
Gambar 44.	Polygon.....	36
Gambar 45.	Beberapa teknik membuat Polygon .....	36
Gambar 46.	Background Bitmap.....	37
Gambar 47.	Picture Plane .....	38
Gambar 48.	Picture Plane .....	38
Gambar 49.	Contoh Konstruksi Obyek 3D .....	43
Gambar 50.	Kurva-kurva Pembentuk.....	44
Gambar 51.	Extrude Curves.....	44
Gambar 52.	Split & Join .....	45
Gambar 53.	Boolean Difference .....	45
Gambar 54.	Edge Surface.....	46
Gambar 55.	Extrude Curve .....	46
Gambar 56.	Proses Loft .....	47
Gambar 57.	Revolve .....	47
Gambar 58.	Contoh RailRevolve .....	48
Gambar 59.	Sweep1 .....	48
Gambar 60.	Sweep2 .....	48
Gambar 61.	Patch.....	49
Gambar 62.	Record History .....	49
Gambar 63.	Beberapa obyek solid .....	49
Gambar 64.	Offset Surface & Extrude Surface .....	50
Gambar 65.	Boolean Union.....	50
Gambar 66.	Boolean Difference .....	51
Gambar 67.	Boolean Intersection.....	51
Gambar 68.	Trim Solid .....	51
Gambar 69.	Create Solid.....	51
Gambar 70.	Karya Sabian Nathaniel A. ....	52
Gambar 71.	Karya Alifia Larasati Z. ....	53
Gambar 72.	Make2D .....	54
Gambar 73.	Section.....	54
Gambar 74.	New Layout .....	55
Gambar 75.	Setting Jenis Prin-out dan Ukuran Kertas.....	55
Gambar 76.	Curve Direction pada Kurva.....	57
Gambar 77.	Curve Direction pada Permukaan .....	58
Gambar 78.	Curvature Graph .....	58
Gambar 79.	Edge Evaluation .....	59
Gambar 80.	AutoCAD dan Rhinoceros.....	59
Gambar 81.	SketchUp dan Rhinoceros.....	60

Gambar 82.	Spiral Aloe oleh Reni Marsinta Nahampun .....	66
Gambar 83.	Hirarki Data dan Informasi (Sumber: <a href="https://www.i-scoop.eu/big-data-action-value-context/dikw-model/">https://www.i-scoop.eu/big-data-action-value-context/dikw-model/</a> ) .....	68
Gambar 84.	Diagram Alur Umum Sebuah Algoritma .....	69
Gambar 85.	Algoritma (Definisi) Dasar dalam GH.....	69
Gambar 86.	Definisi Grasshopper.....	70
Gambar 87.	Definisi dan Hasil.....	70
Gambar 88.	Analogi Algoritma.....	71
Gambar 89.	Metode Aditif.....	71
Gambar 90.	Alur Dasar di Grasshopper.....	72
Gambar 91.	Metode Asosiatif.....	72
Gambar 92.	[Kiri] Hasil Program di RH; [Kanan] Definisi Program di GH .....	73
Gambar 93.	Salah satu add-ins GH yakni Kangaroo untuk pemodelan dan simulasi fisik.....	74
Gambar 94.	[Kiri] Rhinoceros; [Kanan] Grasshopper .....	75
Gambar 95.	Grasshopper User Interface .....	75
Gambar 96.	Koneksi Live dan Auto-update.....	79
Gambar 97.	Internalize Data.....	81
Gambar 98.	Menghubungkan Komponen dengan Kabel.....	91
Gambar 99.	Struktur Data di Grasshopper. (Sumber: Rajaa Isaa, 2020) .....	115
Gambar 100.	Data Dalam List. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	116
Gambar 101.	Index, Data dan Path. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	116
Gambar 102.	Range. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	116
Gambar 103.	Input dan Output Komponen Range.( Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	117
Gambar 104.	Series. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	117
Gambar 105.	Random. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	117
Gambar 106.	List Length. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	118
Gambar 107.	List Item. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	118
Gambar 108.	Reverse List. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	119
Gambar 109.	Shift List. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	119
Gambar 110.	Insert Item. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	119
Gambar 111.	Weave. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	120
Gambar 112.	Cull Pattern.(Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	120
Gambar 113.	Latihan Dasar-Dasar List (Sumber: Rajaa Isaa, 2020) .....	122
Gambar 114.	Relasi Satu-Satu. ....	123
Gambar 115.	Relasi Satu-Banyak.....	123
Gambar 116.	Relasi Banyak-Banyak Dengan Panjang List Sama.....	123
Gambar 117.	Point List.....	127
Gambar 118.	Gradient & Custom Preview.....	127
Gambar 119.	Pohon Data (Data Tree) Dimana Setiap Path Merupakan Cabang (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	131
Gambar 120.	List dan Path. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	132
Gambar 121.	Path Pada Param Viewer .....	132
Gambar 122.	Path dan Graft.....	133
Gambar 123.	Proses Pada Data Tree dan List.....	133

Gambar 124. Konfigurasi Path.....	134
Gambar 125. Simplify Tree .....	134
Gambar 126. Graft Tree.....	135
Gambar 127. Flatten Tree .....	135
Gambar 128. Notasi Data Tree. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	135
Gambar 129. Produksi Path Pada Panel.....	136
Gambar 130. Planar Grid.....	136
Gambar 131. Entwine .....	137
Gambar 132. Multiple Divide Curves.....	137
Gambar 133. Tree Item .....	137
Gambar 134. Split Tree .....	138
Gambar 135. Tree Branch .....	138
Gambar 136. Ilustrasi Data Tree. (Sumber: Rajaa Isaa, 2020) .....	139
Gambar 137. Membuat Path dan Data Dalam Path Dengan Panel.....	139
Gambar 138. Flatten .....	140
Gambar 139. Unflatten.....	140
Gambar 140. Graft.....	141
Gambar 141. NURBS Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	149
Gambar 142. Complex dan Flat Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	150
Gambar 143. Trimmed Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	150
Gambar 144. Untrimmed Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	151
Gambar 145. Boundary Surface .....	151
Gambar 146. Loft .....	151
Gambar 147. Edge Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	152
Gambar 148. Koordinat Lokal dan Vektor Normal Pada Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	152
Gambar 149. Evaluate Surface .....	153
Gambar 150. Surface Closest Point.....	153
Gambar 151. Reverse Surface Direction (Lunchbox).....	154
Gambar 152. IsoCurve.....	154
Gambar 153. Divide Surface .....	155
Gambar 154. Divide Domain dan Isotrim .....	155
Gambar 155. Subsurface.....	156
Gambar 156. Nonplanar Surface. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) .....	156
Gambar 157. Mengekstrak Surface .....	157
Gambar 158. Point List untuk Menampilkan Indeks Setiap Vertices .....	157
Gambar 159. Evaluate Surface pada Reparameterized Surface .....	157
Gambar 160. Evaluate Surface pada Sebuah Surface (Tidak di-Reparameterized)....	158
Gambar 161. Mengekstrak Vertices dengan Nomor Indeks.....	158
Gambar 162. Pola Diagrid Pada Permukaan Nonplanar .....	159
Gambar 163. Konstruksi Space Frame .....	161
Gambar 164. Desain Pola Wafel 3D Pada Permukaan Non-Planar.....	167
Gambar 165. Tiga Bidang Surface .....	167
Gambar 166. Pola Grid Wafel 3D Responsif Terhadap Titik Atraktor.....	172

Gambar 167. Modifikasi Elemen Gridface .....	172
Gambar 168. Mapping & Projection. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017) ...	174
Gambar 169. Mapping & Topology. (Sumber: Gil Akos & Ronie Parsons, 2017).....	175
Gambar 170. BoxMorph .....	175
Gambar 171. Surface dan Elemen 3D Untuk BoxMorph.....	175
Gambar 172. Twisting Louvers .....	176
Gambar 173. Pola Lattice Pada Diagrid.....	179
Gambar 174. Contoh Raster Image .....	182
Gambar 175. Properti Raster Image di GH.....	182
Gambar 176. Transformasi Nilai Kromatik Pada Pola Radius .....	182
Gambar 177. Pola Gelombang Pada Permukaan Non-planar .....	184
Gambar 178. Pola Anyaman .....	187
Gambar 179. Arc River Pavilion oleh Asymptote Architect .....	190
Gambar 180. Jenis-Jenis Transformasi Geometri. (Sumber: Arturo Tedeschi, 2014) ...	195
Gambar 181. Unit Vector X, Y atau Z.....	196
Gambar 182. Vector 2Pt.....	196
Gambar 183. Unit Vector .....	196
Gambar 184. Amplitude.....	197
Gambar 185. Move .....	197
Gambar 186. Rotate .....	197
Gambar 187. Incremental Rotate Dengan Series .....	198
Gambar 188. Orient .....	198
Gambar 189. Scale .....	199
Gambar 190. Pola Lipat (Folded).....	200
Gambar 191. Perbedaan antara Sphere (kiri) dan Mesh Sphere (kanan).....	207
Gambar 192. Vektor Normal dari Quad Mesh .....	207
Gambar 193. Komponen Pembentuk Mesh di Grasshopper.....	208
Gambar 194. Triangulasi Delaunay (kiri) dan Triangulasi Konvensional (kanan). (Sumber: Tedeschi, 2014) .....	211
Gambar 195. Mesh Delaunay.....	211
Gambar 196. Delaunay Mesh, Convex Hull dan Delaunay Edge .....	211
Gambar 197. Model Tensegrity. (Sumber Foto: Dr.-Ing Andry Widyowijatnoko) ...	226
Gambar 198. Rainbow Arch (Sumber: Kenneth Snelson, 2001).....	226
Gambar 199. Modul Tensegrity Prisma Segitiga (kika: 3D; Tampak Atas; Tampak Samping) .....	227
Gambar 200. Modul Tensegrity Berbasis Heksagon (kika: 3D; Tampak Atas; Tampak Samping) .....	230
Gambar 201. Hybrid Tower oleh CITA (Center of Information Technology and Architecture), The Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Architecture, Design and Conservation.....	232
Gambar 202. <i>Bending-active Plate</i> . (Sumber: Simon Schleicher & Riccardo la Magna, ACADIA Proceeding 2016).....	238
Gambar 203. <i>Bending-active Plate</i> ICD/ITKE Research Pavilion .....	238
Gambar 204. Jenis Kelengkungan. (Sumber: Essential Mathematics for Computational Design Raja Isaa, 2020) .....	241

Gambar 205.	Struktur hibrida. (Sumber: Jan Knippers, Institut for Computational Design (ICD), Stuttgart).....	241
Gambar 206.	Diagram Struktur Hibrida. (Sumber: Jan Knippers, Institut for Computational Design (ICD), Stuttgart).....	242
Gambar 207.	Contoh Struktur Hibrida. (Sumber: Studio-LD).....	242
Gambar 208.	Struktur Pneumatik pada Paviliun Nordik pada Venice Architecture Biennale 2018. (Sumber: inexhibit.com).....	243
Gambar 209.	Mesin Laser Cutter .....	248
Gambar 210.	Nilai Kerf. (Sumber: lasercutco.com).....	249
Gambar 211.	Hasil Laser Cutter. (Sumber: instructables.com) .....	250
Gambar 212.	Hasil Laser Cutter untuk Sambungan. (Sumber: Instructables.com) ...	250
Gambar 213.	Hasil Laser Cutter Fleksibel. (Sumber: troteclaser.com) .....	251
Gambar 214.	Setting Laser Cutter. (Sumber: instructables.com) .....	251
Gambar 215.	Space Rocket oleh jtronics (Sumber: <a href="http://www.thingiverse.com/thing:24568">http://www.thingiverse.com/thing:24568</a> ).....	252
Gambar 216.	Contouring dasar .....	253
Gambar 217.	Contouring Dasar 2.....	254
Gambar 218.	Assembly .....	258
Gambar 219.	Slit Joint .....	265
Gambar 220.	Mesin CNC Milling Router.....	270
Gambar 221.	Ki-Ka: 3axis, 4axis, 5axis CNC Milling Router .....	271
Gambar 222.	Produksi profiling dalam proses 2 Axis. (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design) .....	271
Gambar 223.	Sudut beradius. (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design).....	272
Gambar 224.	<i>Hidden Pocket</i> . (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design).....	272
Gambar 225.	<i>Bit Length</i> . (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design) .....	272
Gambar 226.	<i>Profiling</i> . (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design) .....	273
Gambar 227.	<i>Pocketing</i> . (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design) .....	273
Gambar 228.	<i>Engraving</i> (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design).....	274
Gambar 229.	Contoh hasil topografi menggunakan CNC Milling Router. ....	275
Gambar 230.	Contoh model geometri. ....	275
Gambar 231.	<i>3 Axis Roughing Toolpath Simulation</i> . ....	276
Gambar 232.	<i>3 Axis Parallel Finishing Toolpath</i> . (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design) .....	276
Gambar 233.	<i>3 Axis Toolpath Simulation</i> . (Sumber: Makerspace, Melbourne School of Design).....	276
Gambar 234.	1) <i>Flat</i> ; 2) <i>Ball</i> ; 3) <i>Vee</i> (Sumber: CNC Walkthrough GSAPP Fabrication Lab, 2017).....	277
Gambar 235.	1) Profil potong <i>Flat</i> ; 2) Profil potong <i>Ball</i> ; 3) Profil potong <i>Vee</i> (Sumber: CNC Walkthrough GSAPP Fabrication Lab, 2017).....	278
Gambar 236.	3D Printer .....	279
Gambar 237.	Diagram Cara Kerja 3D Printer. (Sumber: <a href="https://all3dp.com">https://all3dp.com</a> ).....	280
Gambar 238.	Ki-Ka: Manifold; Non-manifold; Non-manifold. (Sumber: Algorithms-Aided Design, Arturo Tedeschi, 2014).....	281

# DAFTAR TABEL

Tabel 1. Proses Aditif dan Proses Asosiatif..... 11

Tabel 2. Pengaturan Atribut Teks..... 17

Tabel 3. Data dan Informasi..... 68

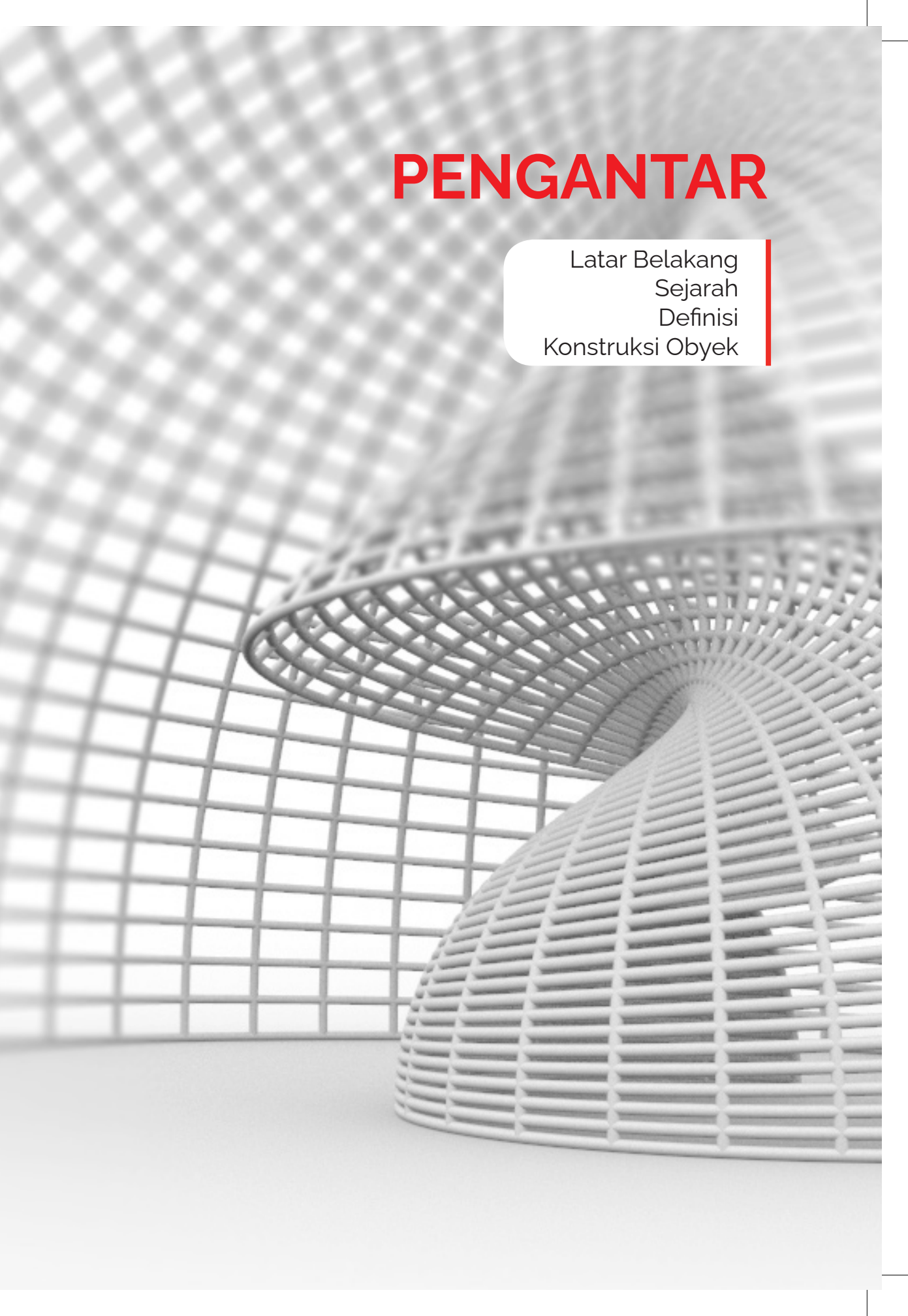
Tabel 4. Perbandingan Material 3D Printer..... 280





# PENGANTAR

Latar Belakang  
Sejarah  
Definisi  
Konstruksi Obyek

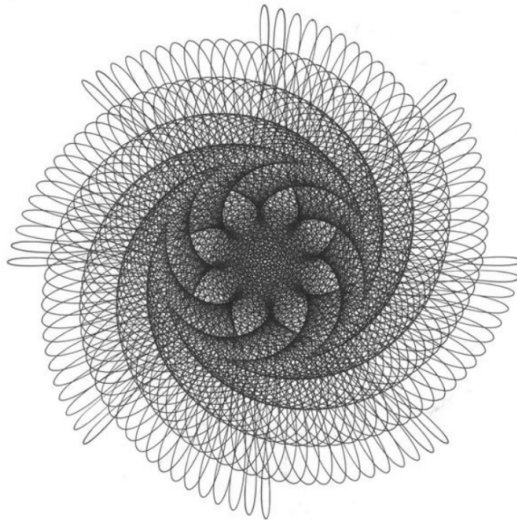




# 1. DESAIN PARAMETRIK

## 1.1. Latar Belakang

Proses desain arsitektur adalah proses **iteratif** dan **interaktif**. Solusi atas suatu permasalahan desain boleh jadi akan menimbulkan atau menyebabkan munculnya pertanyaan atau isu baru yang memantik munculnya gagasan untuk memperbaiki (*refine*) solusi sebelumnya, atau memunculkan ide yang sama sekali baru. Arsitek menggunakan perangkat (*tool*) software komputer untuk membuat model dan membantu memvisualisasikan gagasan-gagasan, namun metode yang umum digunakan ini (juga dikenal sebagai metode manipulasi geometri secara langsung atau *direct manipulation*) tidak memungkinkan pengguna berinteraksi secara iteratif pada proses pembuatan model. Kondisi ini semakin sulit dan rumit ketika model yang dihasilkan sedemikian kompleks dan perubahan satu aspek pada desain akan menyebabkan modifikasi mendasar pada keseluruhan model. Software CAD yang selama ini digunakan umumnya untuk menggambar dan membuat model yang secara prinsip adalah proses aditif sehingga cukup sulit mengakomodasi perubahan-perubahan atas desain secara iteratif.



Gambar 1. Celestial Queen oleh Mary Wagner (Sumber: saatchiart.com)

Untuk mengatasi hal ini, terdapat metode yang dinamakan metode parametrik yang secara esensial memungkinkan arsitek atau desainer **merancang pola hubungan** (*relationships*) antar **parameter-parameter**, umumnya berupa nilai-nilai numerik yang menentukan keluaran akhir dari desain. Karena hubungan asosiatif antar parameter ini ditentukan oleh arsitek dalam proses merancang algoritma atas masalah desain yang akan dipecahkan, maka proses iterasi desain dilakukan secara **interaktif** dan hasil akhir desain akan selalu **terbarui** (*updated*). Dalam konteks ini, metode parametrik juga merupakan metode manipulasi geometri secara tidak langsung atau *indirect manipulation*.

Dengan mendefinisikan aturan (*rules*) dalam bentuk parameter-parameter dan alur proses (*algoritma*) terdapat potensi untuk menciptakan model dengan geometri-geometri yang baru bahkan kompleks serta terbebas dari batasan-batasan perangkat, media atau platform yang selama ini digunakan sebagai alat bantu mendesain.



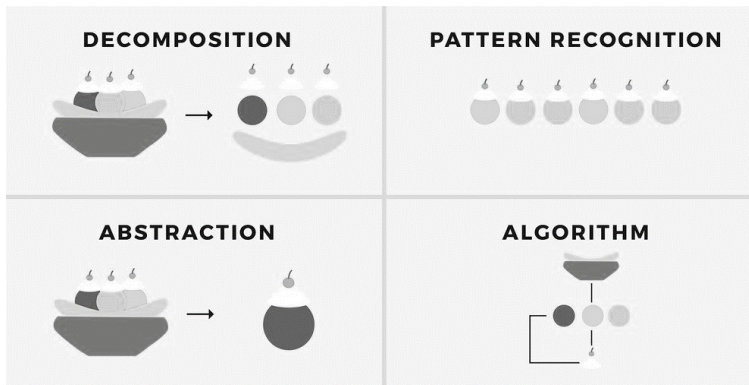
Gambar 2. Ligas oleh Parametria (Sumber: Parametria.com)

Metode parametrik yang berbasis hubungan **rasional-formal** antara **obyek-obyek geometri**, antara **data**, antara **pengguna** (*arsitek-user*) dengan obyeknya, merupakan salah satu implementasi dari apa yang disebut sebagai **berpikir algoritmik dan logis** (*Logical and Algorithmic Thinking*). Berpikir algoritmik dan logis sendiri adalah fundamental dalam berpikir komputasional (*Computational thinking*) yang merupakan salah satu kompetensi dalam era Industri 4.0 yang mengandalkan teknologi informasi dan komputasi dalam pemecahan masalah-masalah. Buku ini tidak membahas lebih dalam mengenai berpikir komputasional yang merupakan ranah Sains Komputasi (*Computer Science*) ataupun mengelaborasi berpikir algoritmik dan logis dalam konteks pemrograman komputer<sup>3</sup>. Secara prinsip, karena metode parametrik itu berbasis algoritma dan logika, maka azas-azas algoritma dan logika harus dipahami sebagai dasar mempelajari metode parametrik.

Secara umum proses berpikir komputasional terdiri dari empat teknik, yakni:

1. **Dekomposisi** (*Decomposition*): menyelesaikan persoalan dengan jalan memecah persoalan menjadi beberapa persoalan kecil yang dapat diselesaikan.
2. **Abstraksi** (*Abstraction*): Mengenali komponen kunci dari perbedaan-perbedaan pada persoalan untuk dapat mengembangkan satu solusi untuk beberapa persoalan.
3. **Pengenalan Pola** (*Pattern Recognition*): mengenali kesamaan komponen dalam suatu persoalan.
4. **Algoritma** (*Algorithm*): Sekumpulan daftar langkah atau prosedur untuk menyelesaikan persoalan.

3 Jika tertarik lebih jauh mengenai pengantar berpikir komputasional, buku berikut cukup bagus: Karl Beecher (2017). *Computational Thinking- A Beginner's guide to problem-solving and programming*. BCS, The Chartered Institute for IT.



Gambar 3. Berpikir Komputasi (Sumber: tinythinkers.org)

Pada analogi sederhana di atas, kita dapat memahami bahwa algoritma sebagai metode berpikir komputasional amat penting dalam **merekonstruksi solusi** atas persoalan berdasarkan informasi dan langkah-langkah sistematis.

Proses merancang algoritma sendiri merupakan hal baru bagi arsitek yang biasanya dalam proses merancang akan selalu mengalami **proses siklik** antara analisis- sintesis, antara divergen-konvergen, dari mengidentifikasi masalah hingga mengeluarkan usulan desain sebagai sintesis dari berbagai faktor. Algoritma sendiri walaupun terdengar asing bagi arsitek, **secara intrinsik** dan tanpa disadari telah dilakukan pada satu atau beberapa tahap dalam berproses mendesain. Algoritma sendiri merupakan metode formal-rasional, deterministik, cenderung linier dan sekuensial dalam memecahkan masalah yang secara prosedural diabstraksikan dan dipecah menjadi masalah bersifat kuantitatif dan lebih kecil. Algoritma pada ranah keilmuan Sains Komputer (*Computer Science*) merupakan dasar dari semua proses kerja komputasi yang dilakukan oleh komputer.

Metode desain parametrik memungkinkan arsitek untuk membuat perangkat **iteratif dan interaktifnya** sendiri, yang membantu dirinya dalam **mengeksplorasi, mengoptimasi, menyeleksi** berbagai kemungkinan **alternatif dan variasi desain**, dalam waktu yang relatif lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional. Metode ini juga membuat arsitek dapat bergerak lebih fleksibel **antara intuisi dan logika/rasionalitas**, membuat arsitek dapat menggali lebih dalam logika atau rasional dibalik setiap solusi desain, seperti dituliskan Robert Aish dalam "First build your tools" (2013):

*... 'This leads to two important conclusions. First, computational design is now recognised as an **intrinsic aspect of design creativity** so that the mark of the accomplished designer is that he [sic] can move effortlessly **between intuition and logic**. Second, the distinction between the role of the professional software developer and the designer (as an end-user programmer) has been blurred. Now we can all create that final **layer of scripting that represents our unique design logic**, so that we can all say: 'Before I design, I will first build my tools.'*



Metode desain parametrik dengan proses algoritmik memerlukan perubahan fundamental dalam **proses berpikir dan mengolah desain** dari memanipulasi geometri sebagai **obyek representasi desain** menjadi memanipulasi jalinan prosedur/algoritma dalam sebuah sistem logika yang merupakan **kriteria desain**.

Jika kembali pada proses iteratif dan interaktif di awal tadi, metode desain parametrik secara intrinsik tidak hanya memodelkan **geometri** dari obyek nyata yang akan dikonstruksi, melainkan beberapa parameter lain yang **non-geometri** seperti properti struktur, perilaku dan karakteristik material, properti fisik, termal dan lainnya yang sangat esensial digunakan pada **proses analisis-sintesis** untuk tujuan lain, misalnya **optimasi** material, pencahayaan dan aspek-aspek lain yang mempengaruhi **kinerja desain** (*performance analysis*) hingga optimasi dengan beberapa obyektif (*multi-objective optimization*) yang amat penting bagi analisis masalah desain yang semakin kompleks. Selain hal itu, dikarenakan metode ini secara akurat dan numerikal merupakan representasi dari geometri, maka dapat menjadi basis untuk **proses fabrikasi** menggunakan mesin-mesin yang dikendalikan oleh komputer (*Digital Fabrication*).

Dalam hal ini kita dapat melihat bagaimana alur kerja digital (*digital workflow*) yang dikendalikan oleh metode parametrik yang menghasilkan solusi desain **terukur, logis**, dengan ditunjang oleh analisis **kinerja** dan fabrikasi digital, akan diprediksi merupakan salah satu **karakter praktik arsitektur** di masa depan. Patrik Schumacher dari biro Zaha Hadid Architects bahkan menyebut bahwa metode parametrik ini sudah selayaknya menjadi gerakan arsitektur atau layak menjadi *-isme*, parametrikisme (*parametricism*), sebagaimana gerakan arsitektur sebelumnya, modernisme (*modernism*)<sup>4</sup>. Dia berpendapat bahwa desain parametrik adalah sebuah **paradigma baru** dalam mendesain, bukan hanya sebatas langgam atau *style*.

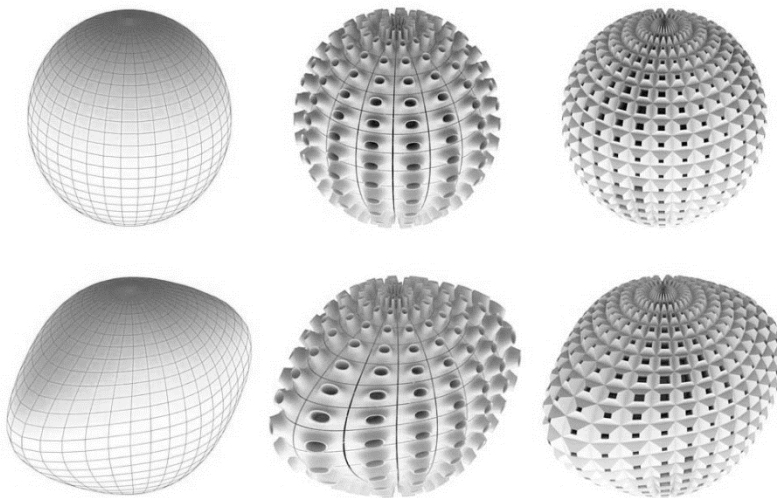
Lebih lanjut Patrik Schumacher menyebutkan empat tema utama dalam desain parametrik yakni:

1. Versi (*Versioning*) dan Variasi
  2. Iterasi (*Iteration*)
  3. Kustomisasi massal (*Mass-Customization*)
  4. Deferensiasi yang kontinyu (*Continuous Differentiation*)
- 
1. **Versi dan Variasi**, dipilih oleh penulis sebagai padanan dari *versioning* yang dipinjam dari istilah dalam pengembangan software, yang merujuk pada proses membuat versi atau variasi dari solusi desain atas sebuah kondisi tertentu. Desain parametrik memungkinkan arsitek untuk menghasilkan solusi purwarupa (*prototype solution*) yang alih-alih dimodelkan dalam bentuk geometri statis dalam format CAD, dikendalikan proses logisnya melalui serangkaian parameter sehingga solusi desain dapat dimodifikasi serta menghasilkan solusi versi baru.
  2. **Iterasi**, adalah proses yang merujuk pada siklus siklik atau mengulang beberapa prosedur atau langkah. Di dalam konteks desain parametrik, iterasi berarti menghasilkan variasi baru setiap kali suatu proses melalui serangkaian prosedur tertentu dengan

4 Schumacher, Patrik. Parametricism- A New Global Style for Architecture and Urban Design, AD/ Architectural Design- Digital Cities, Vo. 79, Iss. 4, Juli-Agustus 2009.

mengubah satu atau beberapa parameter. Selain menghasilkan variasi atau versi baru dari solusi, iterasi dapat menjadi perangkat yang penting untuk proses analisis dan optimasi dimana setiap informasi yang dihasilkan pada suatu iterasi dapat menjadi umpan balik (*feedback*) untuk meng-generasi iterasi selanjutnya.

3. **Kustomisasi Massal**, sebagai generasi lanjut dari produksi massal (*mass production*) dimungkinkan dengan adanya fabrikasi digital dimana sistem manufaktur berbasis perangkat-perangkat digital memungkinkan adanya kustomisasi massal dengan biaya produksi yang sama dengan proses menggunakan produksi massal.
4. **Deferensiasi yang kontinyu**, sebuah istilah yang diambil dari Kalkulus, menyiratkan bahwa dalam desain parametrik, setiap perbedaan (versi, iterasi, kustomisasi) yang dihasilkan akan tetap berada dalam grafik dan ritme yang kontinyu. Setiap output parametrik tidak berdiri sendiri sebagai sebuah output, melainkan mempengaruhi setiap unit dan keseluruhan proses dalam alur algoritma yang diciptakan.



Gambar 4. Versioning: Eksplorasi dalam Serial Perubahan Skalar (Sumber: Ingeborg M. Rucker)

Prof. Wassim Jabi dalam introduksi bukunya berjudul: *Parametric Design for Architecture*<sup>5</sup> menuliskan empat karakteristik dari sistem desain parametrik, yakni:

1. **Berorientasi obyek**: Metode parametrik fokus pada program berorientasi pada obyek dan relasi antara satu obyek dengan obyek lain. Setiap obyek dalam sistem parametrik memiliki atribut atau informasi/ nilai yang melekat pada obyek tersebut. Nilai-nilai ini akan berubah tergantung pada proses dan hubungan relasional dengan obyek lainnya. Orientasi pada obyek ini yang membuat metode parametrik menitikberatkan pada rancangan relasional antar obyek yang berdampak pada hasil akhir program.
2. **Struktur data**: Karena berorientasi obyek, maka pengorganisasian data menjadi penting dalam metode parametrik. Obyek yang kompleks dapat merupakan kumpulan dari obyek-obyek yang memiliki atribut yang berpengaruh pada keseluruhan obyek. Masing-masing software pemrograman memiliki sistem dan mekanisme tersendiri dalam pengorganisasian data ini.

5 Jabi, Wassim (2013). *Parametric Design for Architecture*. Laurence King, London.

3. **Metodologi:** Dalam konteks sistem berorientasi obyek (*object-oriented system*), metode-metode ini disebut fungsi yang di dalamnya terdapat rangkaian instruksi dalam bentuk algoritma yang bekerja pada sebuah obyek dengan cara mengubah atau memodifikasi informasi pada atribut obyek bersangkutan. Metode dalam desain parametrik tidak secara langsung berhubungan dengan obyek final, melainkan secara langsung berhubungan dengan atribut obyek tersebut.
4. **Parameter:** Berasal dari bahasa Yunani: *para* (selain, sebelum, alih-alih), dan *metron* (mengukur). Jadi parameter kurang lebih berarti sesuatu yang digunakan untuk menentukan ukuran atas sesuatu yang lain. Perbedaan antara *parameter* dan *variabel* dalam konteks matematika adalah, sebuah parameter adalah variabel khusus yang menentukan hasil akhir suatu fungsi. Parameter memiliki beberapa kemungkinan yang mempengaruhi hasil akhir.

## 1.2. Pemodelan Parametrik

Proses desain hakikatnya adalah proses pemodelan gagasan menggunakan media baik media konvensional: pensil, kertas, penghapus, penggaris dan lainnya, hingga media digital: mouse, keyboard dan sejenisnya. Pada hakikatnya, proses pemodelan masih tetap sama walaupun medianya berbeda, namun “percakapan” atau dialektik antara gagasan dan model melalui media/ perantara mengalami perkembangan.

Pada awalnya, semua proses dialektik ini dapat dirangkum atas proses **menambah** (*add*), **mengurangi** (*subtract*), **menandai** (*mark*) menggunakan pensil, penghapus, penggaris yang menerjemahkan gagasan di kepala seorang arsitek menjadi model di kertas. Setiap proses dan obyek yang dihasilkan berkarakter **independen**, **langsung** (*straightforward*) dan **primitif** dalam konteks modifikasi dan manipulasi dilakukan langsung pada ranah geometri.

Pemodelan parametrik atau disebut juga sebagai pemodelan dengan batasan (*Constraint Modelling*) di sisi lain memiliki tambahan aspek yang tidak dimiliki pemodelan konvensional yakni: **relasi** (*relate*) dan **perbaikan** (*repair*) dalam bentuk yang lebih terkoordinasi. Proses dan obyek yang sebelumnya berdiri sendiri/independen berubah secara fundamental sebagai jalinan sistem dan prosedur yang terkoordinasi satu dengan lainnya (lihat empat tema utama desain parametrik dari Patrik Schumacher di bab sebelumnya).

Proses dan **aksi membuat relasi** (*to relate*) memerlukan narasi atau **rumusan eksplisit** tentang parameter relasi ini: apakah komponen ini menempel (*tangensial*), atau berpotongan (*intersect*)? Di ujung (*end of*), atau di tengah (*mid of*)? **Aksi merumuskan parameter relasi** ini merupakan hal fundamental dalam pemodelan parametrik. Aksi memperbaiki (*to repair*) merupakan pengembangan dari proses dan aksi konvensional: menghapus (*subtract, erase*) dimana aksi ini tidak menghilangkan (*erase*) keseluruhan obyek, tetapi memodifikasi parameter dan relasi yang berasosiasi dengan obyek lain. Hal ini pula yang menyebabkan pemodelan parametrik ini dikenal dengan proses asosiatif (*associative design*).



## Jadi, apa itu desain parametrik?

Beberapa buku, artikel riset dan studi telah membahas lebih jauh tentang desain parametrik, atau pemodelan (proses memodelkan) parametrik yang bahkan menimbulkan diskusi yang cukup intens antara matematikawan dan arsitek<sup>6</sup>. Tahun 1837, James Dana menerbitkan sebuah artikel berjudul *On the Drawing of Figures of Crystals* yang menjelaskan dan menggambarkan proses membuat dan memproduksi obyek geometri menggunakan hubungan parametrik diantara parameter-parameter yang ada.

**Semua desain itu parametrik.** David Gerber<sup>7</sup> dalam disertasinya menyatakan bahwa proses desain arsitektur itu secara inheren adalah proses parametrik, seperti disampaikan pula oleh Robert Aish dan Robert Woodburry dan beberapa orang lainnya. Pandangan ini muncul akibat kenyataan bahwa semua proses desain (terutama arsitektur) pada dasarnya melibatkan parameter-parameter, atau faktor-faktor yang mempengaruhi hasil desain, misalnya: anggaran dan biaya, lahan, properti material, teknik konstruksi dan sebagainya. Secara umum hal ini memang demikian adanya, tetapi dalam konteks desain parametrik, bukan hanya soal adanya parameter, tetapi juga hubungan antara parameter-parameter lewat fungsi yang eksplisit. Pada umumnya, dalam konteks proses dan proyek desain, hubungan atau relasi antara parameter-parameter ini dan hasil desain adalah korelasi dan seringkali ambigu, tidak eksplisit dan deterministik.

**Perubahan itu parametrik.** Yang dapat diamati dari model parametrik adalah- selain adanya parameter-, adalah hasil akhir akan berubah jika satu atau beberapa parameter berubah. Robert Woodburry menyatakan bahwa *parametric modelling represents change*. Merujuk pada pernyataan ini, maka model BIM (*Building Information Modeling*) adalah model parametrik. Namun demikian proses membuat model dalam BIM berbeda dengan proses membuat model dalam definisi pemodelan parametrik dimana fungsi-fungsi harus *secara eksplisit* menghasilkan keluaran yang berbeda.

**Tooling itu parametrik.** *Tooling* adalah istilah yang digunakan untuk membedakan antara pembuat (*maker*) dan pengguna (*user*)<sup>8</sup>. *Tooling* adalah sebuah metode dimana alih-alih desainer atau arsitek menjadi pengguna software, akan menjadi pembuat atau pengembang perangkat untuk mendesain. Mario Carpo<sup>9</sup>, seorang sejarawan mengatakan bahwa akan ada dua profesi bagi perancang: *digital author* dan *digital interactor*. *Digital author* adalah profesi yang mendesain *obyektil* (obyek atau sistem untuk mendesain obyek) sedangkan *Digital Interactor* adalah profesi yang mendesain obyek (berhubungan langsung dengan obyek desain). Lebih lanjut, Robert Aish menyatakan bahwa software untuk para arsitek dibuat bukan oleh arsitek dan bukan untuk hanya mendesain bangunan atau karya arsitektur. Karena itu, kerangka berpikir arsitek dalam berproses mendesain seharusnya tidak didikte oleh struktur dan alur kerja software bersangkutan dan desainer/arsitek boleh jadi dapat mengembangkan perangkat (*tool*)-nya sendiri.

6 Davis, Daniel (2013). *Modelled on Software Engineering: Flexible: Parametric Models in the Practice of Architecture*. Doctoral Thesis, Royal Melbourne Institute of Technology

7 Gerber, David Jason (2007). *Parametric Practices: Models for Design Exploration in Architecture*. Doctoral Thesis, Harvard Graduate School of Design.

8 Aranda, Benjamin & Chris Lasch (2006). *Tooling*. Pamphlet Architecture Book Series, Volume 27

9 Carpo, Mario (2011), *The alphabet and Algorithm*, MIT Press.

Dari beberapa pandangan dan dimensi desain parametrik tersebut, ada hal yang penting yang dapat ditarik bahwasannya desain parametrik menitikberatkan pada proses formal dalam desain dimana hasil akhir menjadi dinamik dan tergantung dari relasi antar parameter yang dirancang oleh desainer atau arsitek.

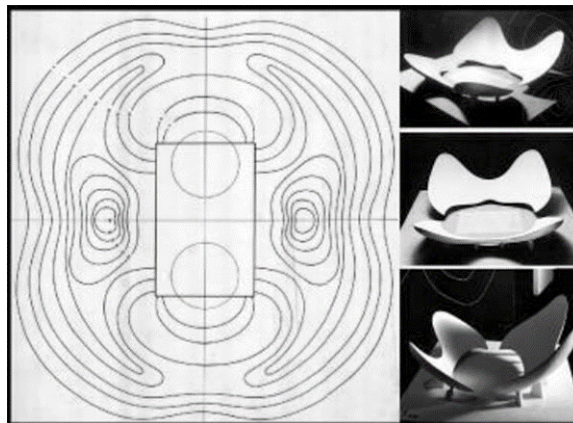
### 1.3. Sejarah Konsep Parametrik

Pendekatan atau metode parametrik bukanlah hal baru bagi arsitek. Beberapa contoh misalnya Antonio Gaudi (1880), Luigi Moretti (1962), Frei Otto (1962) melakukan beberapa eksperimen dan teknik baru dalam mendesain. Luigi Moretti bahkan mengembangkan persamaan matematika dengan parameter khusus untuk menganalisis relasi spatial dan digunakan untuk mengembangkan rencana urban kota Roma di 1962 dan juga studi desain stadion olah raga. Luigi Moretti adalah orang yang pertama kali mengenalkan istilah *Parametric Architecture*.

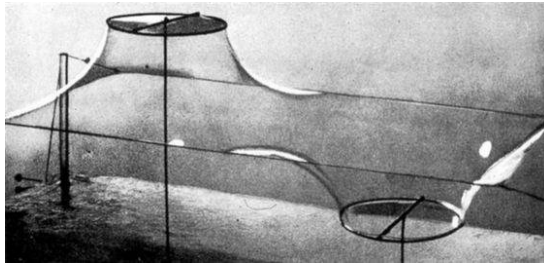
Frei Otto adalah tokoh lain yang melakukan eksperimen secara parametrik menggunakan busa sabun (*bubble*) untuk menciptakan permukaan minimal pada struktur tarik (*tensile structure*).



Gambar 5. Hanging Chain Model oleh Antonio Gaudi (Sumber: dataphys.org)



Gambar 6. Stadium N oleh Luigi Moretti (Sumber: researchgate.net)



Gambar 7. Eksperimen dengan Busa Sabun oleh Frei Otto (Sumber: archdaily.com)

Seiring perkembangannya, metode parametrik tidak dapat dilepaskan dari perkembangan teknologi informasi baik perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dimulai dari program *Sketchpad* oleh Ivan Sutherland di tahun 1963 yang merupakan cikal bakal CAD yang mulai dikomersialkan sejak tahun 1982 hingga kini.

Walaupun program CAD masih digunakan hingga kini, sebagian besar penggunaan program ini masih sebatas pada proses penggambaran atau pemodelan obyek final, bukan sebagai alat bantu dalam proses iteratif desain.

## 1.4. Proses Aditif vs Proses Asosiatif

Dalam hubungannya dengan proses pemodelan desain dengan bantuan software, ada dua proses atau pendekatan yang umum yakni: **Aditif dan Asosiatif**. Perbedaan diantara keduanya dapat dilihat pada tabel berikut:

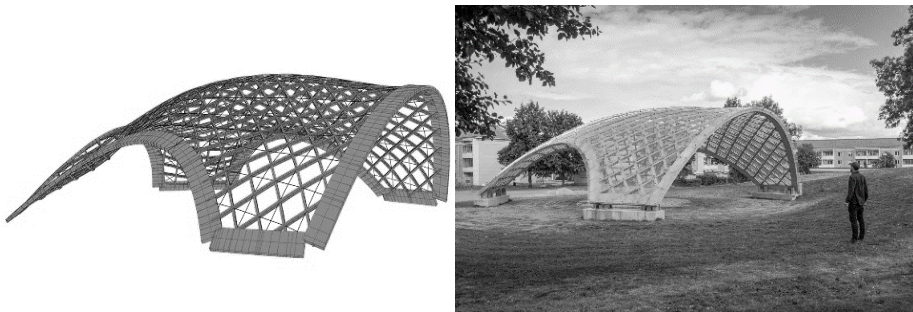
Tabel 1. Proses Aditif dan Proses Asosiatif

Aditif	Asosiatif
Kompleksitas ditambahkan ( <i>added</i> ) pada model secara bertahap hingga hasil akhir. Hasil akhir umumnya sulit dimodifikasi dan memerlukan pemodelan ulang karena merupakan produk kumpulan agregat informasi geometri.	Kompleksitas ditempelkan ( <i>embedded</i> ) dengan cara membuat hubungan asosiatif antar geometri, fungsi matematika, algoritma dan data. Yang dimodelkan adalah hubungan asosiatif ini, bukan geometrinya.
Desain yang dihasilkan dari proses dan prosedur yang rigid dan linier dan sulit mengulang proses-proses sebelumnya.	Desain yang dihasilkan bersifat fleksibel dan berasosiasi dengan hubungan ( <i>relationships</i> ) pada algoritma yang dibuat.
Desain yang dihasilkan sulit dimodifikasi tanpa secara langsung mengubah geometri.	Desain yang dihasilkan akan mudah dimodifikasi dengan cara tidak langsung, yakni mengubah algoritmanya.
Pembuat model yang mengelola hubungan formal antar geometri secara langsung.	Software yang menentukan dan mengelola hubungan antar informasi (geometri, data, fungsi matematika).

Proses aditif (memanipulasi geometri secara langsung) dilakukan umumnya dengan bantuan software CAD, termasuk di dalamnya software pemodelan 3D termasuk Rhinoceros 3D, sedangkan proses asosiatif (memanipulasi model secara tidak langsung) dilakukan melalui pemrograman dengan bahasa pemrograman tertentu, yang salah satunya adalah *Grasshopper*. *Grasshopper* adalah editor algoritma visual (*visual algorithm editor*) untuk Rhinoceros. Disebut visual karena bahasa pemrograman ini tidak berbasis teks, tetapi berbasis diagram-diagram yang akan dijelaskan pada bagian kedua dari buku ajar ini.

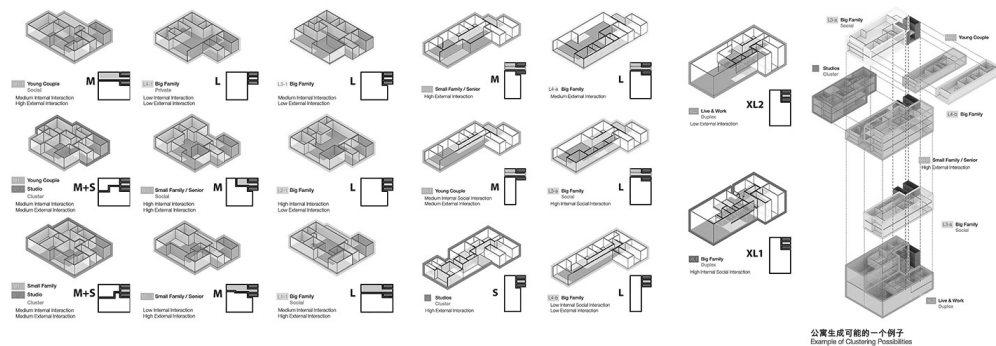
## 1.5. Arsitektur Parametrik: Spatial-Geometrik, Struktural, dan Analisis Lingkungan

Desain parametrik yang dikembangkan melalui metode dan teknik parametrik tidak selalu tentang obyek yang kompleks dan *sculptural* tapi juga tentang kinerja fungsional yang dapat dianalisis secara struktural maupun metrik-metrik lingkungan. Karena berbasis parameter, batasan (*constraints*) dan aturan (*rules*) yang numerik maka parameter-parameter ini dapat digunakan untuk mendefinisikan beban dan gaya untuk keperluan analisis struktural, menganalisis bentuk yang paling optimal (*form finding*).



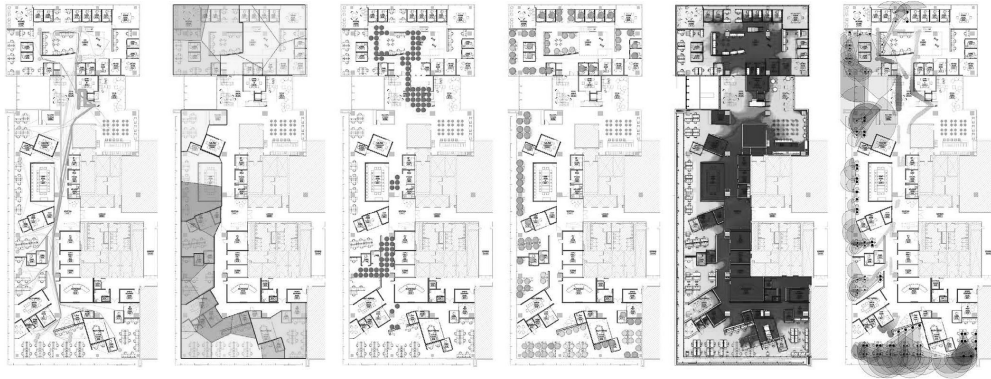
Gambar 8. Analisis Deformasi dan Bentuk Konstruksi (Sumber: karamba3d.com)

Aplikasi lain dari metode parametrik adalah optimisasi dan kustomisasi yang merupakan keunggulan metode ini dalam proses iteratif. Dengan kemajuan kecepatan proses komputasi saat ini di masa depan, metode parametrik dapat menghasilkan berbagai variasi dan alternatif solusi desain yang responsif terhadap parameter-parameter yang ditentukan.



Gambar 9. Klasifikasi Desain Apartemen Berdasarkan Jenis Interaksi Sosial (Sumber: Van Ameijde, 2019)



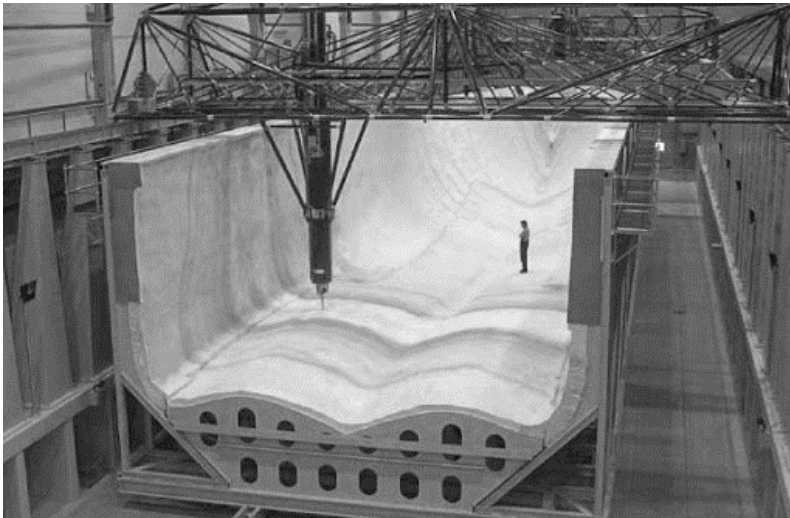


Gambar 10. Beberapa Jenis Metrik pada Desain Interior: Ki-Ka: Kedekatan Fungsi, *Work Style*, Area Sosial, Produktivitas, *Daylight Factor*, Pandangan ke Luar Generative Design (Sumber: Nagy, Daniil, et al., 2018)

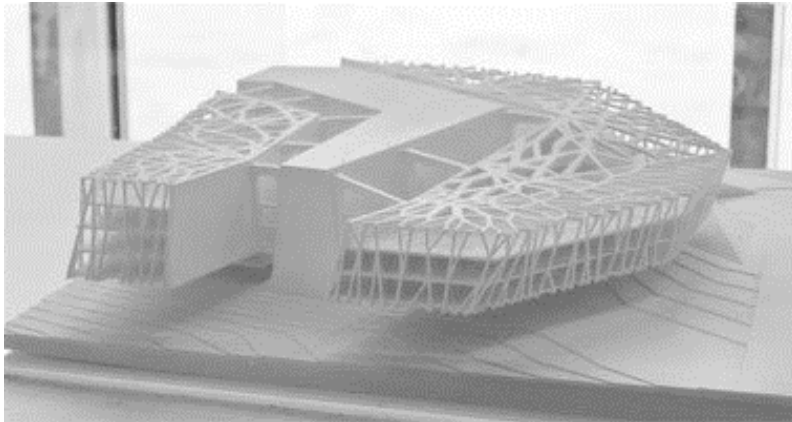
Menggunakan teori dan metode baru seperti *Deep Learning*, proses seleksi dari berbagai alternatif dan variasi desain dilakukan secara semi otomatis sehingga kita dapat menyeleksi dan memiliki solusi desain yang paling optimal dari berbagai pilihan yang ada.

## 1.6. Konstruksi Obyek

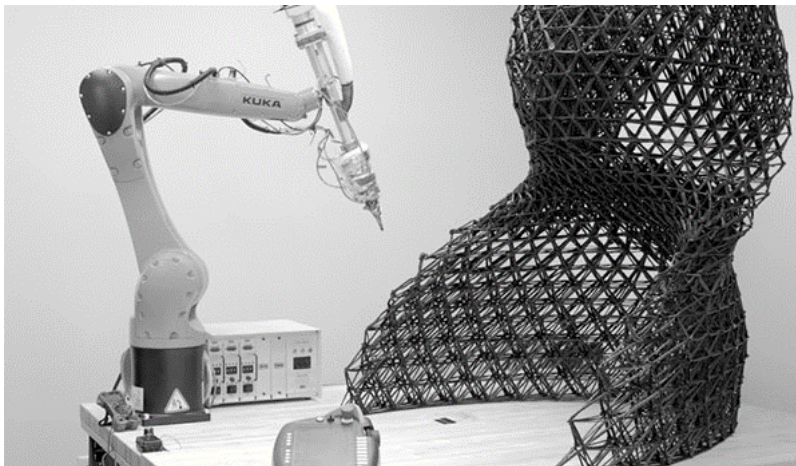
Bentuk dan geometri yang dihasilkan melalui metode parametrik dapat dikonstruksi baik dalam skala purwarupa (*prototype*) dan bersekala, maupun dikonstruksi dalam skala sebenarnya. Metode konstruksi ini mengikuti perkembangan teknologi perangkat konstruksi dan juga material. Beberapa perangkat konstruksi ini diantaranya: 3D Printer, CNC Router atau Robotic Arm.



Gambar 11. Mesin CNC Skala Besar (Sumber: Parametric Architecture)



Gambar 12. Model hasil dari 3D Printer (Sumber: makershop3d.com)



Gambar 13. Robotic Arm (Sumber: daily3dprints.com)