

TEKNOLOGI DALAM ARSITEKTUR DIGITAL

L.M.F. PURWANTO
HERMAWAN

Stephanus Evert I., Mufidah, Adolfo Freitas B., Widriyakara S.,
Aria Zabdi A.D.P., B.Y. Aria Wastunimpuna, G. Herry Purwoko,
Wawan Destiawan, Choirul Amin, Rizka Tri A., Yoseph Liem, Donatus
Ara K., Djudjun R., Onie Dian S., Andrey Caesar E., Tri Susetyo A.

TEKNOLOGI DALAM ARSITEKTUR DIGITAL

Disusun oleh:

**L.M.F. Purwanto
Hermawan**

Stephanus Evert I., Mufidah, Adolfo Freitas B., Widriyakara S.,
Aria Zabdi A.D.P., B.Y. Aria Wastunimpuna, G. Herry Purwoko,
Wawan Destiawan, Choirul Amin, Rizka Tri A., Yoseph Liem, Donatus Ara
K., Djudjun R., Onie Dian S., Andrey Caesar E., Tri Susetyo A.

Program Studi Doktor Arsitektur konsentrasi Arsitektur Digital
Fakultas Arsitektur dan Desain
Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

Cetakan ke : 5 4 3 2 1
Tahun 25 24 23 22 21

ISBN: 978-623-7635-82-6

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit.

©Universitas Katolik Soegijapranata 2021

PENERBIT:

Universitas Katolik Soegijapranata
Anggota APPTI No. 003.072.1.1.2019
Anggota IKAPI No 209/ALB/JTE/2021
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Duwur Semarang 50234
Telpon (024)8441555 ext. 1409
Website : www.unika.ac.id
Email Penerbit : ebook@unika.ac.id

PRAKATA

Perkembangan ilmu pengetahuan terutama di bidang teknologi berkembang sejalan dengan perkembangan sejarah umat manusia. Arsitektur sebagai buah dari kebudayaan manusia juga mengalami perkembangan, karena di dalamnya juga terkandung kekayaan teknologi dalam merancang dan membangun. Teknologi saat ini memasuki babak baru dalam dunia digital yang mempengaruhi cara dalam mempermudah kehidupan manusia.

Teknologi dalam arsitektur digital menjadi bahasan penting di dunia saat ini. Digital tidak hanya sebatas alat (tool) bagi arsitek, namun lebih dari itu. Digital mengubah cara desain, metode desain dan bahkan mempengaruhi dalam perwujudan karya arsitektur. Kehadiran internet dan robot semakin menegaskan arti penting digital. Pemikiran yang matang dalam desain arsitek dan kolaborasi dengan bidang keahlian lain, menjadikan karya desain arsitektur menjadi penting dan harus dilaksanakan dengan pemikiran yang matang, karena karya desain arsitektur tidak lagi dicetak dalam kertas kerja, namun langsung dicetak dalam printer 3D dan langsung terwujud dalam bentuk bangunan.

Singkat kata, Teknologi dalam Arsitektur Digital merupakan upaya untuk mempermudah kehidupan manusia. Setiap detail bangunan sudah dapat dirancang dan diperhitungkan secara cermat untuk dapat diwujudkan dalam wujud fisik.

Semoga buku ini mencerahkan dan menyadarkan kita bahwa Arsitektur Digital adalah sebuah kenyataan yang sudah ada di depan mata kita.

Semarang, Oktober 2021

Team Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| PRAKATA | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR TABEL | x |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| I.1. Latar Belakang | 1 |
| I.2. Tujuan dan Metode Penulisan | 2 |
| | |
| BAB II. ARSITEKTUR DIGITAL (Gervasius Herry Purwoko) | 5 |
| II.1. Sejarah Perkembangan Teknologi dan Revolusi Digital | 5 |
| II.2. Peran Teknologi Digital Dalam Bidang Arsitektur | 6 |
| II.3. Teknologi Informasi Dalam Bidang Arsitektur | 8 |
| II.4. Perangkat Lunak dan Simulasi Bidang Arsitektur | 8 |
| II.5. Masa Depan Arsitektur | 10 |
| II.6. Perkembangan Arsitektur ke Dunia Digital | 11 |
| | |
| BAB III. PENDEKATAN TAPAK | 21 |
| III.1. Pendekatan Desain Tapak pada Program Arsitektur (Widriyakara Setiadi) | 21 |
| III.2. Analisis Iklim menggunakan <i>Software Climate Consultant</i> (Mufidah) | 30 |
| III.3. Perhitungan Iklim Mikro dengan ENVI-met (L.M.F. Purwanto) | 37 |
| III.4. Pemetaan Wilayah dengan Geographic Information System (GIS) (Donatus Ara Kian & Tri Susetyo Anadadari) ... | 39 |
| III.5. Analisis Angin dengan software WRPlot (L.M.F. Purwanto) | 47 |
| III.6. Analisis Matahari Pada Tapak (Onie Dian Sanitha) | 51 |
| III.7. Analisis Kebisingan (Yoseph Liem) | 57 |
| | |
| BAB IV. PENDEKATAN KINERJA BANGUNAN | 59 |
| IV.1. Software Heat transfer (Stephanus Evert Indrawan) | 59 |
| IV.2. Akustik (Rizka Tri Arinta & Tri Susetyo Andadari) | 60 |
| IV.3. Pencahayaan alami (Djudjun Rusmiatmoko) | 75 |
| IV.4. Pencahayaan buatan (Choirul Amin & Tri Susetyo Andadari) . | 77 |
| IV.5. Penghawaan alami (Aria Zabdi Alias Dian Pandu) | 91 |
| IV.6. Kenyamanan thermal dengan Software (Mufidah) | 94 |
| | |
| BAB V. PENDEKATAN DESAIN BANGUNAN | 101 |
| V.1. Analisis Struktur & Konstruksi (Wawan Destiawan) | 101 |
| V.2. Parametrik Desain transfer (Stephanus Evert Indrawan) | 103 |

| | |
|--|-----|
| BAB VI. BUILDING INFORMATION MODELLING (Hermawan)..... | 115 |
| VI.1. <i>Building Information Modeling (BIM): Sebuah Tantangan</i> Bagi Industri Konstruksi di Indonesia | 115 |
| VI.2. Level Building Information Modeling (BIM) | 117 |
| VI.3. Dimensi <i>Building Information Modeling (BIM)</i> | 119 |
| VI.4. Perangkat Lunak <i>Building Information Modeling (BIM)</i> | 122 |
| VI.5. Tantangan Implementasi <i>Building Information Modeling</i> (<i>BIM</i>) Bagi Industri Konstruksi | 124 |
| BAB VII. METODE PERANCANGAN ARSITEKTUR DIGITAL | 127 |
| VII.1. Metode Perancangan Arsitektur (Benedictus Yosef Arya W) .. | 127 |
| VII.2. Metode Perancangan Arsitektur Digital (Andrey Caesar Effendi & Adolfo Freitas Bere) | 130 |
| VII.3. Virtual Reality Dan Augmented Reality Dalam Desain Arsitektur (Andrey Caesar Effendi) | 134 |
| BAB VIII PENUTUP | 137 |
| DAFTAR PUSTAKA | 138 |
| BIO DATA PENULIS | 141 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 1. | Gambar imajinasi kehidupan masyarakat Utopis (Tahun 1882) | 11 |
| Gambar 2. | Model pelaksanaan konstruksi menggunakan teknologi Robotika/Drone | 11 |
| Gambar 3. | Bangunan yang menggunakan cara analog untuk menghitung bentuk menggunakan parameter | 12 |
| Gambar 4. | Karya arsitektur ikonik | 14 |
| Gambar 5. | Bentuk alam hasil olahan komputer | 15 |
| Gambar 6. | Printer 3D untuk membangun rumah | 16 |
| Gambar 7. | Robot dalam merealisasikan karya arsitektur yang rumit | 17 |
| Gambar 8. | Angin Muson Barat Angin Muson Timur | 24 |
| Gambar 9. | Angin Darat Angin Laut | 25 |
| Gambar 10. | Angin Gunung dan Angin Lembah | 26 |
| Gambar 11. | Lintasan Matahari | 27 |
| Gambar 12. | Tampilan Awal <i>Software Climate Consultant</i> | 31 |
| Gambar 13. | Tampilan <i>Climate Onebuilding</i> , untuk Mencari Data Iklim | 32 |
| Gambar 14. | Contoh Pilihan File Data Iklim dari <i>Climate Onebuilding</i> | 32 |
| Gambar 15. | Rangkuman Data Iklim | 33 |
| Gambar 16. | Grafik <i>Temperature Range dan Monthly Diurnal Averages</i> | 34 |
| Gambar 17. | Grafik Temperatur - Kelembapan dan Kecepatan Angin | 34 |
| Gambar 18. | Grafik Lingkaran Kecepatan dan Arah Angin pada bulan Januari | 34 |
| Gambar 19. | Tampilan <i>Psychrometric Chart</i> dari <i>software Climate Consultant</i> | 35 |
| Gambar 20. | Tampilan Alternatif Panduan desain dari <i>software Climate Consultant</i> | 36 |
| Gambar 21. | Ilustrasi Panduan desain nomor 39 dari <i>software Climate Consultant</i> | 37 |
| Gambar 22. | Tahapan pemodelan ENVI-met | 38 |
| Gambar 23. | Hasil dari software ENVI-met | 39 |
| Gambar 24. | Komponen dalam GIS | 41 |
| Gambar 25. | Tampilan muka QGIS | 42 |
| Gambar 26. | Interface awal Program QGIS | 43 |
| Gambar 27. | Proses Digital Mapping Variabel Kepadatan Penduduk menggunakan software QGIS | 44 |
| Gambar 28. | Digital Mapping Output Kepadatan Bangunan pada software QGIS | 45 |

| | |
|---|----|
| Gambar 29. Bentuk pemetaan Digital Mapping Output Jarak Ke Pusat Kota pada software QGIS | 45 |
| Gambar 30. Digital Mapping Output Pembangunan dalam Jangkauan Jaringan Jalan pada software QGIS | 46 |
| Gambar 31. Digital Mapping Output Pola Pembangunan Lompatan Katak | 47 |
| Gambar 32. Windrose 10 tahun di kota Semarang | 48 |
| Gambar 33. Halaman muka WRPlot | 49 |
| Gambar 34. Windrose hasil simulasi dari software WRPlot | 50 |
| Gambar 2. Windrose pada tapak | 50 |
| Gambar 36. Model <i>Shading</i> | 52 |
| Gambar 37. Solar Chart dan Lintasan Matahari di Daerah Khatulistiwa | 53 |
| Gambar 38. Penghalang sinar matahari dengan teritisan | 54 |
| Gambar 39. Analisis pembayangan dengan software Amethyst ShadowFX | 55 |
| Gambar 40. Simulasi jendela dan teritisan | 55 |
| Gambar 41. Software Adeline3 | 56 |
| Gambar 42. Software Sunshade | 56 |
| Gambar 43. Perhitungan reduksi kebisingan | 57 |
| Gambar 3. Perhitungan dengan SONarchitect | 58 |
| Gambar 4. Perhitungan transfer panas dengan software HT-Flux. | 60 |
| Gambar 46. Pola Pantulan Sumber Bunyi | 61 |
| Gambar 47. Pola penyebaran sumber suara | 62 |
| Gambar 48. Kemiringan Bidang Lantai | 63 |
| Gambar 49. Nilai Waktu Dengung | 64 |
| Gambar 50. Sebaran suara dalam ruang | 70 |
| Gambar 51. Pembayangan akustik di balkon | 70 |
| Gambar 52. Peletakan speaker dalam bangunan | 71 |
| Gambar 53. Software Odeon | 73 |
| Gambar 54. Software Ease | 73 |
| Gambar 55. Interface EASE Focus 3 | 74 |
| Gambar 56. Proses Pemrograman Akustik dengan EASE Focus 3..... | 75 |
| Gambar 57. Pendekatan Faktor langit | 76 |
| Gambar 58. Komponen perhitungan dari metode Faktor Cahaya Siang Hari..... | 76 |
| Gambar 59. Busur surya dan nomogram untuk menghitung Faktor cahaya siang hari | 77 |
| Gambar 60. Metode Titik | 81 |
| Gambar 61. Software Ecolumen | 82 |
| Gambar 62. Interface Relux desktop 2020.2.3.0 | 82 |
| Gambar 63. Contoh input lay out dan 3d ruangan pada Relux 2020.2.3.0 | 83 |
| Gambar 64. Contoh Output Kontur Kuat Penerangan pada Relux 2020.2.3.0 | 84 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 65. Contoh Output kalkulasi sistem pencahayaan Relux 2020.2.3.0 | 84 |
| Gambar 66. Contoh Rendering sistem pencahayaan pada Relux 2020.2.3.0 | 85 |
| ar 67. Interface DIALux evo version 5.7.1.36886 | 85 |
| Gambar 68. Contoh input lay out dan 3d ruangan pada DIALux evo version 5.7.1.36886..... | 86 |
| Gambar 69. Contoh Output Kontur Kuat Penerangan DIALux evo version 5.7.1.36886 | 86 |
| Gambar 70. Contoh Output kalkulasi system pencahayaan pada DIALux evo version 5.7.1.36886 | 86 |
| Gambar 71. Contoh Rendering system pencahayaan pada DIALux evo version 5.7.1.36886 | 87 |
| Gambar 72. Contoh aplikasi cahaya buatan dengan software SweetLight | 87 |
| Gambar 73. Contoh aplikasi cahaya buatan dengan software LabLux | 89 |
| Gambar 74. Contoh aplikasi cahaya buatan dengan software Light Artist | 90 |
| Gambar 75. Ventilasi silang | 92 |
| Gambar 76. Perhitungan penghawaan alami dengan CoolVent..... | 93 |
| Gambar 77. Derajat metabolik manusia berdasarkan aktivitas | 96 |
| Gambar 78. Perlindungan Terhadap Iklim Sekitar Dari Jenis Pakaian | 97 |
| Gambar 79. Software CBE Thermal Comfort | 99 |
| Gambar 80. Software STAAD.Pro | 103 |
| Gambar 81. Software Real3D | 103 |
| Gambar 82. Penggunaan Software Grasshopper dan Software Rhinoceros 3D | 104 |
| Gambar 83. Tampilan Rhinoceros 3D | 105 |
| Gambar 84. Aktivasi dengan ikon “Standard – klik logo Grasshopper” | 106 |
| Gambar 85. Aktivasi dengan <i>Command Line</i> | 106 |
| Gambar 86. Layar tampilan Rhinoceros dan Grasshopper | 106 |
| Gambar 87. Komponen pemrograman..... | 107 |
| Gambar 88. Tampilan garis pada Rhinoceros3D yang dihasilkan oleh Grasshopper | 108 |
| Gambar 89. Menentukan ketinggian bangunan | 109 |
| Gambar 90. Menentukan jumlah lantai | 110 |
| Gambar 91. Bentuk denah dasar dan rotasi | 111 |
| Gambar 92. Skematik plat lantai dan massa bangunan | 112 |
| Gambar 93. Siklus Konstruksi Dengan Menggunakan BIM | 116 |
| Gambar 94. Tiga Faktor Pendukung Kematangan Penggunaan BIM | 118 |
| Gambar 95. Aliran Data dari 5D-BIM | 120 |
| Gambar 96. Pembagian Dimensi BIM | 122 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 97. Kendala Penerapan BIM di Indonesia | 125 |
| Gambar 98. Walt Disney Concert Hall – Frank Gehry | 131 |
| Gambar 99. Galaxy SOHO by Zaha Hadid Architects | 131 |
| Gambar 100. <i>User interface</i> perangkat lunak Catia | 132 |
| Gambar 101. Virtual Reality dan Augmented Reality | 135 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 1: Nilai Waktu Dengung Ideal | 65 |
| Tabel 2: Koefisien Absorpsi (α) Bahan | 69 |
| Tabel 3: Aktifitas, Derajat Metabolik Dan Tingkat Efisiensi Mekanik | 96 |
| Tabel 4: Jenis Pakaian | 98 |
| Tabel 5: Nilai PMV | 98 |
| Tabel 6: Perangkat Lunak Pada BIM..... | 122 |

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Desain arsitektur mengalami perkembangan akhir-akhir ini. Kehadiran teknologi digital mengubah paradigma ber-arsitektur secara signifikan. Pro dan kontra juga muncul seiring berkembangnya program simulasi komputer untuk membantu proses desain saat kehadiran AutoCAD pertama kali yang mengubah gambar manual (digambar oleh arsitek) menjadi gambar digital, banyak yang mengkhawatirkan adanya kecurangan plagiasi. Kekhasan tarikan tangan setiap arsitek akan hilang atau kabur, karena gambar digital akan menampilkan kesamaan grafis. Namun, di sisi lain kehadiran software ini disambut gembira beberapa kalangan, karena presisi, kerapian gambar, kemudahan editing dan kecepatan pengolahan gambar menjadi poin positif. Pro dan Kontra terjadi di tahun awal dan semakin lama semakin dapat diterima kehadirannya dan bahkan sekarang menjadi sebuah keharusan bagi arsitek atau calon arsitek dalam menggambar karya arsitekturnya. Seiring dengan perkembangan tersebut maka muncul software lain yang semakin mempermudah dalam menghasilkan karya arsitektur, tawaran fitur-fitur yang menarik dan mempermudah serta semakin mengarahkan gambar pada kemiripan kondisi riil menjadikan ketergantungan terhadap software digital ini tidak terelakkan lagi. Software yang menawarkan kemudahan menggambar 3D secara langsung, software rendering, semakin diminati.

Perkembangan software perhitungan baik fisika bangunan, struktur dan konstruksi maupun perhitungan lainnya semakin dipermudah dalam software yang saat ini dikembangkan. *User friendly* menjadi poin utama dalam menyusun software. Tidak ada lagi kerumitan dalam operasional software yang ditawarkan.

Perkembangan teknologi digital ini mengedepankan kolaborasi yang utuh antara klien arsitektur dengan praktisi Arsitektur dan *Structure Engineer* ataupun *Mechanical Electrical Engineer*. Klien dapat dilibatkan sejak awal dalam proses desain dan duduk bersama dengan team perencana nya. Kehadiran *Artificial Intelligent*, seperti pemanfaatan *Virtual Reality* dan *Augmented Reality* sangat membantu klien dalam memahami arsitektur dan

keruangannya, terutama klien yang awam dalam gambar teknik. Pemanfaatan *Virtual Reality* dan *Augmented Reality* mampu menghadirkan ruang yang riil dalam bentuk virtual sehingga klien dapat memahami dan merasakan ukuran, keluasan, bahkan suasana yang akan dihadirkan dalam karya arsitektur nantinya.

Work from home, sebuah kalimat kekinian pun dapat dengan mudah dihadirkan dan diterapkan dengan pemanfaatan teknologi saat ini. Desain bangunan yang dapat dikolaborasikan dengan team *Structure Engineer* ataupun *Mechanical Electrical Engineer* melalui meeting virtual dengan aplikasi semacam zoom, google meet dsb. Hal ini tidak lepas karena penggunaan internet yang tak terbatas lagi. Kehadiran robot dan printer 3D mampu menghemat biaya, waktu dan menekan kekurang-tepatan dalam pelaksanaan pembangunan.

Memasuki sebuah era, dimana desain sampai pelaksanaan bangunan dapat dikontrol dalam satu tempat dan dalam jarak yang jauh menjadi keniscayaan yang tak terhindari lagi di masa yang akan datang. Positif dan negatif selalu akan muncul menyertai setiap kehadiran teknologi baru. Kekhawatiran berkurangnya tenaga kerja tentu akan digantikan dengan peningkatan pendidikan, karena tenaga terampil-lah yang akan dibutuhkan. Tenaga kerja lama akan berusaha untuk meningkatkan kualitas kompetensi diri dengan menguasai teknologi. Sisi positif yang akan terjadi adalah kesadaran masyarakat akan arti pentingnya pendidikan akan semakin meningkat supaya dapat bertahan mendapatkan pekerjaan yang menuntut kompetensi dan penguasaan teknologi.

I.2. Tujuan dan Metode Penulisan

Perkembangan dari Teknologi software komputer ini terus berkembang dan setiap hari muncul software baru. Jika kita amati, awal mula software disusun hanya untuk membuat gambar 2D dan berkembang ke 3D, namun sekarang berkembang dengan kehadiran software fisika bangunan, software meteorologi yang membantu memperhitungkan iklim di kawasan, tapak maupun bangunan, software pemetaan kawasan dan kota, software perhitungan-perhitungan struktur dan konstruksi, software pengolahan bentuk bangunan dengan pendekatan parametrik dan masih banyak lagi. Luar biasanya kehadiran *artificial Intelligent* juga ikut memperkaya dan mempermudah desain arsitektur, seperti pemanfaatan *Virtual Reality* dan *Augmented Reality*. Perkembangan yang pesat ini mendorong untuk ikut berperan serta membantu para arsitek dan praktisi lainnya dalam memanfaatkan kekayaan teknologi digital ini sehingga mempermudah proses

desain dari awal hingga akhir pelaksanaan pembangunan. Tujuan penulisan ini, memberikan wawasan yang komprehensif dalam memahami dan menggunakan aplikasi software digital dalam proses perancangan arsitektur.

Metode penulisan yang digunakan dalam penyusunan buku ini adalah menggunakan pendekatan perancangan arsitektur pada umumnya, namun dikaitkan dengan software dan mengaitkan dengan setiap kebutuhan dan kegunaan dalam proses desain arsitektur. Penggunaan software diarahkan mulai dari pendekatan tapak, desain bangunan, desain struktur dan konstruksi serta integrasi seluruh rangkaian dengan kelengkapan software yang ada. {pengalaman menggunakan software menjadi poin penting dalam penyusunan penulisan ini yang mampu memberikan gambaran lengkap tahap demi tahap penggunaan software yang ada.

BAB II

ARSITEKTUR DIGITAL

II.1. Sejarah Perkembangan Teknologi dan Revolusi Digital

(Gervasius Herry Purwoko)

Lahirnya generasi remaja tahun 1980'an ditengarai sebagai pemicu munculnya Revolusi Digital, yaitu sebuah perubahan yang sangat mendasar dari teknologi mekanik atau elektronik analog ke teknologi digital. Revolusi digital ini menandai telah dimulainya era Informasi yang berlangsung di seluruh dunia hingga saat ini. Adanya revolusi digital ini telah mengubah secara mendasar sudut pandang seseorang terhadap kehidupan dan menjalani hidupnya. Teknologi digital yang ditemukan ini dipandang mempunyai nilai ekonomis sehingga layak untuk diimplementasikan secara luas pada masyarakat dan diadopsi kedalam system computer, yaitu konversi dari system analog kedalam format digital. Komputer atau peralatan lain dengan format digital memberikan kemampuan dalam memperkuat sinyal digital dan menyebarkannya tanpa kehilangan data atau informasi dalam sinyal, atau memindahkan dan mendistribusikan informasi digital antar media jarak jauh. Komputer merupakan system elektronik yang berfungsi untuk manipulasi data secara cepat dan tepat, memproses dan memproduksi output dalam pengawasan instruksi program, dan menyimpannya dalam memori (*storage*). Pengolahan data melalui computer disebut Pengolahan Data Elektronik atau disingkat PDE (*Electronic Data Processing*), adalah manipulasi data kedalam bentuk informasi yang lebih bermanfaat.

Komputer yang dikenal saat ini mempunyai rentang evolusi yang sangat panjang, sejarah ditemukannya computer berawal dari digunakannya Abacus yang ditemukan di Babilonia (Irak) sekitar 3.000 tahun sebelum Masehi, sebagai sebuah aturan manual bagi lingkup sekolah maupun pedagang saat itu. Pada perkembangan selanjutnya banyak ditemukan peralatan mekanikal tanpa tenaga listrik seperti Pascaline (Blaise Pascal, 1642), Arithometer (Charles Xavier Thomas de Colmar, 1820), Babbage's Folly (Charles Babbage, 1822), dan Hollerith (Herman Hollerith, 1889). Peralatan tersebut mempunyai ukuran dan tingkat kerumitan struktur yang didasarkan atas pengopersian aturan yang dilaksanakan. Baru kemudian pada tahun 1940

ditemukan komputer elektrik yang menerapkan system aljabar Boolean. Hingga pada era tahun 1980'an computer dijadikan mesin yang umum digunakan masyarakat di seluruh dunia. Perkembangan computer elektronik yang didukung pengembangan mikroprosesor yang kinerjanya semakin meningkat, ternyata mendorong terwujudnya revolusi digital, sehingga saat ini semua bidang kehidupan tak dapat lepas dari pengaruh sistem digital, termasuk dalam bidang arsitektur. Dalam bidang informasi, pengembangan teknologi transmisi dan jaringan serta telepon seluler 3G tumbuh sangat pesat bersamaan dengan penetrasi sosial, memainkan peran yang sangat penting dalam revolusi digital, yaitu secara bersama-sama memberikan hiburan multimedia dimana-mana, komunikasi, dan konektivitas online. Jadi teknologi informasi tidak hanya sebatas perangkat keras dan lunak pada computer yaitu untuk menyimpan informasi, tetapi juga untuk komunikasi dan mengirimkan informasi. Kemajuan teknologi digital pada era informasi ini membawa masyarakat kedalam dunia usaha dan jasa yang revolusioner, karena sifat-sifat kemudahannya, murah, praktis.

II.2. Peran Teknologi Digital Dalam Bidang Arsitektur

Teknologi digital akan terus berkembang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dalam masyarakat. Secara umum peran teknologi digital yang dimulai pada sekitar tahun 1980-an, dimana perangkat lunak dalam bidang rancang-bangun yang dikenal saat itu adalah AutoCAD, yaitu merupakan alat bantu untuk membuat gambar-gambar teknik secara umum termasuk gambar arsitektur. Program ini pada versi awal masih menggunakan input koordinat dalam membuat suatu garis sehingga memerlukan waktu yang lebih lambat dibanding menggambar dengan tangan secara manual. Dalam perkembangan selanjutnya setelah digunakannya mouse, maka penggunaan AutoCAD dalam menggambar meningkat lebih cepat dan lebih kompleks. Pada era tahun 2000-an berkembang program komputer rendering 3D Studio dalam berbagai versi, selain itu juga berkembang berbagai program aplikasi untuk rendering yang juga dapat digunakan untuk animasi. Meski demikian pada masa itu penggunaan teknologi digital dirasakan tak lebih dari sekadar alat bantu yang berhubungan dengan dunia perancangan arsitektur. Jika pada awalnya teknologi digital dalam dunia perancangan arsitektur hanya bertindak sebagai *tools* yang membantu desainer menghasilkan produk gambar dengan lebih cepat dan akurat, maka pada saat ini teknologi digital telah bertindak atau mempunyai peran:

1. Sebagai *agent*, yang ikut serta dalam proses desain arsitektur dimana arsitek dan mahasiswa arsitektur dapat bereksplorasi dalam menemukan inovasi baru dalam desain. Pada tahap ini arsitek dan

desainer dapat bereksplorasi dengan komputer pada proses desain dalam berbagai aspek, seperti aspek bentuk, spasial, structural, material dan berbagai aspek lainnya. Dengan demikian bentuk – bentuk geometri yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dapat diselesaikan dengan bantuan teknologi digital yang dalam hal ini komputasi sebagai proses desain arsitektur.

2. Sebagai proses simulasi, dimana pengaruh lingkungan pada bangunan atau sebaliknya dapat dilakukan dengan bantuan komputer. Komputer menjadi instrumen untuk melakukan eksplorasi dan inovasi terhadap desain.
3. Sebagai proses analisa dan evaluasi kinerja desain, artinya computer dapat melakukan komputasi yang tidak hanya digunakan dalam mengeksplorasi bentuk-bentuk geometri yang kompleks sebagai simulasi untuk mendapatkan inovasi bentuk, akan tetapi saat ini komputasi dalam proses perancangan juga dapat digunakan sebagai instrument analisis. Salah satu contohnya yaitu *software* dari Autodesk yaitu *Ecotect* yang berfungsi untuk melakukan simulasi terhadap kinerja bangunan. Salah satu kegunaan *software* ini yaitu dapat melakukan simulasi pengaruh dari lingkungan atau lahan perancangan bangunan seperti pencahayaan, pembayangan, penghawaan yang akan berpengaruh terhadap keadaan thermal di dalam bangunan nantinya. Dengan demikian mereka dapat menghasilkan suatu desain yang lebih optimal yang tentu saja sangat menguntungkan arsitek atau desainer. Teknologi digital sangat membantu arsitek, desainer, atau mahasiswa dalam proses perancangan arsitektur, sehingga sekarang ini bidang perancangan arsitektur tidak bisa lagi dipisahkan dari teknologi digital.
4. Sebagai alat komunikasi dan presentasi arsitektur, dalam hal ini teknologi digital juga mempengaruhi perubahan komunikasi dan presentasi dalam arsitektur. Kemungkinan perubahan komunikasi dan representasi dalam arsitektur dengan bantuan teknologi komputasi didasarkan pada kemampuan computer yaitu :
 - *Flexibility* – kemampuan untuk mengubah tingkat abstraksi yang diperlukan tanpa harus merekonstruksi representasi dari awal.
 - *Interlinking* – kemampuan untuk menghubungkan informasi yang diwakili dengan cara yang berbeda sehingga ketika salah satu representasi yang dimodifikasi, yang lain juga akan termodifikasi.
 - *Information Management* – kemampuan untuk mengatur dan mengakses sumber informasi yang kompleks.
 - *Visualization* – kemampuan untuk menghasilkan gambar - gambar yang realistis sekalipun tidak ada artefak dan lingkungan.
 - *Intelligence* – kemampuan untuk menanamkan aturan desain, kendala, dan tujuan dalam representasi itu sendiri, menjadikannya sebagai mitra aktif dari dalam proses desain.

- *Connectivity* – kemampuan untuk membagi informasi secara cepat diantara peserta dalam proses desain.

II.3. Teknologi Informasi Dalam Bidang Arsitektur

Majunya teknologi informasi telah merubah pola hidup masyarakat dimana cara bersosialisasi dan berperilaku menjadi berubah. Bahkan kondisi ini membentuk kebiasaan baru bagi masyarakat. Banyak studi menjelaskan tentang peluang baru yang ditawarkan melalui teknologi, seperti menciptakan realitas baru dimana lingkungan dan media digital terintegrasi dalam kehidupan sehari-hari. Mahasiswa dan Praktisi Arsitektur generasi baru merupakan generasi *Digital Natives* yang akrab dengan teknologi terutama teknologi digital. Namun sampai saat ini pemanfaatan teknologi ini masih terbatas pada aplikasi penunjang pekerjaan Arsitek seperti CAD (Computer Aided Design) maupun BIM (Building Information Modeling). Hingga saat ini pemanfaatan teknologi perangkat lunak hanya terbatas pada pemanfaatan visualisasi, dengan kemajuan teknologi *Virtual and Augmented Reality* dan *Geo-Referencing* maka ketrampilan model baru dalam perancangan akan terbuka semakin luas.

Dalam perkembangannya saat ini teknologi informasi bukan saja sekedar sebagai alat bantu tetapi sudah memasuki ranah pikir yaitu suatu pendekatan dalam cara berpikir, dan dari mana memulainya. Adalah sebuah keniscayaan bahwa teknologi digital memicu kreativitas manusia dengan terobosan-terobosan baru termasuk dalam pendidikan arsitektur. Dalam kajian ini bahwa teknologi dalam pendidikan arsitektur yang menggunakan metode simulasi atau berbasis pengalaman saat ini sudah sangat berkembang, digunakan secara resmi oleh lembaga pendidikan arsitektur karena hasilnya akurat dan dapat diterima secara luas. Namun demikian untuk melakukan sebuah simulasi perancangan diperlukan data yang spesifik menyangkut lokasi bangunan dan kawasan seperti; iklim, dimensi bangunan dan sebagainya masih sangat sulit didapat dan belum tersedia secara utuh.

II.4. Perangkat Lunak dan Simulasi Bidang Arsitektur

Dalam bidang arsitektur terdapat berbagai macam layanan terkait perancangan bangunan yang cukup banyak tersedia di Internet, salah satunya adalah *Openstreetmap (OSM)*, yaitu sebuah platform pembuatan peta yang bebas disunting dan bersifat urun-daya. Aplikasi ini focus pada ketersediaan data peta dan saat ini telah tumbuh dengan jumlah kontributor sebanyak 1,6 juta pengguna terdaftar yang mengumpulkan data menggunakan survei mandiri. Dengan data yang dihimpun semakin besar,

meluas, dan beragam, maka sudah saatnya masyarakat terutama mahasiswa arsitektur memanfaatkannya secara maksimal untuk berbagai keperluan perancangan, bahkan hasilnya dapat menjadi materi pengembangan selanjutnya (urun-daya) bagi OSM.

Mengingat proses perancangan dalam Pendidikan arsitektur memerlukan kejelian dalam mengolah parameter, maka perangkat lunak parametric akan membantu melakukan analisis yaitu dengan memasang beberapa parameter sekaligus untuk melihat kinerja desainnya. Keunggulan metode parametric adalah jika satu parameter rancangan diubah, maka akan menyebabkan parameter lain serentak akan berubah sesuai dengan algoritma yang telah dimasukkan sebagai input data, dan akan merubah output rancangan secara keseluruhan. Metode simulasi parametrik ini akan mengubah pembelajaran arsitektur secara signifikan yaitu; dapat menguji beragam parameter sekaligus; dimensi-kualitas-kuantitas material, dapat melakukan analisis dan uji simulasi berkali-kali dalam satu semester pembelajaran. Pada tahapan dimana harus tersedia bangunan uji yang realistic, maka dibuatlah bangunan baseline yang berada pada suatu kawasan riil, caranya dengan metode pemotretan udara (teknologi LiDAR), yang divalidasi dengan metode pengukuran fisik lapangan. Dengan demikian bangunan uji akan persis seperti kondisi di lapangan berupa bangunan 3 dimensi lengkap dengan elemen-elemen lingkungan kawasan. Adapun pada tahapan dimana dilakukan uji pembelajaran oleh mahasiswa maka akan digunakan program simulasi yang akan melakukan komputasi dan simulasi terhadap bangunan yang dirancang mahasiswa, program-program tersebut diantaranya; Ecotec, Energy Plus, dan sebagainya sesuai kebutuhan.

Proses simulasi dalam disiplin ilmu Arsitektur terbagi atas 3 jenis yakni melalui gambar, fotografi dan model bangunan. Beragam jenis hasil simulasi dapat diperoleh melalui perhitungan model bangunan yang berdasarkan perhitungan parameternya. Model bangunan dapat berupa model fisik maupun virtual. Orientasi Bangunan Sinar Matahari, pergerakan angin dan lain sebagainya dapat dihitung melalui proses uji fisik, misalnya melalui Wind Tunnel untuk menguji pergerakan angin terhadap bangunan, BESTEST (*Building Energy Simulation Test*) untuk menghitung jumlah pemakaian energi pada gedung dalam jumlah tertentu dan memberikan solusi untuk pengoptimalannya. Berbagai software seperti "*Design Builders*", "*Ecotect Software Analysis*" dapat menyederhanakan proses dalam mengidentifikasi berbagai variable pada model bangunan seperti DBT (*Dry Bulb Temperature*), WBT(*Wet Bulb Temperature*). Arsitek dapat mengubah parameter selama proses perancangan berlangsung, melakukan

pemeriksaan terhadap hasil pemodelan sehingga dapat memilih berbagai probabilitas yang ditawarkan. Sehingga dapat langsung diterapkan pada desain bangunan dan hasilnya dapat segera diketahui.

Adapun pendekatan Parametrik dalam arsitektur digital menghasilkan variasi solusi desain dalam sebuah model digital melalui pendekatan *visual scripting*. Dalam permodelan parametrik membutuhkan berbagai parameter seperti bentuk awal, variable angka dan hubungan operasional yang kemudian dikemas kedalam sebuah rumus visual untuk menghasilkan sebuah solusi maupun metode untuk menghasilkan ragam solusi. Dalam praktek perancangan akan dilakukan proses simulasi desain performa bangunan dengan pendekatan parametrik, sehingga dapat menghasilkan solusi desain yang beragam dan optimal. Pada proses ini seorang arsitek akan menggunakan software Rhinoceros dan Grasshopper.

II.5. Masa Depan Arsitektur

Trend Perkembangan teknologi digital yang merasuk hingga bagian terdalam dalam dunia arsitektur ditandai dengan munculnya berbagai perangkat lunak dan platform yang dapat membantu bahkan menggantikan posisi manusia (arsitek) dalam proses perancangan. Hal tersebut tentu saja memicu kekhawatiran sebagian kalangan arsitek bahwa di masa depan arsitek sudah tidak diperlukan lagi, namun sebagian arsitek lain tetap optimis bahwa terdapat hal yang paling mendasar dari seorang arsitek yang perannya tidak dapat digantikan oleh perangkat computer atau sejenisnya.

Masa depan yang dikenal dengan jaman Utopia digambarkan penuh dengan kehidupan masyarakat yang menikmati nuansa teknologi, dikenal sebagai teknoutopianisme (lihat gambar 1). Bagi kaum utopis Konsep kehidupan yang diharapkan adalah keinginan untuk mendamaikan alam dan teknologi, serta membebaskan manusia dari pekerjaan keras yang tidak perlu, dan berambisi untuk memungkinkan manusia hidup dimanapun di alam ini dengan pendekatan industrialisasi.



Gambar 1. Gambar imajinasi kehidupan masyarakat Utopis (Tahun 1882)

Pada gambar 2, penggunaan robotika dalam arsitektur merupakan suatu narasi menuju masyarakat industry yang dicita-citakan. Adapun konsep robotika untuk meringankan tugas-tugas pria merupakan hasil pemikiran yang kompromistis antara pikiran desainer dan realitas yang ada.



Gambar 2. Model pelaksanaan konstruksi menggunakan teknologi Robotika/Drone

II.6. Perkembangan Arsitektur ke Dunia Digital

Memasuki satu era digital adalah satu hal keniscayaan. Saat dunia berubah dari segala sesuatu yang bersifat manual, kehadiran komputer mengubah segala halnya menjadi digital. Kehadiran komputer ditandai saat Blaise Pascal membangun komputer digital pertama pada tahun 1642. Ia memasukkan angka untuk menghitung dengan kecepatan yang tinggi pada era itu. Kehadiran teknologi selalu diikuti dengan kekhawatiran. Tanda-tanda

pertama technophobia muncul, dengan ketakutan para matematikawan kehilangan pekerjaan mereka, karena kemajuan teknologi ini [1].

Dalam perkembangan arsitektur dari masa kemasa, dapat dikelompokkan dalam beberapa masa, yaitu: [2]

1. **Origins: Morphological Thinking**

Pada pengelompokan awal ini, arsitek berupaya mengartikulasikan pentingnya mengintegrasikan perilaku alami ke dalam desain arsitektur melalui gagasan 'arsitektur organik'. Arsitektur dapat dipahami sebagai organisme yang selaras dengan lingkungannya, mulai dari morfologi hingga fungsinya

2. **The Proto-Parametricists**

Pemikiran yang menghasilkan karya arsitektur dengan menerapkan prinsip-prinsip alam, dan matematika, sangat mempengaruhi arsitek di awal hingga pertengahan abad ke-20. Meskipun mereka tidak memiliki akses ke teknologi desain saat ini, tetapi mereka dapat memanfaatkan pemikiran morfogenetik dengan cara yang analog dengan cara apa pun yang mereka miliki saat itu. Gambar 3. Menggambarkan secara khusus, hal yang mengarah pada pengembangan serangkaian karya yang dapat dikatakan sebagai 'proto-parametrik', atau menggunakan cara analog untuk menghitung bentuk menggunakan parameter.



Gambar 3. Bangunan yang menggunakan cara analog untuk menghitung bentuk menggunakan parameter

3. **A Cybernetic Revolution**

Istilah cybernetics pertama kali didefinisikan oleh ahli matematika dan filsuf Norbert Wiener pada tahun 1948. Sibernetika menyatukan

berbagai konsep dari beragam bidang pekerjaan, seperti teknik, ilmu komputer, ilmu saraf, biologi, dan teori jaringan. Sibernatika juga menetapkan teori bahwa semua perilaku, termasuk manusia dan mesin, adalah bagian dari sistem loop umpan balik input dan output. Dalam sistem apa pun, input dan output ini terus bergabung bersama untuk memperluas kapasitas manusia atau mesin. Dapat dikatakan bahwa Sibernatika berhubungan erat dengan teori informasi, teori pengendalian, dan teori sistem, setidaknya dalam bentuk urutan pertamanya. Tujuan penting dari sibernatika adalah untuk memahami dan menentukan fungsi dan proses dari sistem yang memiliki tujuan dan yang berpartisipasi dalam lingkaran rantai sebab akibat yang bergerak dari aksi/tindakan menuju ke penginderaan lalu membandingkan dengan tujuan yang diinginkan, dan kembali lagi kepada tindakan. Mempelajari sibernatika menyediakan sarana untuk memeriksa desain dan fungsi dari sistem apapun, termasuk sistem perancangan arsitektur yang bertujuan untuk membuat desain menjadi lebih efisien dan efektif. Sibernatika akan memungkinkan bentuk baru desain arsitektur yang dirancang berinteraksi dan berkembang selaras dengan kekuatan alam, termasuk kekuatan masyarakat

4. Early Digital Explorations

Industri pembuatan kapal, penerbangan dan mobil telah menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD) selama beberapa dekade untuk merancang bentuk yang kompleks. Pemanfaatan alat-alat ini oleh firma arsitektur seperti Greg Lynn FORM, Foreign Office Architects (FOA) dan NOX mengubah praktik desain arsitektur: untuk pertama kalinya, dimana arsitek mampu mencapai kurva 3D, kompleks, variabel menggunakan jenis kurva yang disebut kurva spline dan bukan hanya berupa garis lurus 2D sepanjang sumbu X atau Y. Hal ini ditandai sebagai awal dari proses pengembangan secara digital. Software komputer menjadi lebih penting, karena tidak hanya membantu proses desain tetapi juga pada produksi gambar. Software menghasilkan data yang dapat dikirim langsung ke produsen tanpa penyesuaian apapun. Ini kemudian dikembangkan menjadi software Building Information Modelling (BIM)

5. From Virtual to Physical

Kemajuan teknologi digital dan konstruksi memungkinkan arsitek untuk mengekspresikan dan mewujudkan bentuk yang awalnya

hanya dapat dikonseptualisasikan saja dan sekarang dapat diwujudkan dalam karya arsitektur yang nyata. Eksplorasi bentuk-bentuk yang dianggap lebih ekspresif memunculkan arsitektur ikonik di berbagai kota di seluruh dunia, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Karya arsitektur ikonik

6. Collaborative Practice

Kehadiran internet, memungkinkan tatanan kerja menjadi bentuk kolaboratif, karena internet memungkinkan semua bagian menjadi saling terhubung. Saling terhubung dan berkomunikasi setelah kehadiran internet menjadi lebih real time. Mengirim hasil desain dengan email akan dapat diterima pada saat yang bersamaan, tidak seperti mengirim surat yang membutuhkan waktu beberapa hari. Telekomunikasi, internet, dan digitalisasi proyek dengan menggunakan BIM memungkinkan beberapa orang untuk mereformasi praktik kerjanya seputar komunikasi jaringan, peningkatan kolaborasi, dan kecerdasan kolektif.

7. Computing Nature

Dunia akademisi di universitas yang mengembangkan ide dan desain yang luar biasa, kemudian digabungkan dengan aksesibilitas dari perangkat digital yang memungkinkan gambar 2D menjadi hidup sebagai model 3D virtual yang didorong oleh algoritme komputer untuk menemukan bentuk-bentuk baru dengan menggunakan parameter. Teknologi digital memungkinkan evolusi pemikiran morfologis di abad ke-20, yang mampu memberikan kehidupan baru dalam bentuk konsep, sistem non-linier dan pengorganisasian diri, stimergi dan pemodelan berbasis agen yang menghasilkan bentuk desain baru yang terinspirasi dari bentuk alam yang kompleks. Komputer mampu memindai dan mengolah bentuk-bentuk alam yang

dinamis dengan perhitungan parametrik, seperti menggunakan software Rhinoceros dan Grasshopper (lihat gambar 5)



Gambar 5. Bentuk alam hasil olahan komputer

8. Parametric Explosion

Saat ini, ada perdebatan antara arsitek yang tertarik pada potensi alat dan teknologi digital dan arsitek yang tertinggal dalam menggeluti arsitektur digital. Mereka mempertanyakan apakah alat desain digital dan parametrik hanyalah sarana untuk mencapai tujuan, misalnya bagaimana sesuatu dirancang. Banyak arsitek berpendapat, bahwa parametrik adalah gaya baru yang hebat setelah Modernisme, sebuah paradigma yang muncul dari eksploitasi kreatif sistem desain parametrik dalam rangka mengartikulasikan proses dan institusi sosial yang semakin kompleks. Ledakan penggunaan desain parametrik saat ini tidak terbendung karena ekspresi kreativitas yang terwadahi dalam software digital dan menjadikan satu gelombang baru dalam perwujudan desain arsitektur.

9. Augmenting Reality

Perwujudan gambar 3 D selanjutnya diarahkan ke bentuk tayang lebih riil dan interaktif. Penggambaran pemodelan bangunan dikaitkan dengan lingkungan sekitar, sebelum bangunan tersebut benar-benar dibangun, dapat dilakukan dengan pemodelan virtual 3D. Sistem ini diperkenalkan dengan nama augmented reality. Augmented reality sebagai penggabungan benda-benda nyata dan maya di lingkungan nyata, berjalan secara interaktif dalam waktu nyata, dan terdapat integrasi antarbenda dalam tiga dimensi, yaitu benda maya terintegrasi dalam dunia nyata. Perkembangan digital pada era ini

adalah kemampuan menggabungkan desain yang belum terbangun dengan lingkungan nyatanya, sehingga menghasilkan keselarasan yang dapat dinilai sedini mungkin sebelum proyek tersebut benar-benar terbangun.

10. Digital Fabrication

Di era sebelum digital berkembang, sebuah pabrik besar dibangun dalam satu tempat dan hasil produksinya disebar ke pelosok dunia dengan transportasi yang menghasilkan jejak carbon yang besar. Namun dengan kehadiran digital dan internet, serta kehadiran 3D printer, maka sebuah pabrik dapat memproduksi di berbagai tempat dan men-delivery nya tanpa menggunakan sarana transportasi (gambar 6). Karya arsitektur juga dapat dilakukan dengan mengirimkan gambar dan memerintahkan untuk diproduksi dengan peralatan 3D printer yang besar.



Gambar 6. Printer 3D untuk membangun rumah

11. Robots

Gagasan kehadiran robot, tidak dapat disangkal bahwa robot ada di sini untuk tinggal dan akan semakin hadir dalam kehidupan kita sehari-hari di masa depan. Demikian juga dalam lingkup kerja seorang arsitek. Kata robot pertama kali digunakan pada drama 1920 R.U.R. (Rossum's Universal Robots) oleh Karel apek, istilah robot digunakan untuk menggambarkan 'manusia buatan' yang bisa lebih sempurna secara mekanis, dan karena itu lebih cerdas, daripada manusia. Kehadirannya dalam dunia nyata dapat terwujud dalam lengan robot industri pertama, yang disebut Unimate, George C. Devol Jr., penemu Amerika yang menciptakannya pada 1954. Kehadirannya kemudian mempengaruhi pula dalam lingkup pekerjaan arsitektur, seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Robot dalam merealisasikan karya arsitektur yang rumit

12. Radical Rethinking

Arsitek Alessandro Bava menulis: 'Bagaimana inovasi dalam komputasi ini dapat digunakan untuk lebih memahami kinerja lingkungan bangunan, atau cara terbaik untuk merancang intervensi perencanaan kota, atau proses produksi dan konstruksi.? Bagaimana kecerdasan buatan termasuk pembelajaran mesin memungkinkan arsitek merancang jenis arsitektur baru yang dapat merespons dunia yang terus berubah dengan lebih baik?. Bagaimana alat digital memungkinkan arsitek dan desainer menciptakan arsitektur yang lebih baik untuk lebih banyak orang?. Penggunaan perangkat digital yang lebih besar saat ini dimungkinkan karena adanya Big Data untuk menjawab semua permasalahan digital yang kompleks saat ini. Kecerdasan buatan yang sangat besar memungkinkan kolaborasi arsitek dengan robot dengan dukungan Big Data tersebut.

13. The Discrete

Diskrit adalah kumpulan karya yang muncul yang memikirkan kembali blok bangunan dasar arsitektur. Inti dari Diskrit adalah keinginan untuk 'mendefinisikan ulang seluruh rantai produksi arsitektur dengan mempercepat gagasan diskrit, baik dalam komputasi maupun perakitan fisik bangunan'. Arsitektur dalam pendekatan Diskrit dipahami sebagai sesuatu yang disusun dari bagian-bagian yang serupa, berseri, dan dapat diulang yang dapat digabungkan dengan berbagai cara. Diskrit dikatalisis oleh kemampuan saat ini untuk menghitung kemungkinan desain melalui seperangkat aturan yang terbatas lebih cepat daripada sebelumnya, membangun parameter yang dapat bersifat tektonik, lingkungan, material dan yang terpenting, sadar sosial dan partisipatif.

14. What's Next: Construction Goes Digital

Langkah berikutnya adalah masuknya industri konstruksi dalam dunia digital. Dunia konstruksi adalah salah satu industri yang paling tidak terdigitalisasi di dunia. Dengan kehadiran robot dan printer 3D akan mengarahkan dunia industri konstruksi secepatnya masuk ke dalam dunia digital.

15. Digital Transparency

Digital dan teknologi merupakan kebutuhan yang sangat vital di masa kini dan masa datang. Valentin Soana menyatakan digital dalam desain arsitektur memungkinkan 'sistem baru, di mana proses arsitektur dapat muncul melalui kolaborasi erat antara manusia dan mesin. Teknologi digunakan untuk memperluas kemampuan dan meningkatkan desain dan proses konstruksi. Transparansi dan keterbukaan tentang kekuatan teknologi digital dan produksi lingkungan binaan ini diperlukan untuk melayani semua orang dengan lebih baik dan merancang dunia yang lebih indah.

The Association for *Computer Aided Design* in Architecture (ACADIA) merumuskan sembilan aspek dari arsitektur digital, yaitu

- Digital Pedagogy
- Digital tools
- Digital production/fabrication
- Digital visualization
- Digital projects
- Digital design
- Digital representation
- Digital thinking
- Digital practice

Pada awalnya definisi dari Arsitektur digital, dianggap sebuah karya arsitektur yang menggunakan pemodelan komputer, pemrograman, simulasi, dan pencitraan untuk membuat bentuk virtual dan struktur fisik. Sebenarnya arsitektur digital tidak semata memindahkan gambar manual ke dalam komputer sebagai gambar digital, ataupun sekedar menggunakan software sebagai alat bantu saja. Arsitektur Digital telah masuk dalam era menghitung yang kompleks yang dulu sangat membatasi arsitek dan kini memungkinkan beragam bentuk kompleks dibuat dengan sangat mudah menggunakan algoritme komputer [3]. Arsitektur digital hadir untuk membantu dan

mempermudah perancangan arsitektur dari tahap pra desain sampai pelaksanaan dengan meminimalisir kesalahan desain dan membuat ketepatan desain sejak awal sudah dapat dipertanggungjawabkan. Dalam perkembangan berikutnya ide seorang arsitek dapat dikembangkan langsung dalam teknologi komputer yang handal. Posisi seorang arsitek adalah sebagai pencetus ide dan komputer sebagai pengolah ide.

BAB III

PENDEKATAN TAPAK

III.1. Pendekatan Desain Tapak pada Program Arsitektur

(Widriyakara Setiadi)

Pada perancangan arsitektur, lokasi bangunan berupa lahan atau tapak bangunan haruslah sesuai dengan peruntukan bangunannya. Penentuan lokasi tapak harus melalui penentuan tapak yang akurat dan sesuai dengan fungsi bangunannya [4]. Untuk menentukan seleksi tapak, hal yang perlu dipertimbangkan adalah:

- Tujuan dari objek bangunan

Pada perancangan arsitektur harus lebih dahulu diketahui apa tujuan dari perancangan tersebut. Tapak sebagai wadah dari rancangan dan bangunan sebagai isinya harus membentuk sinergi, sehingga dihasilkan sebuah perencanaan yang optimal. Peruntukan lahan dan objek bangunan harus sesuai dengan peruntukan RTRW maupun RTRK yang sudah ditentukan oleh pemerintah baik yang ada di pusat maupun pemerintah daerah. Dengan demikian, keberlanjutan pembangunan pada sebuah tapak atau kawasan dapat ditata dan direncanakan secara berkesinambungan serta memiliki dimensi jangka panjang. Ada berbagai macam tujuan objek bangunan, ada yang ditujukan untuk fasilitas bangunan umum atau sosial (*public building*), bangunan personal (*privat building*), maupun bangunan khusus (*secret building*). Masing-masing objek bangunan harus sesuai dengan kriteria serta standar yang sudah ditentukan. Dengan demikian, seorang arsitek mampu mengolah, mengelola, dan mem-pola tapak sesuai dengan aktivitas-aktivitas yang ditampung di dalam tapak. Ada pun tujuan dari objek bangunan ini agar sesuai dengan persyaratan fungsi, topik, dan tema yang akan direncanakan serta memudahkan dalam memetakan zoning pada tapak.

- Persyaratan dari objek bangunan

Persyaratan teknis objek bangunan yang berkaitan dengan tapak antara lain: KDB (Koefisien Dasar Bangunan), KDH (Koefisien Daerah Hijau), KTB (Koefisien Tapak Basemen), GSB (Garis Sepadan Bangunan), GSS (Garis Sepadan Sungai), dan GSP (Garis Sepadan Pantai).

Persyaratan KDB dipakai untuk menentukan luas maksimum dasar bangunan yang diizinkan untuk dibangun pada suatu tapak. Peraturan ini ditentukan agar tapak masih memiliki daerah terbuka yang berfungsi sebagai resapan air, estetika lingkungan, keamanan dari bahaya kebakaran. KDB kawasan tapak yang berada di pinggiran kota berkisar antara 10-40 % dari luas tapak, sedangkan di pusat kota persentasenya bisa mencapai hingga 100 % bila dikaitkan dengan nilai ekonomis lahan. Ketentuan KDH ditetapkan oleh perundang-undangan dalam rangka mengendalikan kemajuan pembangunan yang semakin padat di kawasan wilayah perkotaan. Peraturan KDH berfungsi untuk menyisakan daerah hijau, sehingga kelestarian lingkungan dapat dijaga, daya dukung lingkungan dapat diseimbangkan, kelangsungan ekologi, khususnya persediaan air tanah dan temperatur udara di wilayah kota. Koefisien Tapak Basemen memiliki fungsi untuk menjaga kestabilan dan kelancaran aliran air, kepadatan permukaan tanah dari ketinggian muka air tanah, khususnya di kota-kota besar yang sudah banyak memiliki bangunan tinggi. Selain KTB ada aturan lain yang membatasi jarak dinding bangunan bagian terdepan terhadap jalan, dikenal dengan GSB. Sepadan bangunan berfungsi agar ada jarak pandang antara bangunan dengan jalan masih ideal. Begitu pula dengan masih terbukanya ruang untuk penghijauan dan jarak aman bangunan di dalam tapak. GSS ditetapkan oleh pemerintah dalam rangka menjaga daerah aliran sungai (DAS) sebagai area resapan air (*catchment area*), pencemaran lingkungan sungai, bahaya luapan air sungai, serta kelancaran air sungai ke muara. Jarak GSS dengan sungai minimum 1 x lebar sungai maksimum 50 meter dari bibir sungai. Apabila jarak GSS tidak memungkinkan dapat dibuat jalan inspeksi, sehingga jarak GSS yang berlaku menggunakan aturan GSB dari lebar jalan inspeksi tersebut. Selain ketentuan jarak sungai dengan tapak bangunan ada peraturan juga untuk garis sepadan pantai (GSP). Aturan GSP ini berfungsi untuk daerah atau kawasan yang berada di sepanjang tepi pantai. Wilayah sepanjang pantai adalah daerah umum yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, selain itu GSP berguna untuk menjaga tapak dari abrasi air laut.

- Luas spasial tapak dan objek bangunan
Luasan tapak dengan objek bangunan haruslah seimbang dan proporsional. Oleh karena itu, peraturan-peraturan yang dibuat oleh pemerintah dalam rangka menjaga keseimbangan antara luasan tapak dengan besaran objek bangunan. Kondisi dan situasi lingkungan sekitar

tapak adalah upaya untuk mendapatkan respon yang benar dan tepat terhadap lingkungan sekitar tapak.

Untuk mengetahui kesesuaian tapak terhadap lingkungan dan respon tapak terkait dengan kondisi lingkungannya, maka perlu dilakukan analisis pengukuran tapak dengan pendekatan [5]: alam mempunyai peran yang cukup besar dan menentukan dalam mendesain sebuah tapak bangunan. Menganalisa faktor-faktor situasi dan kondisi alam sangat bergantung di mana letak lokasi dari tapak tersebut. Faktor-faktor yang perlu dianalisis antara lain:

1. Analisis Tapak terhadap Kebisingan

Faktor kebisingan ini sangat bergantung pada jenis bangunan yang akan didesain. Bangunan-bangunan yang membutuhkan ketenangan tinggi pada umumnya menuntut tingkat kebisingan rendah mungkin. Sebaiknya sumber-sumber kebisingan tersebut teridentifikasi, dari mana saja asal sumber-sumber kebisingan tersebut. Dengan demikian, tingkat kebisingan dapat diantisipasi sesuai dengan kebutuhan bangunan menerima kebisingan. Tingkat kebisingan sebaiknya terukur, berbagai aplikasi sudah banyak dan bisa digunakan untuk menghitung asal sumber kebisingan maupun level kebisingan yang ditimbulkan. Apabila menggunakan cara manual bisa juga berdasarkan hasil asumsi atau perkiraan potensi-potensi sumber kebisingan yang dapat mengganggu keheningan bangunan. Dengan perhitungan-perhitungan tertentu akan semakin tahu tingkat desibelitasnya, sehingga akan semakin mudah dalam mencari solusi desainnya. Dengan demikian, site secara horizontal terbagi menjadi tiga bagian besar, yaitu: zoning yang mengalami kebisingan tinggi atau paling bising, zoning dengan kebisingan sedang, dan zoning dengan level kebisingan rendah (zona tenang). Zoning dengan kebisingan yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk aktivitas yang tidak terpengaruh dengan level kebisingan. Zoning dengan kebisingan sedang lebih cocok digunakan untuk aktivitas yang tidak memerlukan konsentrasi tinggi. Zoning dengan kebisingan rendah diperuntukkan untuk aktivitas yang membutuhkan konsentrasi tinggi atau area yang membutuhkan ketenangan, suasana relaks santai, istirahat, belajar mengajar, ibadah, konser musik, dan lain sebagainya.

Sedangkan, pembagian zoning secara vertikal akibat kebisingan dapat dibagi menjadi beberapa level. Zoning paling bawah yang masih terpengaruh oleh kebisingan di sekeliling tapak dapat dimanfaatkan untuk aktivitas publik. Semakin ke atas pengaruh kebisingan semakin menurun,

dengan demikian zoning yang terdampak kebisingan semakin rendah bahkan semakin tenang, sehingga zoning tersebut dapat digunakan untuk aktivitas-aktivitas yang membutuhkan privasi tinggi.

2. Analisis Tapak terhadap Angin

Indonesia dikenal dengan dua jenis musim, yaitu angin Muson Barat dan angin Muson Timur (gambar 8). Angin muson adalah angin yang berhembus secara periodik. Tiap-tiap periodik angin musiman ini selalu berganti arah dan polanya berlawanan setiap setengah tahunnya. Siklus angin muson ini banyak terjadi di sekitar Samudera Hindia dan Asia. Angin muson Barat terjadi pada bulan April sampai dengan bulan Oktober, sedangkan angin muson Timur terjadi mulai bulan Oktober sampai dengan bulan April. Perubahan iklim menyebabkan siklus angin tidak teratur lagi. Pada umumnya arah angin di Indonesia bertiup dari arah Tenggara menuju arah Barat Laut, begitu sebaliknya berganti setiap tahunnya. Pergerakan arah angin ini sangat dipengaruhi oleh musim kemarau dan musim penghujan.



Gambar 8. Angin Muson Barat Angin Muson Timur [6]

Selain itu, dikenal juga ada angin laut dan angin darat (gambar 9). Angin darat dan angin laut ini dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara malam dan siang hari. Angin laut pada umumnya berhembus pada pagi sampai dengan sore hari. Berbeda dengan angin darat yang umumnya terjadi pada malam hari. Perbedaan hembusan angin darat dengan angin laut lebih disebabkan oleh perbedaan suhu antara daratan dengan lautan pada malam dan pagi hari. Bangunan yang berada di sekitar tepi pantai perlu memperhatikan perubahan arah angin lokal tersebut. Oleh karena itu,

lokasi atau letak tapak yang berada di daerah sekitar pantai perlu menganalisa perubahan-perubahan iklim setempat. Begitu pula dengan resor-resor yang berada di atas laut, hempasan dan hembusan angin laut yang tanpa penghalang perlu mendapat perhatian khusus dalam membuat bukaan atau mengoptimalkan penghawaan alami.



Gambar 9. Angin Darat Angin Laut [7]

Letak lokasi sebuah tapak akan dipengaruhi oleh posisi lingkungan sekitarnya. Di pegunungan atau daerah dataran tinggi dikenal adanya angin lembah dan angin gunung (gambar 10). Angin yang berhembus dari arah gunung di sebut dengan angin gunung, begitu sebaliknya bila angin tersebut berhembus dari lembah akan disebut dengan angin lembah. Siklus angin lembah dan angin gunung ini mirip dengan siklus angin darat dan angin laut. Pada pagi hari sampai dengan sore hari bertiuplah angin lembah. Sebaliknya, angin gunung akan bertiup saat malam hari. Pergerakan angin lembah dan angin gunung ini sebagai akibat dari perbedaan temperatur pada puncak gunung dan suhu di lembah. Ada pula, angin lokal/regional yang sangat bergantung pada letak wilayah sebuah lokasi tapak. Angin darat, laut, gunung, dan lembah merupakan siklus angin lokal yang berhembus pada waktu dan di wilayah tertentu.



Gambar 10. Angin Gunung dan Angin Lembah [8]

Pada prinsip fisika dari pergerakan angin disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur, angin bertiup dari daerah maksimum ke daerah minimum. Arah angin seperti dapat diciptakan secara alamiah dengan membuat taman atau kolam buatan. Perlu juga diingat prinsip tentang ketinggian, semakin tinggi suatu bangunan, akan semakin besar pula menerima hampasan angin.

Pengaruh arah mata angin pada tapak akan mempengaruhi peletakan zoning pada tapak. Zoning yang orientasinya berhadapan atau searah dengan siklus arah mata angin, sebaiknya digunakan untuk zoning atau area yang membutuhkan pertukaran sirkulasi udara yang lancar dan terus menerus berhembus sepanjang waktu. Aktivitas-aktivitas yang mempunyai korelasi dengan kelembaban dan panas, sebaiknya dimasukkan dalam zoning yang searah dengan siklus mata anginnya. Dengan demikian, temperatur pada aktivitas zoning tersebut dapat diturunkan. Sebaliknya, aktivitas yang tidak terlalu membutuhkan hembusan angin secara langsung dapat ditempatkan pada zoning yang berlawanan dengan arah siklus mata anginnya.

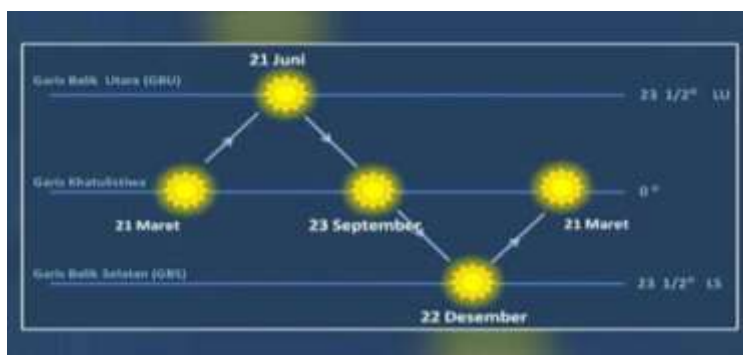
3. Analisis Tapak terhadap Matahari

Arah dan garis edar siklus matahari digunakan untuk mengetahui letak lokasi dan pengaruhnya terhadap objek bangunan. Siklus arah matahari seperti diketahui bersama selalu terbit dari Timur dan terbenam di Barat. Melimpahnya sinar matahari di Indonesia mempengaruhi pembagian zoning tapak dan bangunan yang ada di dalamnya, bahkan sampai dapat mempengaruhi pemilihan material bangunan yang digunakan.

Umumnya sinar matahari lebih banyak dimanfaatkan untuk kesehatan, antara lain: dapat membunuh kuman bibit penyakit atau pun jamur (fungi), memproduksi vitamin D yang gratis, murah meriah, dan melimpah. Sinar matahari pagi banyak mengandung sinar ultraviolet yang berdampak pada

kesehatan manusia. Sinar matahari di Indonesia tidak dapat digunakan sebagai sumber penerangan secara langsung, karena membawa serta panas yang dapat meningkatkan temperatur di dalam bangunan. Terang Langit adalah sumber penerangan alami di daerah tropis yang terbaik. Sinar matahari merupakan sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Penggunaan energi sinar matahari di Indonesia sebagai sumber energi belumlah maksimal, padahal sinar matahari termasuk dalam energi yang terus menerus ada serta berkelanjutan. Sinar matahari sore yang lebih sering dihindari, karena pemanasan sepanjang hari membuat suhu udara meningkat semakin panas/kering. Selain itu sinar matahari sore hari mengandung sinar inframerah yang sifatnya panas.

Siklus matahari membuat zoning pada tapak terbagi menjadi tiga bagian zoning, yaitu: zoning sebelah Timur yang terpapar sinar matahari pagi hari, zoning sisi Barat yang menghadap arah matahari sore, dan zoning yang berada di tengah-tengah antara kedua zoning sisi Timur dan zoning sebelah Barat. Zoning yang berada di tengah-tengah tapak lebih banyak mendapat panas sinar matahari pada siang hari. Masing-masing zoning mempunyai nilai plus minus nya terhadap durasi waktu, jumlah, serta intensitas sinar matahari pada tapak. Oleh karena itu, penempatan atau pengelompokan zoning sangat bergantung pada aktivitas yang ada pada tapak tersebut. Hal lain yang perlu dicermati dalam penempatan zoning terhadap arah matahari ini adalah pergeseran siklus matahari pada bulan-bulan tertentu yang bergeser ke arah Utara–Selatan. Pergerakan matahari terbit dari Timur tenggelam ke Barat lebih disebabkan karena bumi berotasi terhadap sumbunya selama 24 jam. Sedangkan gerak semu matahari dalam setahun lebih disebabkan karena bumi bergerak mengelilingi matahari. Seakan-akan matahari bergeser ke arah Utara dan Selatan, seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 11. Lintasan Matahari [9]

Pengaruh dari arah siklus matahari ini akan menentukan pembagian dan penempatan letak zoning pada tapak. Arah hadap site terhadap garis lintasan matahari menjadi acuan dalam menentukan zoning yang ada di tapak. Ada sisi zoning yang menerima panas matahari pagi hari ada pula sisi lain yang terpapar sinar matahari sore hari. Aktivitas yang membutuhkan panas sinar matahari pagi sebaiknya diposisikan pada zoning Timur yang langsung menerima panas matahari pada pagi hari. Sedangkan, aktivitas yang tidak terganggu oleh panas matahari sore boleh diletakkan pada zoning Barat yang berhadapan langsung dengan sinar matahari sore. Zoning di tengah-tengah dapat dimanfaatkan untuk kegiatan yang lebih stabil sepanjang waktu dari pagi hingga sore.

4. Analisis Tapak terhadap Kontur Lahan

Salah satu kelebihan tapak ada yang berkontur datar ada pula yang berkontur miring bahkan dengan kontur kemiringan yang ekstrim. Tapak berkontur ini lebih banyak dijumpai di daerah-daerah pegunungan atau di perbukitan, ada pula di beberapa daerah sekitar pantai yang memiliki kontur. Permainan kontur pada tapak menjadi sumber inspirasi ide dalam penempatan zoning dibandingkan tapak yang tidak memiliki kontur atau landai.

Pengaruh kontur pada tapak lebih pada penempatan zoning pada tapak. Potensi di sekeliling tapak yang berkontur mempunyai pengaruh terhadap peletakan zoning tapak. Aktivitas yang berkorelasi dengan sakralitas, monumentalitas, atau mempunyai hierarki tingkatan, maka zoning diletakkan pada kontur yang memiliki level tertinggi. Semakin tinggi letak posisi konturnya maka aktivitas di dalam zoning tersebut semakin privat atau sakral. Apabila aktivitas tersebut berhubungan dengan kesenangan dan membutuhkan pemandangan indah, eksotik, luas, dan lapang dapat meletakkan zoning-zoningnya pada kontur yang lebih tinggi, khususnya di daerah pegunungan. Kegiatan atau aktivitas istirahat, santai, rileks, bersama maupun personal dapat diletakkan pada zoning kontur rendah, misalnya: zoning dengan lokasi ada di daerah pantai. Aktivitas yang tidak memerlukan pemandangan ke luar dapat diletakkan pada zoning dengan kontur yang lebih rendah. Zoning antara kontur tinggi dan rendah dipakai untuk aktivitas yang tidak terlalu membutuhkan kontak dengan lingkungan luar.

5. Analisis Tapak terhadap Sistem Drainase

Drainase menjadi bagian penting di dalam sebuah tapak, karena drainase berkaitan dengan sistem kenyamanan dan keberlanjutan lingkungan yang ada di dalam tapak. Sistem drainase ini ada yang alami, ada yang buatan, dan drainase kota. Drainase alami dapat berupa selokan, kali, bahkan sebuah sungai. Sedangkan, drainase buatan lebih pada saluran sanitasi air yang didesain manusia. Drainase kota termasuk dalam sistem drainase yang digunakan untuk keseluruhan lingkungan, khususnya dalam menyalurkan air hujan. Drainase idealnya untuk limpahan air hujan bukan semata-mata untuk limbah buangan air kotor.

Zoning dalam tapak karena adanya sistem drainase akan membagi tapak dalam beberapa zona. Aktivitas-aktivitas yang berkaitan dengan kebersihan, kesehatan, limbah, dan lain sebagainya berada dalam atau sekitar zoning pelayanan (servis). Sedangkan zoning yang sifatnya untuk melayani aktivitas publik, penerimaan, keluar masuk, dan lain sebagainya berada jauh dari zoning servis.

6. Analisis Tapak terhadap Vegetasi

Pengertian vegetasi pada tapak ini adalah tanaman-tanaman yang memang sudah ada di dalam tapak sebelum bangunan itu ada, dan kriteria umur tanaman atau vegetasi tersebut lebih dari 50 tahun. Vegetasi yang berada dalam tapak bukan hanya dilihat dari sisi umurnya saja, tetapi juga dari kelangkaan tanaman/pohon tersebut. Vegetasi di dalam tapak mempunyai unsur dilematis, dapat sebagai potensi yang bisa dimanfaatkan dengan konsekuensi mengurangi volume ruang pada tapak. Poin penting dari vegetasi pada tapak ini adalah unsur konservasi (perlindungan), bagaimana poin penting tersebut menjadi bagian dari zoning bukan sebaliknya.

Pengaruh vegetasi pada tapak terhadap zoning akan membentuk pola-pola tertentu. Vegetasi yang berada di tengah-tengah tapak membuat zoning-zoning yang terbentuk akan mengelilingi atau memuari vegetasi tersebut. Posisi vegetasi berada di belakang atau di depan tapak akan membentuk urutan atau pengelompokan zoning. Semakin besar bentuk, jenis, serta volume luas kanopi tanaman akan berpengaruh pada jarak antar zoning dengan vegetasi.

Aktivitas-aktivitas yang membutuhkan kontak dengan lingkungan luar (*outdoor*), pemandangan yang bebas, udara yang segar, aktivitas komunal, dan lain sebagainya akan menempatkan zoning berada di sekitar area vegetasi tersebut. Sedangkan, aktivitas-aktivitas internal yang

mengarah ke dalam atau fokus pada interior, maka zoningnya akan berjarak dengan letak atau posisi dari vegetasi.

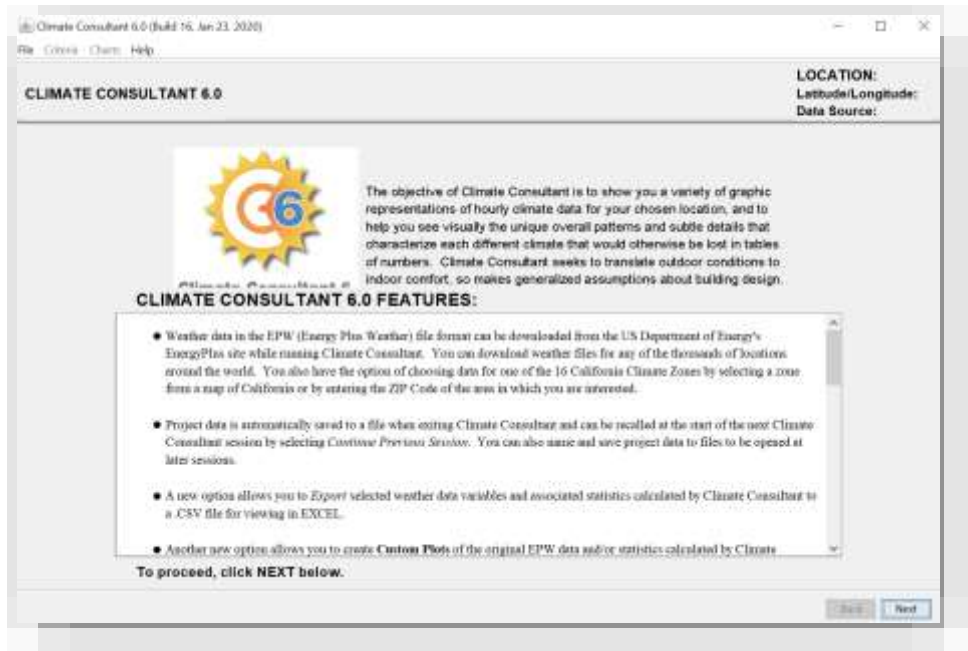
III.2. Analisis Iklim Menggunakan Software Climate Consultant

(Mufidah)

Dalam perancangan arsitektur, kondisi iklim setempat menjadi hal penting yang harus dipertimbangkan. Karena pada prinsipnya bangunan bertugas mengubah kondisi cuaca di luar bangunan yang kurang nyaman menjadi kondisi di dalam bangunan yang lebih nyaman [10][11]. Iklim di setiap tempat mempunyai kondisi yang berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh perbedaan posisinya di permukaan bumi. Contohnya perbedaan jarak suatu tempat dari khatulistiwa, perbedaan ketinggian dari atas permukaan laut dan perbandingan besaran daratan dan perairan [12]. Semakin jauh jarak suatu tempat dari khatulistiwa, menyebabkan penerimaan radiasi matahari akan berkurang, karena garis edar matahari berada pada $23,5^{\circ}$ LS - $23,5^{\circ}$ LU. Semakin tinggi suatu tempat dari permukaan air laut, maka suhu udara akan semakin rendah.

Perbedaan iklim yang berada di atas permukaan bumi berdasarkan lamanya mendapatkan radiasi matahari, dibedakan menjadi iklim tropis ($23,5^{\circ}$ LS- $23,5^{\circ}$ LU), iklim subtropis ($23,5^{\circ}$ - 40° LU dan LS), iklim sedang (40° - 60° LU dan LS), dan iklim dingin ($>60^{\circ}$ LU dan LS). Masing-masing wilayah iklim tersebut mempunyai karakter yang berbeda-beda, hal ini pula yang seharusnya membedakan bagaimana cara bangunan merespon iklim untuk mendapatkan kondisi nyaman.

Salah satu software yang dapat digunakan untuk menganalisa kondisi iklim di suatu tempat adalah "*climate consultant*" (Gambar 12). Software ini dapat diunduh secara gratis pada alamat <https://climate-consultant.informer.com/6.0/>. Adapun kemampuan dari software ini (gambar 10) adalah mampu merepresentasikan data iklim dari suatu lokasi dengan menggunakan grafik berdasarkan unsur iklim yang berbeda-beda, serta mampu menganalisa dan memberikan rekomendasi desain bangunan untuk mendapatkan kenyamanan.



Gambar 12. Tampilan Awal Software *Climate Consultant*

Cara kerja *climate consultant* dimulai dengan memasukkan data iklim sesuai dengan lokasi, dengan format EPW (*Energy Plus Weather*). Data iklim ini didapatkan secara *on-line* pada beberapa situs yang menyediakan data iklim di seluruh permukaan bumi yang mempunyai stasiun pengukuran meteorologi (gambar 13)

Beberapa web yang bisa dijadikan rujukan data iklim:

- 1) <https://climate-consultant.informer.com/6.0/>
- 2) <http://climate.onebuilding.org/>
- 3) https://www.meteoblue.com/en/weather/week/jakarta_indonesia_164_2911 (silahkan diubah kotanya sesuai kebutuhan)
- 4) <https://weatherspark.com/y/116847/Average-Weather-in-Jakarta-Indonesia-Year-Round>



Gambar 13. Tampilan *Climate Onebuilding*, untuk Mencari Data Iklim

Pada Software climate consultant ini, pilihan file data iklim dapat diambil dari banyak data yang lengkap seperti pada gambar berikut ini:

| Bn_Brazil_Traguara | | | |
|--------------------|------------------|------|-----------------|
| 1144 | CLM_ICL_Matarama | 1145 | CLM_ICL_Roraima |
| 1146 | CLM_ICL_Matarama | 1146 | CLM_ICL_Roraima |
| 1147 | CLM_ICL_Matarama | 1147 | CLM_ICL_Roraima |
| 1148 | CLM_ICL_Matarama | 1148 | CLM_ICL_Roraima |
| 1149 | CLM_ICL_Matarama | 1149 | CLM_ICL_Roraima |
| 1150 | CLM_ICL_Matarama | 1150 | CLM_ICL_Roraima |
| 1151 | CLM_ICL_Matarama | 1151 | CLM_ICL_Roraima |
| 1152 | CLM_ICL_Matarama | 1152 | CLM_ICL_Roraima |
| 1153 | CLM_ICL_Matarama | 1153 | CLM_ICL_Roraima |
| 1154 | CLM_ICL_Matarama | 1154 | CLM_ICL_Roraima |
| 1155 | CLM_ICL_Matarama | 1155 | CLM_ICL_Roraima |
| 1156 | CLM_ICL_Matarama | 1156 | CLM_ICL_Roraima |
| 1157 | CLM_ICL_Matarama | 1157 | CLM_ICL_Roraima |
| 1158 | CLM_ICL_Matarama | 1158 | CLM_ICL_Roraima |
| 1159 | CLM_ICL_Matarama | 1159 | CLM_ICL_Roraima |
| 1160 | CLM_ICL_Matarama | 1160 | CLM_ICL_Roraima |
| 1161 | CLM_ICL_Matarama | 1161 | CLM_ICL_Roraima |
| 1162 | CLM_ICL_Matarama | 1162 | CLM_ICL_Roraima |
| 1163 | CLM_ICL_Matarama | 1163 | CLM_ICL_Roraima |
| 1164 | CLM_ICL_Matarama | 1164 | CLM_ICL_Roraima |
| 1165 | CLM_ICL_Matarama | 1165 | CLM_ICL_Roraima |
| 1166 | CLM_ICL_Matarama | 1166 | CLM_ICL_Roraima |
| 1167 | CLM_ICL_Matarama | 1167 | CLM_ICL_Roraima |
| 1168 | CLM_ICL_Matarama | 1168 | CLM_ICL_Roraima |
| 1169 | CLM_ICL_Matarama | 1169 | CLM_ICL_Roraima |
| 1170 | CLM_ICL_Matarama | 1170 | CLM_ICL_Roraima |
| 1171 | CLM_ICL_Matarama | 1171 | CLM_ICL_Roraima |
| 1172 | CLM_ICL_Matarama | 1172 | CLM_ICL_Roraima |
| 1173 | CLM_ICL_Matarama | 1173 | CLM_ICL_Roraima |
| 1174 | CLM_ICL_Matarama | 1174 | CLM_ICL_Roraima |
| 1175 | CLM_ICL_Matarama | 1175 | CLM_ICL_Roraima |
| 1176 | CLM_ICL_Matarama | 1176 | CLM_ICL_Roraima |
| 1177 | CLM_ICL_Matarama | 1177 | CLM_ICL_Roraima |
| 1178 | CLM_ICL_Matarama | 1178 | CLM_ICL_Roraima |
| 1179 | CLM_ICL_Matarama | 1179 | CLM_ICL_Roraima |
| 1180 | CLM_ICL_Matarama | 1180 | CLM_ICL_Roraima |
| 1181 | CLM_ICL_Matarama | 1181 | CLM_ICL_Roraima |
| 1182 | CLM_ICL_Matarama | 1182 | CLM_ICL_Roraima |
| 1183 | CLM_ICL_Matarama | 1183 | CLM_ICL_Roraima |
| 1184 | CLM_ICL_Matarama | 1184 | CLM_ICL_Roraima |
| 1185 | CLM_ICL_Matarama | 1185 | CLM_ICL_Roraima |
| 1186 | CLM_ICL_Matarama | 1186 | CLM_ICL_Roraima |
| 1187 | CLM_ICL_Matarama | 1187 | CLM_ICL_Roraima |
| 1188 | CLM_ICL_Matarama | 1188 | CLM_ICL_Roraima |
| 1189 | CLM_ICL_Matarama | 1189 | CLM_ICL_Roraima |
| 1190 | CLM_ICL_Matarama | 1190 | CLM_ICL_Roraima |
| 1191 | CLM_ICL_Matarama | 1191 | CLM_ICL_Roraima |
| 1192 | CLM_ICL_Matarama | 1192 | CLM_ICL_Roraima |
| 1193 | CLM_ICL_Matarama | 1193 | CLM_ICL_Roraima |
| 1194 | CLM_ICL_Matarama | 1194 | CLM_ICL_Roraima |
| 1195 | CLM_ICL_Matarama | 1195 | CLM_ICL_Roraima |
| 1196 | CLM_ICL_Matarama | 1196 | CLM_ICL_Roraima |
| 1197 | CLM_ICL_Matarama | 1197 | CLM_ICL_Roraima |
| 1198 | CLM_ICL_Matarama | 1198 | CLM_ICL_Roraima |
| 1199 | CLM_ICL_Matarama | 1199 | CLM_ICL_Roraima |
| 1200 | CLM_ICL_Matarama | 1200 | CLM_ICL_Roraima |

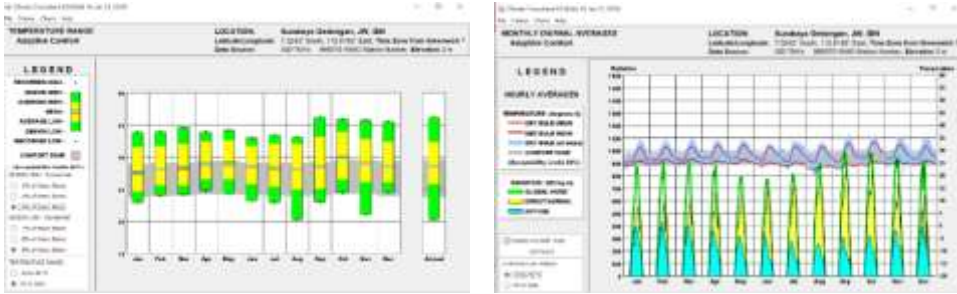
Gambar 14. Contoh Pilihan File Data Iklim dari *Climate Onebuilding*

Untuk mempelajari lebih detail kondisi iklim tersebut, setelah memasukkan file *epw* dan dimasukkan data bangunan, *software* ini juga dapat menunjukkan data-data iklim tersebut serta membuat analisis iklim dengan model grafik, sehingga lebih mudah dipelajari. Gambar 15 menunjukkan rangkuman data iklim dari stasiun pengukuran di Gedangan, Surabaya. Data tersebut merupakan data rata-rata setiap bulan, dari sekumpulan data yang didapatkan pada file *EPW*.

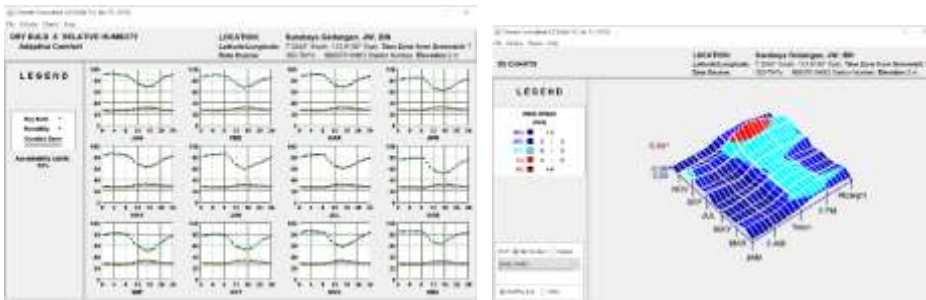
| WEATHER DATA SUMMARY | | LOCATION: Surabaya Gedangan, JW, IDN | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | | Latitude/Longitude: 7.3242° South, 112.8192° East, Time Zone from Greenwich 7 | | | | | | | | | | | | |
| | | Data Source: ISD-TM'x 569370 WMO Station Number, Elevation 2 m | | | | | | | | | | | | |
| MONTHLY MEANS | | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | |
| Global Horiz Radiation (Avg Hourly) | | 470 | 478 | 488 | 485 | 459 | 439 | 461 | 520 | 565 | 565 | 523 | 475 | Wh/sq.m |
| Direct Normal Radiation (Avg Hourly) | | 291 | 290 | 312 | 304 | 291 | 295 | 435 | 466 | 514 | 475 | 390 | 308 | Wh/sq.m |
| Diffuse Radiation (Avg Hourly) | | 243 | 250 | 241 | 212 | 186 | 171 | 159 | 162 | 171 | 194 | 218 | 238 | Wh/sq.m |
| Global Horiz Radiation (Max Hourly) | | 1033 | 1059 | 1098 | 999 | 952 | 873 | 907 | 998 | 1046 | 1063 | 1057 | 1001 | Wh/sq.m |
| Direct Normal Radiation (Max Hourly) | | 621 | 605 | 625 | 651 | 642 | 642 | 808 | 846 | 869 | 884 | 882 | 859 | Wh/sq.m |
| Diffuse Radiation (Max Hourly) | | 514 | 519 | 516 | 543 | 452 | 368 | 394 | 425 | 378 | 466 | 512 | 483 | Wh/sq.m |
| Global Horiz Radiation (Avg Daily Total) | | 5839 | 5855 | 5880 | 5743 | 5363 | 5091 | 5359 | 6121 | 6768 | 6878 | 6457 | 5901 | Wh/sq.m |
| Direct Normal Radiation (Avg Daily Total) | | 3902 | 3551 | 3763 | 4115 | 4594 | 4576 | 5068 | 5645 | 6152 | 5783 | 4818 | 3831 | Wh/sq.m |
| Diffuse Radiation (Avg Daily Total) | | 3310 | 3264 | 2908 | 2515 | 2169 | 1988 | 1898 | 1910 | 2055 | 2372 | 2700 | 2956 | Wh/sq.m |
| Global Horiz Illumination (Avg Hourly) | | 54114 | 55008 | 56363 | 56469 | 52440 | 51160 | 53928 | 61418 | 67053 | 66370 | 60916 | 54716 | lux |
| Direct Normal Illumination (Avg Hourly) | | 18032 | 18115 | 18962 | 21121 | 21756 | 22840 | 25341 | 28702 | 30355 | 28618 | 23604 | 18150 | lux |
| Dry Bulb Temperature (Avg Monthly) | | 27 | 28 | 28 | 28 | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 29 | 28 | 28 | degrees C |
| Dew Point Temperature (Avg Monthly) | | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 23 | 23 | 21 | 21 | 23 | 23 | 23 | degrees C |
| Relative Humidity (Avg Monthly) | | 82 | 80 | 81 | 79 | 79 | 74 | 73 | 67 | 68 | 68 | 74 | 76 | percent |
| Wind Direction (Monthly Mode) | | 270 | 270 | 270 | 180 | 100 | 90 | 100 | 110 | 140 | 110 | 90 | 30 | degrees |
| Wind Speed (Avg Monthly) | | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 1 | m/s |
| Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths) | | 28 | 28 | 29 | 29 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 | 28 | 28 | degrees C |

Gambar 15. Rangkuman Data Iklim

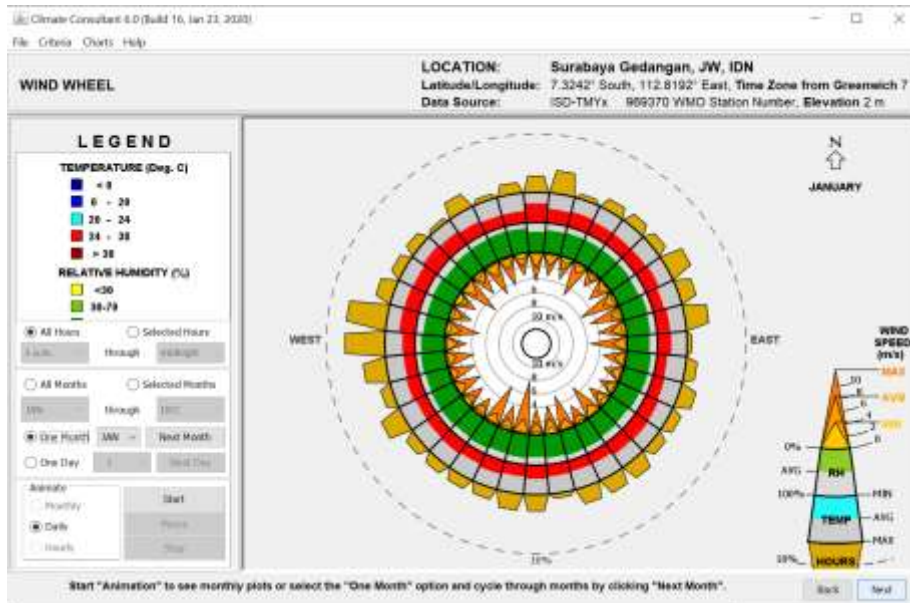
Dari masing-masing data iklim yang berada di kolom pertama (Gambar 15), dapat dianalisis secara parsial sesuai dengan unsur iklim yang akan dipelajari. Misalnya suhu udara, kelembapan, besar dan arah angin, dan lainnya. Pada bagian ini tampilan grafik lebih komunikatif serta dapat disusun waktu yang diinginkan (Gambar 16 – 18).



Gambar 16. Grafik Temperature Range dan Monthly Diurnal Averages

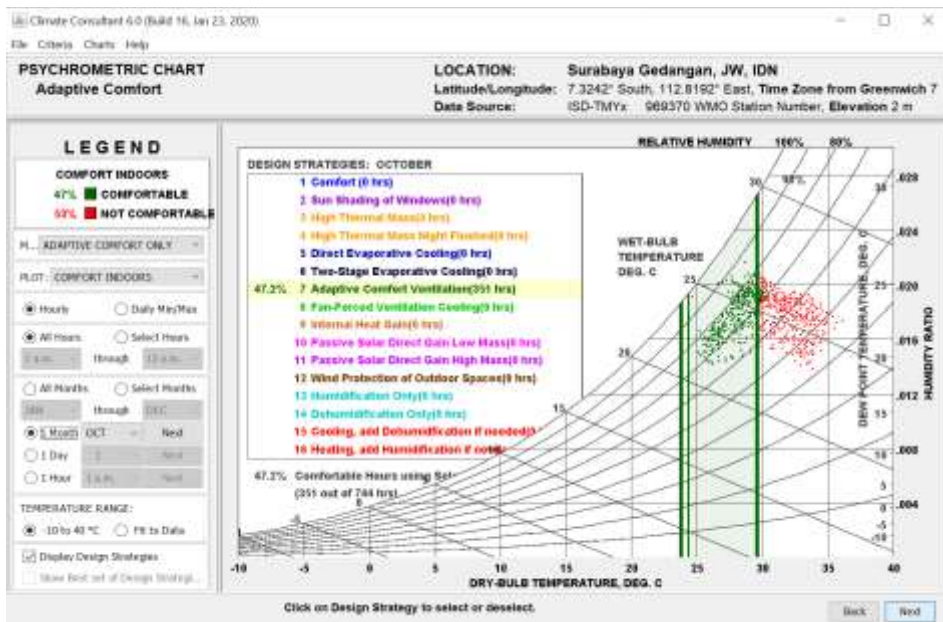


Gambar 17. Grafik Temperatur - Kelembapan dan Kecepatan Angin



Gambar 18. Grafik Lingkaran Kecepatan dan Arah Angin pada bulan Januari

Kemampuan *software* ini selain menganalisis data iklim, adalah menganalisa pengaruh iklim tersebut pada bangunan. Serta memberikan rekomendasi desain agar di dalam bangunan lebih nyaman. Tahapannya, setelah memasukkan data iklim, maka dipilih standar kenyamanan yang digunakan, adapun pilihannya adalah *California Energy Code Comfort Model, 2013 (default), ASHRAE Standar 55 and Current Handbook of Fundamentals Model, ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model up through 2005 dan Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard 55-2010*. Iklim dianalisis berdasarkan penetapan strategi pasif desain serta jenis bangunan dan selanjutnya ditunjukkan pada *Psychrometric Chart* (Gambar 19). Pada bagian legenda (sebelah kiri tampilan), dapat dipilih variabel apa saja yang ingin ditunjukkan pada grafik tersebut. Sebagai contoh gambar 19 merupakan kondisi di dalam bangunan, yang berada di Surabaya dengan koordinat dan data ketinggian sesuai dengan data iklim yang didapatkan pada file EPW. Grafik tersebut merupakan hasil dari analisis yang dilakukan *software* pada bulan Oktober, yang menunjukkan bahwa 47% berada pada kondisi nyaman, sedangkan 53% dalam kondisi tidak nyaman.

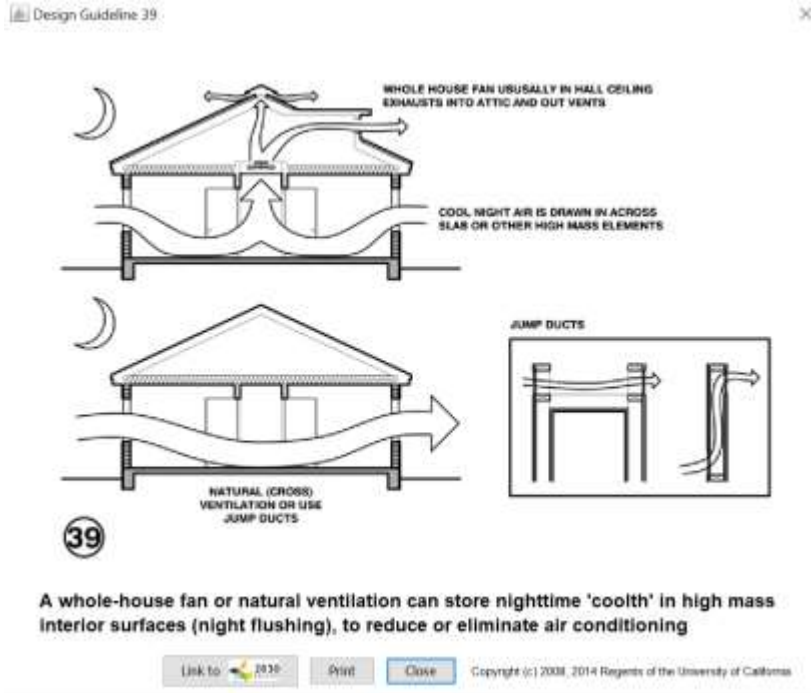


Gambar 19. Tampilan Psychrometric Chart dari software Climate Consultant

Selanjutnya *Climate consultant* akan memberikan beberapa alternatif panduan desain (Gambar 20), yang masing-masing alternatif tersebut ditunjukkan secara grafis (Gambar 21). Perancang bangunan dapat memilih alternatif desain yang paling sesuai untuk desain tersebut. Menariknya pada software ini juga dilengkapi ilustrasi rekomendasi desain tersebut.



Gambar 20. Tampilan Alternatif Panduan desain dari software *Climate Consultant*



Gambar 21. Ilustrasi Panduan desain nomor 39 dari *software Climate Consultant*

Demikianlah kemampuan dari *software climate consultant*, tentunya sangat dipengaruhi kesesuaian pengambilan data dari stasiun pengukuran BMGK.

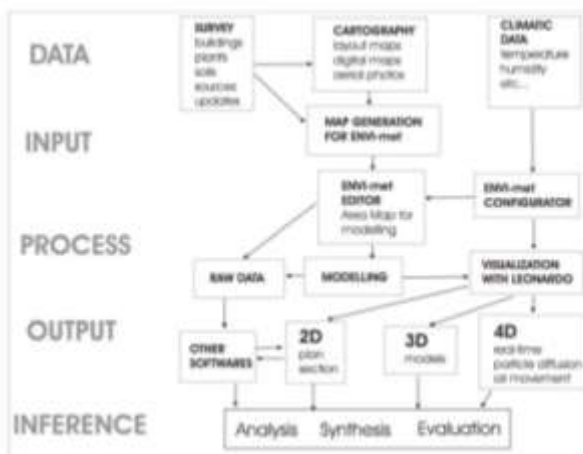
III.3. Perhitungan Iklim Mikro dengan ENVI-met

(L.M.F. Purwanto)

Dengan menggunakan *software ENVI-met*, saat ini dapat memudahkan perhitungan iklim mikro kota hingga meter persegi

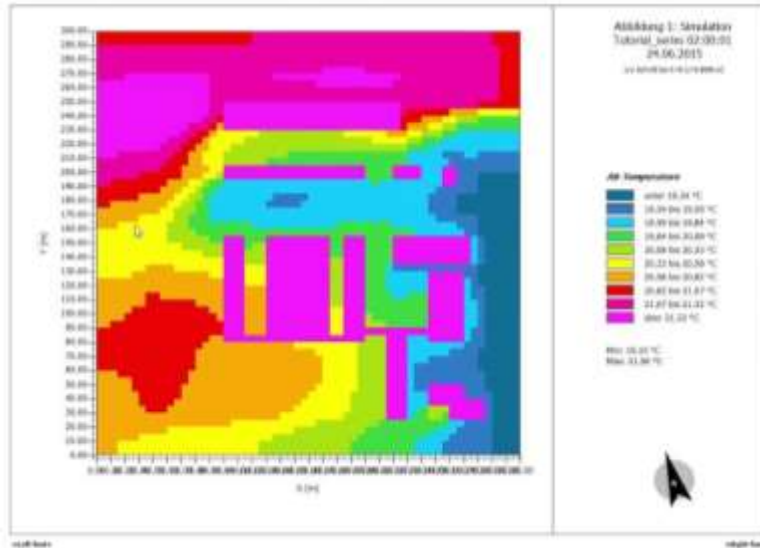
Software ENVI-met memungkinkan untuk menciptakan kondisi kehidupan yang berkelanjutan di lingkungan yang terus berubah. Dengan *Software* ini sangat dimungkinkan untuk menentukan jenis permukaan dan bahan bangunan, serta vegetasi di dinding dan atap, untuk menganalisis secara ilmiah dampak tindakan desain terhadap lingkungan setempat dan membantu mengurangi faktor-faktor seperti tekanan panas perkotaan. Keunggulan dari *software* ini adalah dapat digunakan di seluruh dunia untuk analisis lingkungan dan perencanaan kota, dari daerah tropis hingga kutub. *Software* ini dapat diunduh di <https://www.envi-met.com/>.

Pemodelan kualitas udara ENVI-met menggunakan pemodelan CFD, berbasis pada pendekatan numerik Finite Elemen Method dan aplikasi ini dirancang untuk memodelkan fenomena lingkungan dalam domain skala mikro eksterior. Pemodelan CFD ini mencakup tiga langkah utama dalam pengembangannya, yaitu: pra-pemrosesan, pemrosesan, dan pasca pemrosesan. Pra-pemrosesan sebagai input, berupa persiapan geometri, spesifikasi domain, inventarisasi emisi, sumber, meteorologi, dan pengaturan. Pemrosesan dilakukan dengan pengembangan perhitungan perangkat lunak. Dan pasca pengolahan berupa hasil analisis data dan pengelolaan untuk mendapatkan kesimpulan (lihat gambar 22). Perangkat lunak ini memiliki fitur yang sangat berguna yang disebut "Model rotation out of grid north", fitur ini memungkinkan pengguna untuk memperbaiki atau menyesuaikan utara jika ada orientasi yang berbeda pada gambar yang digunakan sebagai dasar pemodelan.



Gambar 22. Tahapan pemodelan ENVI-met

Dari hasil pengolah software ini didapat hasil pemetaan iklim dan temperatur suatu kawasan seperti pada gambar berikut:



Gambar 23. Hasil dari software ENVI-met

III.4. Pemetaan Wilayah dengan Geographic Information System (GIS)

(Donatus Ara Kian & Tri Susetyo Andadari)

Pemetaan wilayah menjadi isu penting bagi pembangunan perumahan dan permukiman agar arah pembangunan kota terdistribusi secara merata. Teknologi pemetaan membantu mengidentifikasi perkembangan permukiman pada suatu wilayah sehingga bisa diketahui tingkat kesesuaian peruntukan lahan terhadap RTDR daerah masing-masing.

Peta adalah representasi dari kondisi pada lapisan luar bumi atau keadaan nyata dari bagian-bagian diatas bumi yang diterjemahkan pada kertas atau media lainnya. Fungsi peta sangat beragam, diantaranya sebagai penunjuk posisi suatu lokasi pada lapisan paling luar dari bumi, sebagai petunjuk besaran luasan atas suatu gejala tertentu, pola dan sifat-sifat tertentu pada lapisan paling luar dari bumi, sebagai informasi kedudukan, arah dan jarak suatu lokasi pada lapisan paling luar dari bumi, sebagai petunjuk kondisi kontur suatu lokasi dan sebagai petunjuk morfologi atau gerak perubahan suatu aktivitas, bentukan dan ciri tertentu pada suatu lokasi.

Secara umum peta diklasifikasikan berdasarkan perbandingan skala, jenis peruntukannya dan bentuknya. Berdasarkan jenis peruntukannya, peta

dibagi dalam 2 jenis yaitu peta topografi dan peta tematik. Peta topografi berisi informasi lengkap terkait bentukan permukaan bumi, baik informasi dari unsur alami seperti posisi gunung, danau, rawa, sungai, laut dan informasi unsur-unsur non alami seperti jalan raya, perumahan, jalur kereta api, pelabuhan, bandara dan hasil kerja manusia lainnya.

Peta tematik berisi unsur-unsur baik alami maupun non alami berdasarkan tema tertentu, seperti peta jaringan listrik, peta jaringan irigasi, peta jaringan telekomunikasi, peta jalan, peta tata guna lahan dan lain sebagainya.

Secara tradisional, berdasarkan bentuknya, dikenal dua macam peta yaitu peta yang bentuk penyajian informasinya berupa gambar lengkungan organis dan peta yang bentuk penyajian informasinya berupa foto. Baik peta gambar lengkungan organis dan peta foto bisa didapatkan dari berbagai sumber empiris seperti hasil survey lapangan, hasil foto udara maupun hasil foto satelit.

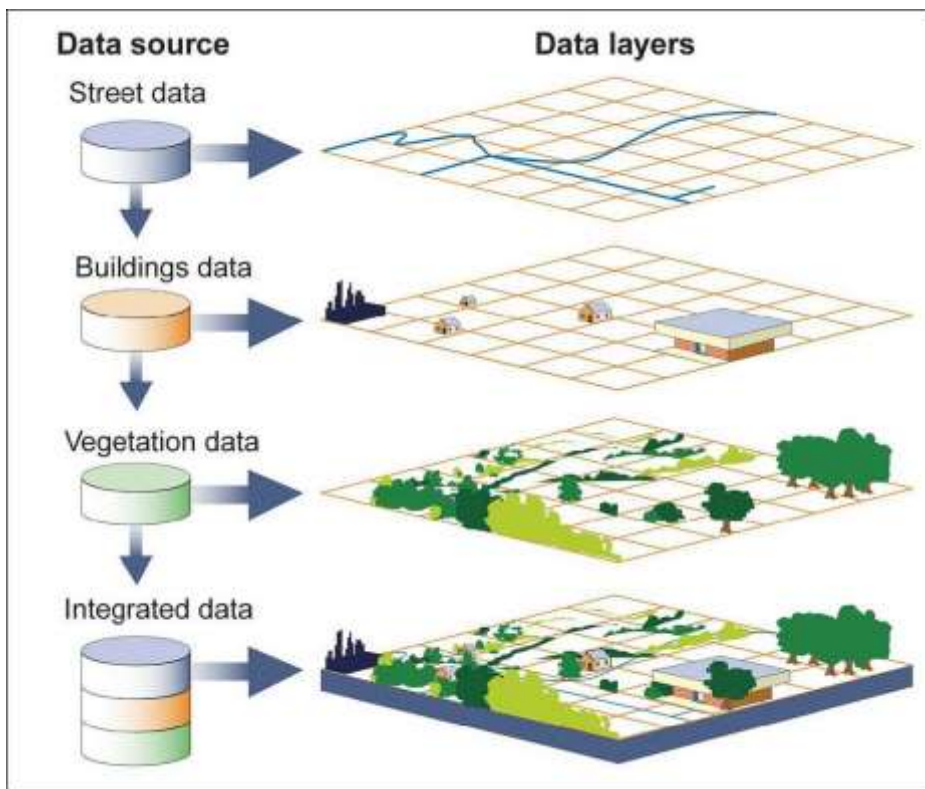
Berdasarkan skalanya, peta dibagi dalam 3 kelompok besar, yaitu peta skala besar dengan ukuran skala kurang dari atau sama dengan skala 1 : 10.000, peta skala sedang dengan ukuran skala antara 1 : 10.000 sampai dengan skala 1 : 100.000 dan peta skala kecil dengan ukuran skala kurang dari 1 : 100.000.

Dalam perkembangannya, pengolahan peta dapat dilakukan secara digital sehingga lebih fleksibel karena mampu memberikan informasi yang lebih lengkap dan beragam serta informasinya lebih mudah diakses oleh pihak yang membutuhkan. Pada umumnya informasi pada sistem pemetaan digital meliputi informasi geografis, informasi atribut dan informasi interface. Informasi geografis berupa informasi dari fitur-fitur geografis baik secara umum maupun secara khusus termasuk posisi dan bentuk. Informasi atribut berupa data-data tambahan yang bersifat non grafis dari masing-masing fitur. Dan Informasi interface berupa tampilan informasi masing-masing fitur pada layar monitor.

Output atau luaran dari peta digital bisa berupa gambar dalam format JPEG maupun sajian visual dalam bentuk 2 dimensi maupun 3 dimensi, lengkap dengan informasi terkait permukaan bumi, seperti letak fitur-fitur pada permukaan bumi, informasi sekunder dan hubungan masing-masing fitur dan informasi kapan fitur-fitur tersebut di input.

Untuk pengembangan pemetaan wilayah dan kota, terutama untuk pemetaan berbasis geographic information system (GIS). Pemetaan ini dapat dikembangkan untuk memberikan informasi terkait sebuah daerah dengan

memanfaatkan beberapa layer sebagai informasi bersejarah dalam beberapa dekade (gambar 20). Geographic information system (GIS) sendiri adalah sistem komputer untuk menangkap, menyimpan, memeriksa, dan menampilkan data yang terkait dengan posisi di permukaan bumi. GIS dapat menampilkan berbagai jenis data pada satu peta, seperti jalan, bangunan, dan vegetasi. Hal ini memungkinkan orang untuk lebih mudah melihat, menganalisis, dan memahami pola dan hubungan. GIS menyimpan informasi tentang dunia sebagai kumpulan lapisan tematik yang dapat dihubungkan bersama-sama oleh geografi. Konsep sederhana namun sangat kuat dan serbaguna ini telah terbukti sangat berharga untuk memecahkan banyak masalah dunia nyata dari pelacakan kendaraan pengiriman, untuk merekam detail aplikasi perencanaan, hingga pemodelan sirkulasi atmosfer global.[13]



Gambar 24. Komponen dalam GIS

Software opensource GIS dapat diunduh di:

- QGIS – Quantum GIS <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>
- gvSIG <http://www.gvsig.com/en/products/gvsig-desktop/downloads>
- Whitebox GAT <https://geosis.id/blog/download-whitebox-gat/>

- **SAGA GIS** <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>
- **GRASS GIS** <https://grass.osgeo.org/download/>
- **MapWindow** <https://www.mapwindow.org/#download>
- **ILWIS** <https://www.itc.nl/ilwis/download/ilwis33/>
- **GeoDa** <https://geodacenter.github.io/download.html>
- **Udig** <http://udig.refractor.net/download/>
- **Open Jump** <http://openjump.findmysoft.com/>
- **Diva GIS** <https://www.diva-gis.org/download>
- **Orbis GIS** <https://orbisgis.software.informer.com/3.0/>

QGIS merupakan software pemetaan yang bisa digunakan untuk membantu pekerjaan pemetaan secara digital dalam arsitektur, yang dapat diperoleh secara gratis namun sangat lengkap fiturnya. Tampilan muka QGIS dapat dilihat pada gambar berikut:

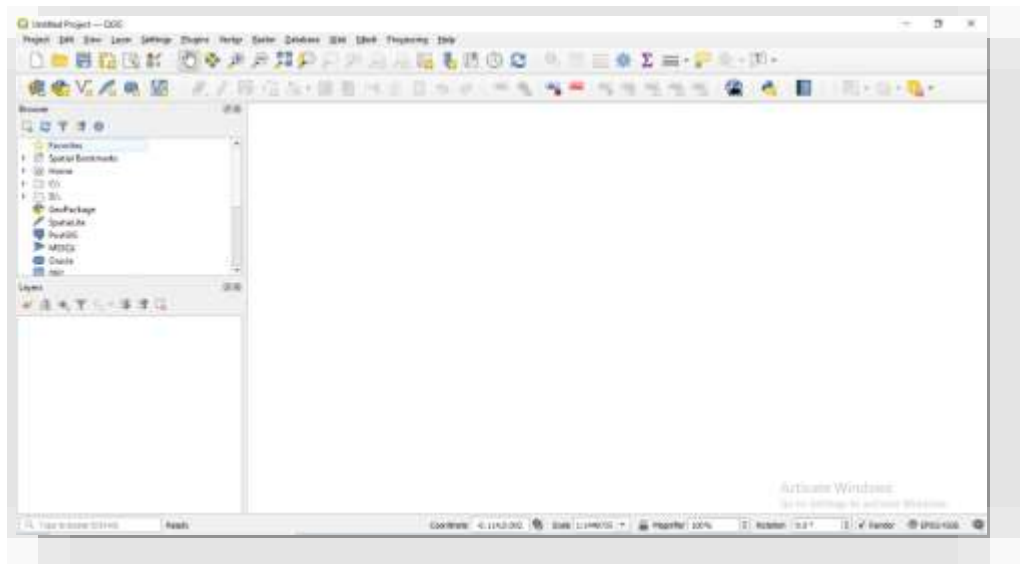


Gambar 25. Tampilan muka QGIS

Pada QGIS dapat dimanfaatkan untuk

1. menampilkan data vector dan raster dalam berbagai format dan proyeksi yang berbeda.
2. Aplikasi pemetaan dan pengolahan data spasial,
3. Dukungan membuat, merubah, dan export data spasial
4. Analisis data spasial
5. Publikasi peta melalui jaringan internet menggunakan Web Map Services,

Saat awal menggunakan QGIS akan tampil Interface awal Program QGIS seperti gambar berikut:



Gambar 26. Interface awal Program QGIS

Fitur yang ada pada software QGIS sangat lengkap, mulai dari fitur untuk sistem pengoperasian dasar, sistem pengoperasian lanjutan sampai sistem analisis pengoperasian. Sistem pengoperasian dasar pada software QGIS, meliputi kemampuan software untuk Pembuatan Peta dasar, Mengimpor file Spreadsheet atau CSV, Penataan Vektor Dasar, Menghitung Panjang Garis dan Statistik, Penataan dan Analisis Raster Dasar (QGIS3), Sistem pengoperasian dengan Data Medan, Data WMS dan Proyeksi, pengoperasian Georeferensi Topo Sheets dan Scanned Maps, Citra Udara berbasis Geo, sistem Digitalisasi Data Peta dan Pengunduh Data Open Street Map. Sistem pengoperasian lanjutan pada software QGIS meliputi operasi Penggabungan Tabel, operasi Gabungan Spasial, operasi Kueri Spasial, Pembuatan Peta Panas, Pembuatan animasi Data Deret Waktu, Pengambilan Sampel Data Raster menggunakan Titik atau Poligon, Interpolasi Data Titik, Menghitung Kepadatan Persimpangan Jalan dan lain-lain. Sistem analisis pengoperasian pada software QGIS meliputi Analisis Overlay Multi Kriteria, Analisis Visualisasi dan Perutean Jaringan Dasar, analisis Fasilitas Terdekat dengan Origin-Destination Matrix, Analisis Area Layanan menggunakan Open route service, analisis Hidrologi Untuk

perhitungan Curah Hujan Rata-Rata Areal, sistem operasi Skrip Python dan Pemetaan berbasis Web

Secara umum software QGIS sudah sangat lengkap dan membantu sekali pada proses pengoperasian pemetaan secara digital, hanya saja outputnya masih dalam bentuk 2 dimensional.

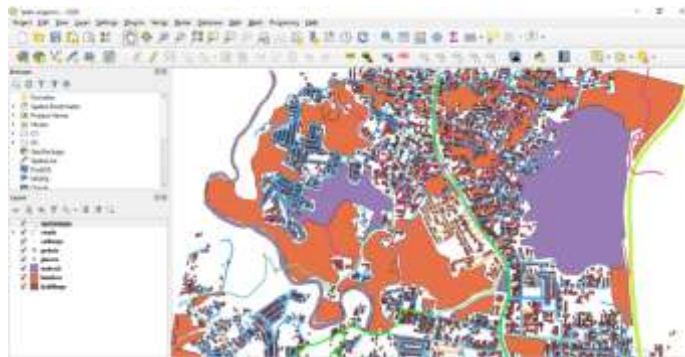
Terkait dengan arsitektur permukiman kota, penulis memberikan contoh pengaplikasian pemetaan urban sprawl dengan rumus standar menggunakan software QGIS seperti penjelasan berikut ini.

Analisis Variabel Kepadatan Penduduk

Digunakan untuk mengetahui tingkat banyaknya penduduk atau kepadatan penduduk pada suatu wilayah yang disajikan dalam bentuk pemetaan, dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan Penduduk} = \frac{\text{Jumlah Penduduk}}{\text{Luas Lahan Terbangun}}$$

Digital Mapping Output pada software QGIS adalah sebagai berikut:

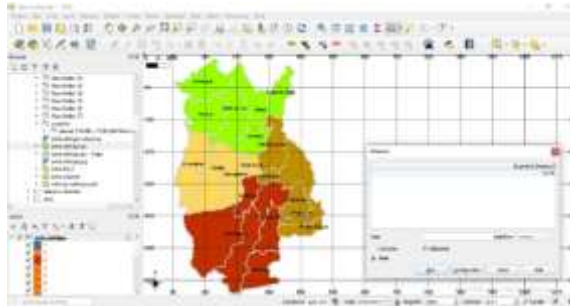


Gambar 27. Proses Digital Mapping Variabel Kepadatan Penduduk menggunakan software QGIS

Analisis Kepadatan Bangunan

digunakan untuk mengetahui tingkat banyaknya bangunan atau kepadatan bangunan pada suatu wilayah yang disajikan dalam bentuk pemetaan, dengan rumus sebagai berikut:

Digital Mapping Output pada software QGIS adalah sebagai berikut:

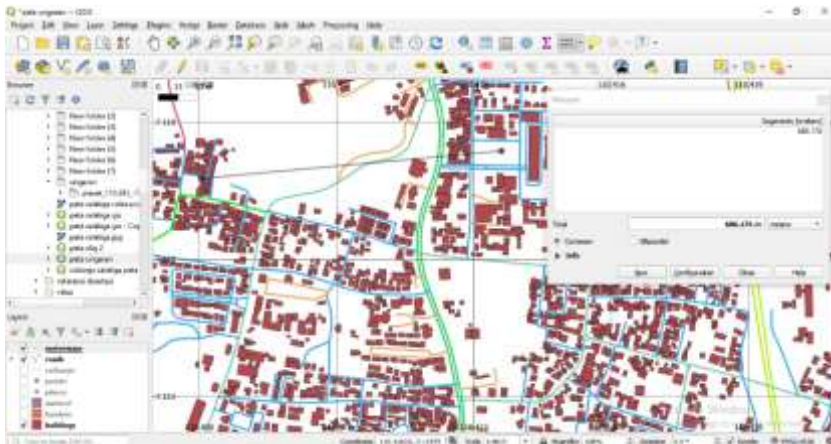


Gambar 28. Digital Mapping Output Kepadatan Bangunan pada software QGIS

Analisis Jarak Ke Pusat Kota

Digunakan untuk mengetahui jarak amatan ke pusat kota tertentu dengan menggunakan data penginderaan jarak jauh dan sistem informasi geografis pada software QGIS dan ditampilkan dalam bentuk pemetaan. Digital Mapping Output pada software QGIS adalah sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan Bangunan} = \frac{\text{Jumlah Unit Bangunan}}{\text{Luas Lahan Terbangun}}$$

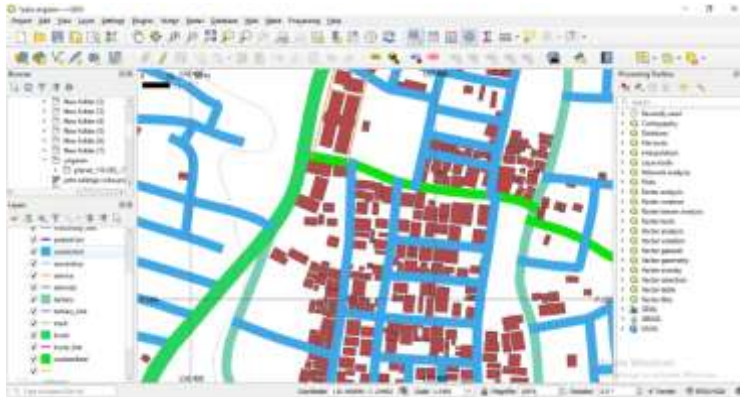


Gambar 29. Bentuk pemetaan Digital Mapping Output Jarak Ke Pusat Kota pada software QGIS

Analisis Pembangunan dalam Jangkauan Jaringan Jalan

Digunakan untuk menganalisis pertumbuhan pembangunan dalam jangkauan jaringan jalan utama menggunakan indeks jaringan jalan berupa buffer sebesar 100 meter dari kanan dan kiri jaringan jalan utama, yang disajikan dalam bentuk pemetaan. Rumus yang digunakan untuk index highway strip adalah sebagai berikut:

Digital Mapping Output pada software QGIS adalah sebagai berikut:

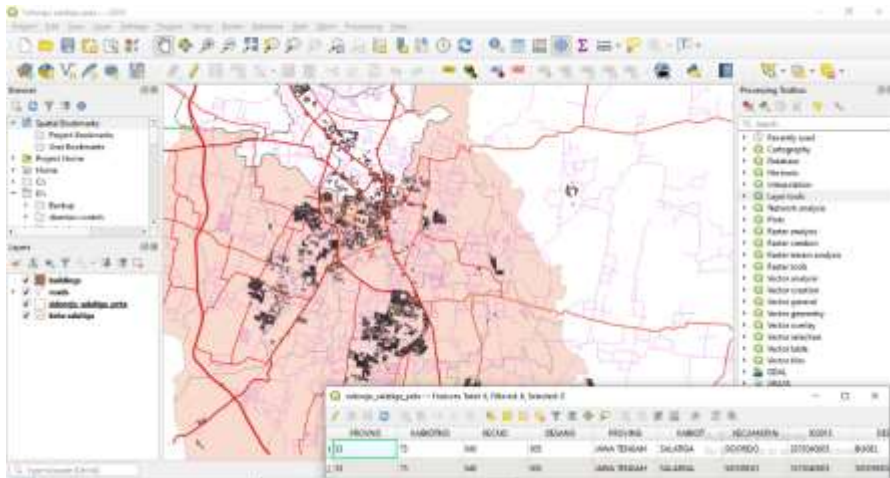


Gambar 30. Digital Mapping Output Pembangunan dalam Jangkauan Jaringan Jalan pada software QGIS

Analisis Pola Pembangunan Lompatan Katak

Digunakan untuk menghitung jarak dari pusat bangunan maupun permukiman baru sampai dengan pusat permukiman lama pada suatu wilayah yang disajikan dalam bentuk pemetaan dengan pendekatan sebagai berikut:

Digital Mapping Output pada software QGIS adalah sebagai berikut:

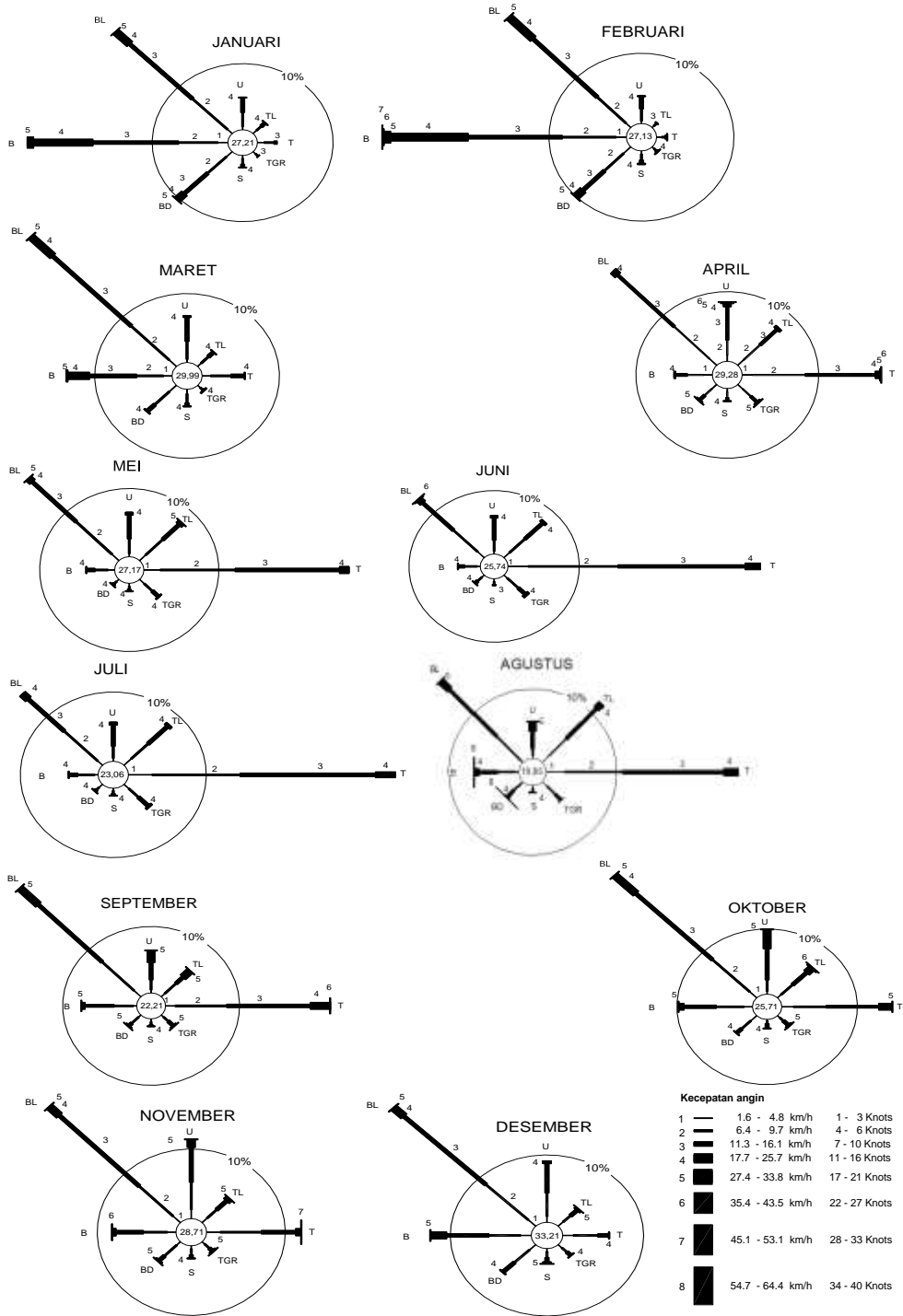


Gambar 31. Digital Mapping Output Pola Pembangunan Lompatan Katak

III.5. Analisis Angin dengan software WRPlot

(L.M.F. Purwanto)

Pemahaman analisis tapak terkait dengan angin, selalu memperhatikan klimatologi setempat dan angin lokal (angin darat, angin laut, angin lembah, angin gunung dsb yang sesuai karakter tapak setempat) [14]. Perhitungan Windrose dapat dilakukan secara manual, namun membutuhkan waktu yang lama dan rumit. Windrose untuk 10 tahun kota Semarang dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 32. Windrose 10 tahun di kota Semarang

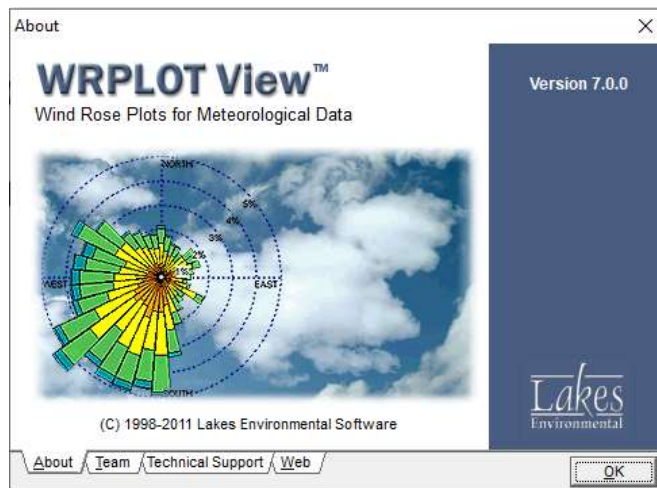
Memperhatikan arah dan kecepatan angin pada tapak saat ini dapat dengan mudah menggunakan software windrose. Banyak variasi software ini, antara lain, WRPlot, WindRose Pro dlsb yang memiliki kelebihan masing-masing. Input dari windrose ini dapat menggunakan sumber sebagai berikut:

- <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>
- <https://dataonline.bmkg.go.id/home>

untuk menggunakan software windrose dapat mengunduh di

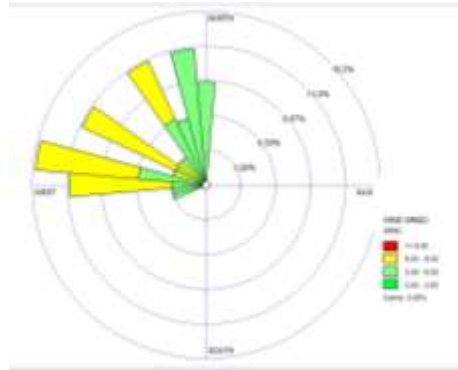
- <http://www.windrose.gr/index.php/download>
- <https://www.weblakes.com/software/freeware/wrplot-view/>
- <https://www.enviroware.com/portfolio/windrose-pro3/>

Salah satu software yang dapat diunduh dengan gratis adalah WRPLOT dan tampilan awalnya adalah seperti gambar berikut:



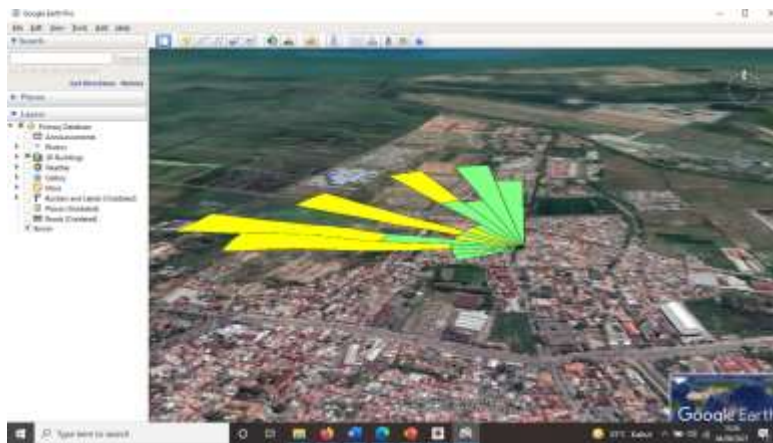
Gambar 33. Halaman muka WRPlot

Hasil akhir dari software WRPlot ini adalah windrose yang sesuai dengan lokasi yang kita input di awal operasi software ini. Selanjutnya windrose ini ditampilkan setiap bulannya sesuai dengan data tiap bulan yang diinputkan pada software ini. Hasil tampilan Windrose ini seperti pada gambar berikut:



Gambar 34. Windrose hasil simulasi dari software WRPlot

Dalam analisis tapak, hasil windrose tersebut dapat diaplikasikan secara langsung pada tapak dengan aplikasi Google Earth untuk mengetahui secara pasti orientasi dan pengaruh hembusan angin pada tapak yang direncanakan (lihat gambar 35).



Gambar 35. Windrose pada tapak.

Untuk tutorial penggunaan software WRPlot dapat dilihat pada <https://www.youtube.com/watch?v=vjiONNF3omo>

III.6. Analisis Matahari Pada Tapak

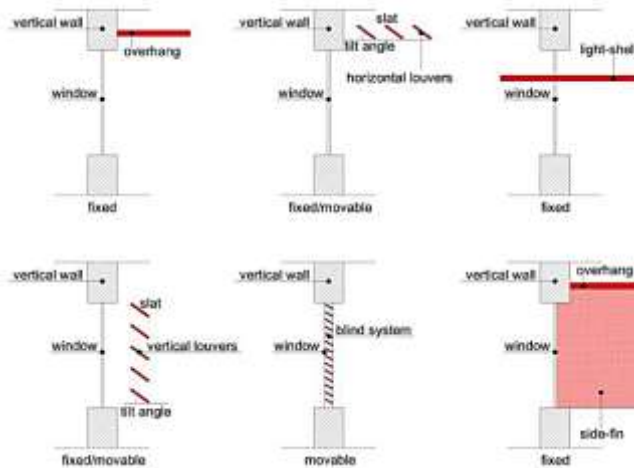
(Onie Dian Sanitha)

Sebagai salah satu elemen penting di dalam desain serta pemenuhan unsur kenyamanan, penataan pencahayaan perlu dilakukan dengan baik agar sebuah ruang mendapatkan pencahayaan yang cukup untuk menunjang aktivitas di dalamnya. Selain itu, penataan pencahayaan yang baik dan benar dapat membantu menghindari penggunaan energi listrik yang berlebihan. Salah satu tahapan awal dalam menata pencahayaan adalah dengan melakukan analisis sumber cahaya pada tapak yakni analisis matahari. Hal-hal mendasar yang perlu diperhatikan di dalam melakukan analisis matahari adalah kondisi topografi alam dan orientasi matahari terbit dan tenggelam [5]. Memperhatikan orientasi garis edar matahari dapat menjadi pertimbangan yang baik dalam memperoleh penerangan alami sehingga nantinya akan mempengaruhi orientasi arah hadap bangunan. Namun demikian perlu disadari bahwa sinar matahari juga dapat menjadi sebuah gangguan berupa panas dan silau yang dibawa masuk ke dalam tapak dan bangunan, untuk itu orientasi arah hadap dari bangunan perlu diperhatikan, sehingga pemanfaatan panas matahari maupun pengantisipasi pengaruh buruknya dapat dihindari.

Memahami karakter panas matahari terhadap arah hadap tapak dan bangunan dapat menjadi tahap awal dalam menganalisis. Matahari di sisi timur cukup baik untuk dimanfaatkan karena memiliki ragam manfaat bagi kesehatan. Saat pagi hari hingga pukul 10 pagi matahari berada pada sisi timur sehingga dapat dimanfaatkan sebagai arah hadap bangunan termasuk bagian bukaan supaya sinar matahari dapat masuk ke dalam bangunan [15]. Saat siang menjelang sore hari matahari berada pada sisi barat, pada posisi ini matahari mengeluarkan panas yang berdampak pada tingginya temperatur di dalam ruang, sehingga arah hadap dan bukaan pada bangunan cenderung menghindari arah barat.

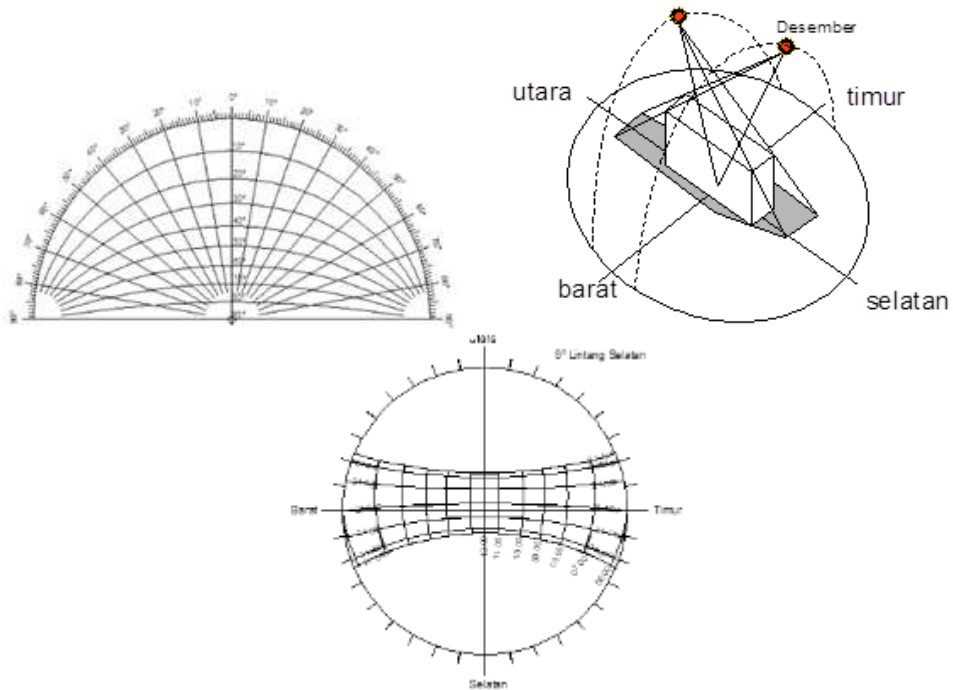
Pada kondisi yang tidak memungkinkan menghindari panas dan silau matahari maka dapat diatasi dengan memberikan penghalang berupa *sun shading* atau parapet. Selain mengurangi efek panas matahari. Dalam beberapa proyek pembangunan *sun shading* dapat dimanfaatkan sebagai penambah nilai estetis fasade bangunan melalui pengaturan bentuk bayangan yang dihasilkan dari pengaturan posisi dan bentuk *shading*. Secara khusus *sun shading* berfungsi mematahkan panas matahari, dengan demikian diharapkan panas matahari juga tidak masuk ke dalam bangunan. Peran *shading* saat ini sudah semakin berkembang sehingga baik bentuk

maupun materialnya semakin bervariasi dan berinovasi. Pada gambar 36, dengan pendekatan digital, *sun shading* dapat berinovasi menjadi lebih pintar dengan sistem kontrol adaptif dan hemat energy, misalnya seperti *Solar Shading System Device* [16].



Gambar 36. Model Shading [16]

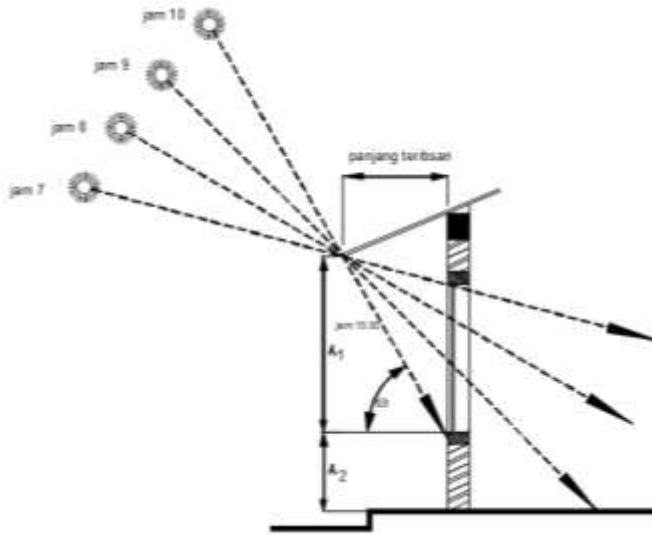
Diperlukan alat pengukur yang tepat dalam mengukur intensitas paparan sinar matahari berupa *Solar Chart* atau Diagram Matahari. Dengan menggunakan Diagram Matahari, kita dapat mengukur dan melihat posisi matahari, arah datang, periode sinaran dan pembayangan berdasarkan posisi dari garis lintang. *Solar Chart* memiliki beberapa komponen pembentuk seperti garis waktu yang meliputi tanggal dan jam, serta titik pengamat. Dengan menggunakan *Solar Chart* kita dapat melakukan konversi waktu yang bertujuan untuk menentukan waktu kerja dari matahari. Perhitungan ini melibatkan garis bujur, lintang dan informasi waktu dunia pada peta daerah yang tersedia. Selain itu dengan menggunakan *Solar Chart*, dapat ditentukan sudut altitude dan azimuth posisi matahari, sehingga menemukan ukuran yang ideal berupa lebar pematah matahari (*sun shading* maupun parapet) yang ideal, seperti tergambar pada gambar berikut:



Gambar 37. Solar Chart dan Lintasan Matahari di Daerah Khatulistiwa

Pada gambar 38, dengan mengetahui lebar pematah matahari (*sun shading* maupun parapet) maka dapat ditentukan sudut sebuah bayangan yang digunakan untuk:

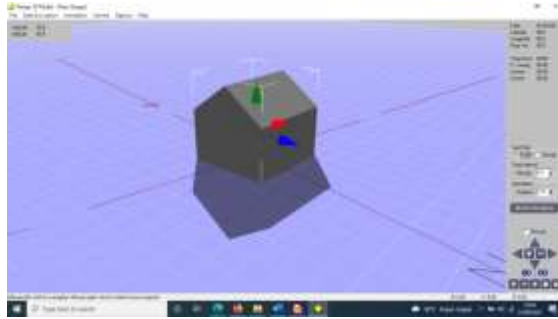
- ◆ Menentukan jarak antar massa bangunan sehingga tidak saling memberikan efek pembayangan yang tidak diperlukan
- ◆ Untuk perencanaan bangunan bertingkat banyak, dapat digunakan menentukan lebar jalan dan jarak bangunan, sehingga tidak tercipta lorong yang gelap akibat pembayangan.
- ◆ Menentukan panjang dari teritisan sebagai penghalang sinar matahari
- ◆ Orientasi fasad bangunan



Gambar 38. Penghalang sinar matahari dengan teritisan

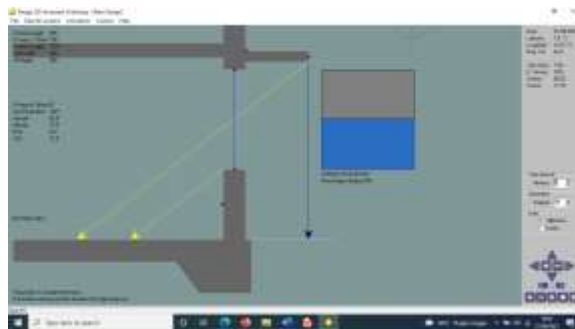
Selain menggunakan *Solar Chart* atau Diagram Matahari, saat ini proses analisis dapat memanfaatkan software pendukung untuk memudahkan proses analisis agar lebih akurat, cepat dan terukur. Berikut ini terdapat beberapa alternative software yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung proses analisis matahari pada tapak.

Ada beberapa software yang digunakan untuk analisis matahari, seperti Amethyst Shadow FX yaitu software yang digunakan untuk analisis matahari dan pembayangan. Arsitek dan Perancangan Perkotaan menggunakan software ini untuk membuat profil bayangan pada suatu objek melalui garis lintang dan bujur dengan data informasi waktu sepanjang tahun. Pada analisis tapak, software ini dapat digunakan untuk mengelola teritisan dan pembayangan. Software ini dapat dikaitkan dengan software AutoCAD dan Sketchup untuk pemodelan bangunan yang lebih variatif sesuai proyek yang dikerjakan. Pada bangunan yang digunakan sebagai model dapat ditempatkan pada lokasi geografis tertentu dan dapat juga ditentukan waktu untuk simulasi. Dengan demikian bentuk pembayangan dan masuknya sinar matahari dapat direncanakan dan dianalisis. Software Amethyst Shadow FX dapat diunduh di <http://www.shadowfx.com/download.htm> seperti gambar berikut:



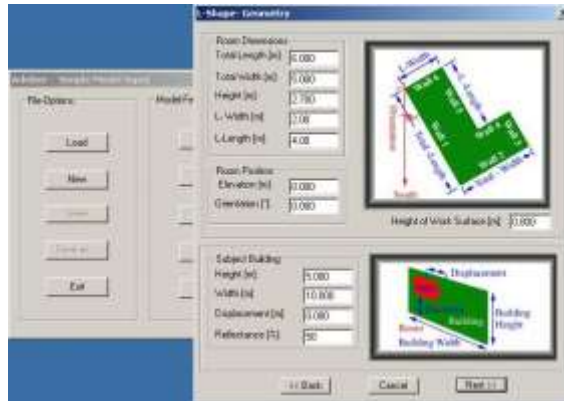
Gambar 39. Analisis pembayangan dengan software Amethyst ShadowFX

Desain pembukaan dinding dan respon terhadap matahari, dapat pula disimulasikan dengan software ini. Panjang teritisan, tinggi jendela dan tinggi posisi jendela dapat disimulasikan dengan software ini untuk mendapatkan lubang jendela yang efektif dan mampu menghalangi masuknya matahari ke dalam bangunan (lihat gambar 40) .



Gambar 40. Simulasi jendela dan teritisan.

Adeline3, merupakan alternatif software analisis pencahayaan alami dan buatan. Software ini dapat membentuk sistem program pencahayaan untuk bangunan sederhana dan kompleks lewat penentuan pembayangan dengan bentuk hasil akhir berupa gambar grafis. Sama halnya dengan Amethyst Shadow FX, Adeline 3 juga dapat terkoneksi dengan program software software AutoCAD. Beberapa bagian pendukung software seperti Superlite, Superlink, dan Radiance juga terintegrasi dengan Adeline3 untuk menghitung pencahayaan dan pengaturan pencahayaan alami dengan alat analisis energy lainnya dalam melakukan prediksi kinerja sebuah bangunan. Software ini merupakan shareware dan dapat di download secara gratis melalui website <http://www.lbl.gov/>. seperti pada gambar berikut:



Gambar 41. Software Adeline3

Software Sunshade dapat digunakan untuk menentukan sudut bayangan akibat penyinaran matahari yang dilengkapi dengan tahapan perhitungan, sehingga membantu bagi pemula untuk memahami proses perhitungan pembayangan, dapat menggunakan software yang cukup membantu ini. Software ini merupakan shareware dan dapat di download secara gratis di internet. <http://sourceforge.net/projects/sunshade/>. Software ini seperti pada gambar berikut:

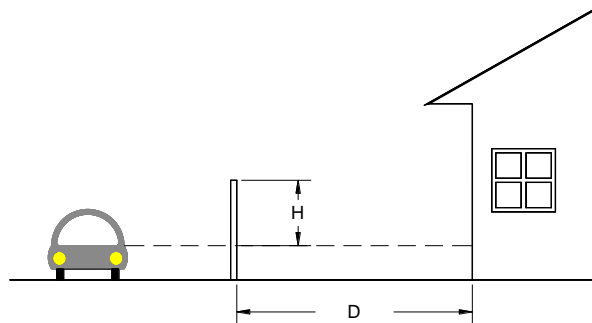


Gambar 42. Software Sunshade

III.7. Analisis kebisingan

(Yoseph Liem)

Pada sebuah tapak, kebisingan perlu untuk diperhitungkan agar tidak saling mengganggu. Kebisingan bisa dari dalam maupun dari luar tapak. Perhitungan untuk mengurangi kebisingan dapat diperhitungkan dengan rumus dan gambar sebagai berikut [18]:



Gambar 43. Perhitungan reduksi kebisingan

$$NR = 10 \cdot \log \frac{H^2}{D} + 10 \cdot \log F - 17$$

dimana:

NR : Noise Reduction karena adanya penghalang [dB]

H : Tinggi Barrier dikurangi tinggi sumber suara [m]

D : jarak [m]

F : frekuensi dari sumber suara [Hz]

Sedangkan untuk kebisingan dari sumber yang berbeda beda dan dihitung kebisingan kumulatifnya dengan pendekatan [18]:

$$L_{Total} = 10 \log \left(10^{\frac{L1}{10}} + 10^{\frac{L2}{10}} + 10^{\frac{L3}{10}} + dst \right) \text{ [dBA]}$$

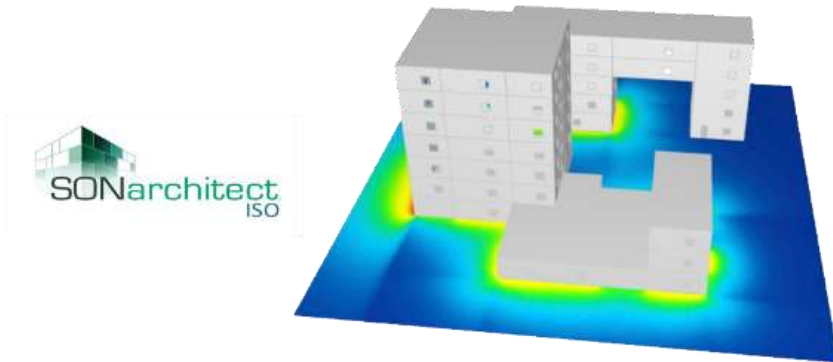
L = nilai kebisingan dari berbagai sumber [dBA]

Untuk software simulasi kebisingan dapat memanfaatkan SoundPLAN yang dapat diperoleh di <http://www.soundplan.co.za/downloads.html>

Software SONarchitect (Gambar 44) juga dapat digunakan untuk menghitung:

- Nilai insulasi suara di udara
- Tingkat kebisingan benturan

- Nilai insulasi suara pada fasade bangunan
- Tingkat emisi kebisingan dari enclosure bising
- Waktu dengung di ruangan



Gambar 44. Perhitungan dengan SONarchitect

PENDEKATAN KINERJA BANGUNAN

IV.1. Software Heat transfer

(Stephanus Evert Indrawan)

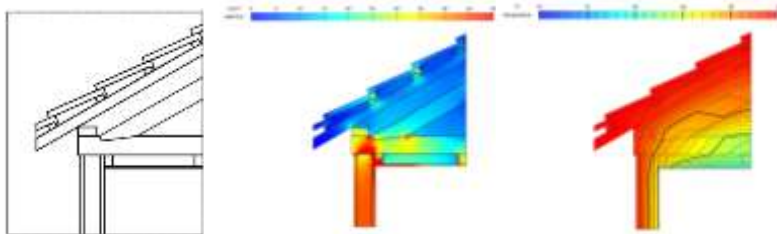
Dalam perhitungan transfer panas, hal yang paling mendasar adalah perhitungan Konduksi, Konveksi dan Radiasi [19]. Dari ketiga hal tersebut, maka terdapat berbagai komponen untuk memperhitungkan transfer panas, antara lain:

- Nilai hantaran jenis bahan k (*thermal conductivity*)
- Nilai tahanan jenis bahan r (*resistivity*)
- Hantaran bahan C (*conductance*)
- Hantaran bahan C (*conductance*)
- U_{value} (*Thermal Transmittance*)
- Jembatan Thermal (*Thermal Bridge*)
- Nilai Psi atau nilai ψ

Program simulasi komputer untuk perhitungan transfer panas pada dinding dan atap sangat banyak ditemukan, baik berbayar maupun tidak berbayar (*open source*). Beberapa software perhitungan transfer panas ini antara lain:

1. Therm yang dikembangkan oleh Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), <https://windows.lbl.gov/therm-8-window-8>
2. Psi-Therm, <https://www.psitherm.uk/>
3. WUFI-2D (*Wärme Und Feuchte Instationär*) dikembangkan oleh The Fraunhofer Institute for Building Physics, <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/>
4. HT-Flux dikembangkan oleh HTflux Engineering GmbH, <https://www.htflux.com/en/downloads/>
5. AnTherm <http://www.antherm.at/antherm/EN/Downloads.htm>
6. Physibel, <https://www.physibel.be/en/products>
7. Comsol, <https://www.comsol.com/heat-transfer-module>
8. Energy2D, <https://energy.concord.org/energy2d/download.html>
9. Ansys, <https://www.ansys.com/academic/students>
10. Heat2, <https://buildingphysics.com/heat2-3/>
11. QuickField, <https://quickfield.com/downloads.htm>
12. DÄMMWERK Bauphysik- und GEG-Software, dikembangkan oleh KERN Ingenieurkonzepte, <https://www.bauphysik-software.de/de-de/engl-trial-version/view/form.html>

Perhitungan dengan menggunakan software HT-Flux mudah dilakukan dengan mengimpor file dari AutoCAD dan dianalisis dengan cepat. Hasil dari Software ini dapat berupa laju temperatur pada konstruksi ataupun laju transfer panas. Hasil perhitungan digambarkan dengan gradasi warna yang menunjukkan sebaran panas dalam konstruksi bangunan (Gambar 44). Kebocoran panas pada sambungan konstruksi juga dapat digambarkan, sehingga dapat diusulkan perbaikan pada sambungan konstruksi, agar panas tidak masuk ke dalam bangunan.



Gambar 45. Perhitungan transfer panas dengan software HT-Flux

Untuk memahami penggunaan software HT-Flux dapat dilihat pada tutorial di <https://www.youtube.com/watch?v=eoGFLJxJLsY>

IV.2. Akustik

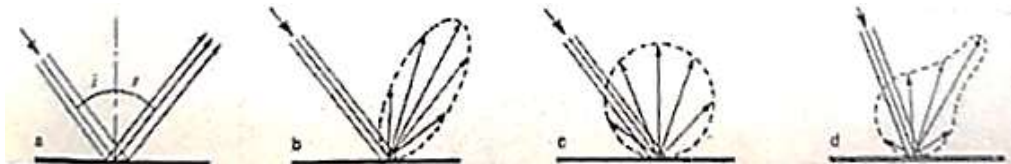
(Rizka Tri Arinta & Tri Susetyo Andadari)

Bunyi merupakan bentuk gelombang longitudinal hasil dari suatu getaran yang arah rambatnya melalui suatu media dan dapat merangsang indra pendengaran makhluk hidup dengan kecepatannya mencapai 344 meter/detik di udara, dan mencapai 1.410 meter/detik pada media air. Frekuensi bunyi yang mampu di dengar oleh telinga manusia normal berada pada range 20 Hz sampai dengan 20 KHz, frekuensi bunyi diatas 20 KHz disebut ultrasonik dan frekuensi bunyi dibawah 20 Hz disebut infrasonik. Satuan tingkat kekerasan suara adalah db (desibel) dengan alat ukurnya bernama sound level meter atau desibel meter, yang bentuknya bisa analog ataupun digital.

Karakteristik sumber bunyi (*noise source*) yang mengenai sebuah benda akan mengalami apa yang disebut sebagai akustik geometrik, yaitu pemantulan bunyi (*sound reflection*), penyerapan bunyi (*sound absorption*) dan penyebaran bunyi (*sound transmission*). Pemantulan bunyi (*sound*

reflection) merupakan proses terjadinya pemantulan suatu sumber bunyi yang mengenai suatu permukaan benda, berupa pola pantulan

- (a) *specular* (seperti kaca),
- (b) pola *spread* (menyebar),
- (c) pola *diffuse* (membraur) dan
- (d) pola *compound* (gabungan), seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 46. Pola Pantulan Sumber Bunyi [20]

Penyerapan bunyi (*sound absorption*) merupakan proses terjadinya penyerapan suatu sumber bunyi yang mengenai permukaan benda yang nilainya menjadi besar jika sumber bunyi mengenai suatu permukaan benda dengan tingkat kepejalatan atau kepadatan rendah atau berpori besar. Oleh karena itu pada ruang akustik pemilihan material yang digunakan menjadi hal yang penting untuk menunjang kinerja akustik ruang.

Penyebaran bunyi (*sound transmission*) merupakan proses terjadinya penerusan atau penembusan sumber bunyi yang mengenai permukaan benda menjauhi sumber suara. Nilai transmisi suatu sumber bunyi menjadi besar jika sumber bunyi mengenai suatu permukaan benda dengan tingkat kepejalatan atau kepadatan rendah atau pada permukaan benda yang berlubang, seperti kisi-kisi teralis, roster dan lain sebagainya.

Besar nilai sumber suara adalah sebanding dengan total dari refleksi, absorpsi dan transmisi suara:

$$\text{Jumlah suara datang} = \text{refleksi} + \text{absorpsi} + \text{transmisi} = 100\%$$

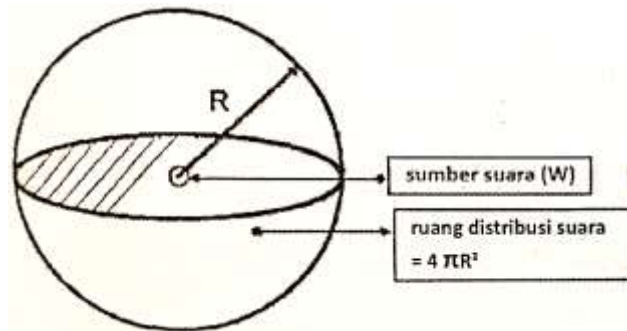
Terkait dengan ruangan, bagian interior ruang memegang peranan penting dan sangat berpengaruh bagi pengkondisian akustik sebuah ruang, terutama dari segi kelayakan dan kualitas akustiknya, dibandingkan pada bagian eksteriornya [20].

Adapun persyaratan akustik ruang ideal adalah sebagai berikut:

1. *Loudness* tercukupi

Loudness atau tingkat kekerasan suara dalam suatu ruang harus memenuhi atau mencukupi kenyamanan mendengar untuk semua *audience* sesuai dengan fungsinya.

Kekerasan suara pada ruangan terbuka atau ruangan besar akan semakin melemah dengan semakin jauhnya jarak dari sumber suara ke pendengarnya sesuai dengan rumusan *Inverse Square Law* di bawah ini



Gambar 47. Pola penyebaran sumber suara[20]

Kehilangan suara atau melemahnya suara terjadi karena:

- energi suara yang hilang pada saat terjadinya perambatan gelombang bunyi yang semakin jauh
- terjadinya penyerapan suara dari para audiens di dalam ruang termasuk benda-benda yang dikenakan
- penyerapan bunyi oleh keseluruhan isi ruangan, termasuk furnishing

Rumus intensitas suara adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{W}{4\pi R^2}$$

Dengan

I = Intensitas Suara (W/m²)

W= Energi yang dikeluarkan oleh sumber suara (watt)

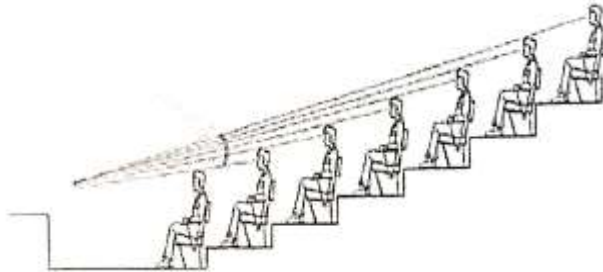
R = jarak penyebaran suara dari sumber suara (m)

π = Phi

Cara meminimalkan kehilangan energi suara:

- desain fisik ruangan dibuat terlindungi secara maximal baik pada elemen dinding, plafond maupun lantai.
- Membatasi kontak antara udara luar dengan udara dalam ruangan dengan cara meminimalisir bukaan pada pelengkap ruangan

- Manajemen desain terkait tata letak audiens terhadap sumber suara harus diperhitungkan dengan tepat terutama terkait dengan jarak dan kapasitas audiens
- Desain peletakan sumber suara harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak terhalang sampai kepada telinga audiens
- Pengaturan kemiringan bidang lantai dengan sudut-sudut tertentu dan posisi kedudukan audiens yang tidak lurus (zig-zag) agar sumber suara tidak terhalang mencapai telinga audience, tanpa mengurangi rasa aman dan nyaman bagi penggunanya, seperti gambar berikut.



Gambar 48. Kemiringan Bidang Lantai [20]

- Seluruh elemen interior harus mendukung sumber suara dengan pemberian permukaan material yang mampu memantulkan sumber suara atau penambahan reflektor. Kelayakan suatu reflektor suara ditentukan oleh beberapa hal yaitu:
 - Jenis dan bahan reflektor
 - Bentuk permukaan reflektor
 - Arah reflektor terhadap sumber suara
 - Sudut kemiringan reflektor
 - Posisi dan penempatan reflektor
 - Pola dan desain reflektor
 - Dimensi reflektor
2. Energi bunyi terdifusi secara merata

Seluruh energi bunyi harus mampu didistribusikan secara merata pada seluruh ruangan secara homogen, terutama pada ruang-ruang yang bersifat sebagai auditorium. Medan bunyi dikatakan homogen jika tingkat tekanan bunyi di setiap bagian ruang adalah sama besar dan bunyi dapat tersebar ke segala arah di dalam ruangan.

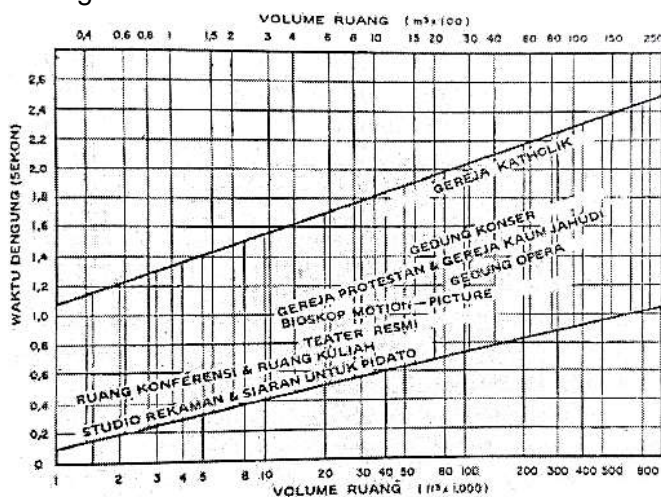
Cara agar difusi suara dapat optimal pada suatu ruangan adalah dengan mendesain dinding bagian atas dan plafon sebagai berikut:

- Pola desain permukaan interior ruang dibuat tidak beraturan dan dalam jumlah yang banyak

- Pola pemakaian bahan pada bagian permukaan menggunakan material yang bersifat menyerap bunyi dan memantulkan bunyi secara berselang-seling
- Penambahan lapisan akustik yang mampu menyerap suara yang berbeda-beda secara acak

3. *Reverberation time* harus sesuai dengan fungsi ruang

Reverberation time adalah batas waktu dengung yang diizinkan pada suatu ruangan (lihat gambar 49). Karakteristik dengung yang optimal harus disediakan dalam suatu ruangan sehingga mampu diterima oleh *audience* dan menunjang penampilan penyaji pada suatu ruang yang bersifat sebagai auditorium.



Gambar 49. Nilai Waktu Dengung [20]

Rumus waktu dengung adalah:

$$RT = \frac{0,16 V}{A + xV}$$

Dengan

RT = panjangnya waktu dengung (detik)

V = volume ruang (m³)

A = total luas/jumlah x koefisien absorpsi bagian dalam ruangan

xV = penyerapan suara oleh udara (untuk frekuensi > 1.000 HZ)

Nilai waktu dengung yang ideal untuk berbagai persyaran mendengar yang baik adalah seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 1: Nilai Waktu Dengung Ideal [20]

| Persyaratan Mendengar | Nilai Waktu Dengung Ideal (detik) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Optimum untuk fungsi pembicaraan | < 1,0 |
| Terlalu buruk untuk fungsi musik | |
| Baik untuk fungsi pembicaraan | 1,0 1,5 |
| Cukup untuk fungsi musik | |
| Cukup untuk fungsi pembicaraan | 1,5 2,0 |
| Baik untuk fungsi musik | |
| Buruk untuk fungsi pembicaraan | >2,0 |
| Baik untuk fungsi musik | |

4. Bebas dari cacat akustik

Cacat akustik merupakan kesalahan-kesalahan teknis yang mengakibatkan terciptanya gangguan akustik pada suatu ruangan.

Beberapa cacat akustik yang sering terjadi akibat kesalahan desain ruang adalah sebagai berikut:

- **Gema**
 Gema adalah bunyi yang dipantulkan secara berulang-ulang yang diakibatkan oleh perbedaan waktu yang terjadi diantara berkas bunyi berlangsung atau bunyi awal dengan berkas bunyi pantulan dalam sebuah ruangan. Gema terjadi karena adanya perbedaan durasi waktu antara suara langsung dengan suara pantul pada suatu ruangan.
- *Acoustical Shadow* (bayangan suara)
Acoustical shadow adalah gejala tidak tersampainya berkas bunyi kepada pendengar karena adanya penghalang pada suatu ruangan baik yang bersifat struktur maupun non struktur
- *Flutter echo* (gaung)
 Gaung terjadi karena adanya gema-gema kecil dengan level suara yang makin lama makin melemah yang timbul berturut-turut secara cepat dan diakibatkan oleh bentukan bidang-bidang pembatas ruang yang posisinya sejajar
- *Long delayed Reflection* (pantulan suara dengan waktu tunda yang alam)
Long delayed Reflection adalah cacat akustik yang hampir mirip dengan gema tetapi terjadi ketika penundaan waktu yang lebih lama

- *Hot Spot* (pemusatan bunyi)

Hotspot terjadi karena adanya pemantulan berkas suara pada bidang-bidang pelingkup ruang yang berbentuk cekungan ke arah dalam sehingga pemantulan memusat ke satu titik

- *Coupled Space* (Ruang gandeng)

Ruang tambahan pada suatu bangunan utama auditorium dapat menimbulkan panjang dengung yang berbeda sehingga dapat menimbulkan panjang waktu dengung yang tidak Selaras dan akan saling mengganggu antara bangunan utama dengan bangunan tambahan.

- Distorsi bunyi

Distorsi bunyi merupakan perubahan kualitas bunyi dari sumber bunyi asli karena adanya penyerapan bunyi pada frekuensi yang berbeda-beda yang terjadi secara tidak seimbang dalam suatu ruang.

- Kolorasi atau Resonansi Ruang

Kolorasi atau Resonansi Ruang terjadi jika bunyi tertentu dalam rentang frekuensi yang sempit memiliki kecenderungan berbunyi lebih keras dibanding frekuensi-frekuensi yang lain dan biasanya terjadi pada ruang-ruang kecil.

- *Whispering Gallery* (Serambi bisikan)

Cacat akustik serambi bisikan terjadi pada desain yang berbentuk melengkung ke dalam karena adanya perambatan berkas suara yang berfrekuensi lebih tinggi akan datang lebih belakangan dibandingkan dengan berkas suara yang berfrekuensi rendah yang akan dirambatkan oleh bagian ruang yang melengkung dengan cara pemantulan atau refleksi berulang. Pada ruangan yang berbentuk dome, cacat akustik ini disebut sebagai rotunda efek.

5. Bebas dari *unwanted sound*

Unwanted sound adalah kebisingan dan getaran-getaran yang berpotensi dapat mengganggu kenyamanan pendengaran dan pementasan. *Unwanted sound* ini harus dihindari atau meminimalisir demi kenyamanan akustik pendengar dan penyaji dapat terpenuhi.

Beberapa kategori bising adalah sebagai berikut:

- Bising internal

Bising internal adalah kebisingan yang berasal dari aktivitas internal manusia yang dilakukan dalam ruang atau bangunan, baik aktivitas individu seperti bersin, batuk dll maupun aktivitas bersama seperti bercakap-cakap.

- Bising eksternal
Bising eksternal adalah kebisingan yang berasal dari luar ruang atau bangunan yang mampu ditangkap di dalam ruangan.
- Bising akibat struktur (*structure borne noise*)
Bising akibat struktur terjadi karena adanya perambatan bising melalui unsur-unsur struktur dalam bangunan berupa getaran/vibrasi dari sumber bunyi
- Perambatan Bising (*Flanking Path dan Air bone Noise*)
Perambatan bising *flanking path* adalah perambatan bising yang terjadi melalui retakan, celah-celah sempit atau bukaan antar ruang. Sedangkan *air bone noise* merupakan perambatan bunyi bising yang terjadi melalui media udara.
- *White noise*
White noise merupakan bunyi bising yang energi suaranya seragam pada seluruh jangkauan frekuensi suara
- *Pink noise*
Pink noise merupakan bunyi bising yang tingkat kebisingannya semakin menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi suara pada energi suara yang konstan pada setiap oktaf
- *Brown noise*
Brown noise atau *red noise* merupakan suara bising yang diakibatkan oleh kebisingan yang bergerak secara acak atau random
- *Violet noise*
Violet noise atau *different white noise* merupakan kebisingan yang kerapatannya meningkat sebesar 6 DB per oktaf seiring dengan peningkatan frekuensinya.

Akustik dimengerti sebagai bunyi yang mampu didengar oleh telinga melalui gelombang, dalam arsitektur istilah ini dikenal sebagai sistem akustik yang memecahkan permasalahan akustik dalam ruang. Dalam proses perancangan ruang yang membutuhkan satu treatment akustik sebagai solusi dari permasalahan yang terjadi. Perilaku khusus terhadap ruang ini biasa ditentukan oleh frekuensi atau getaran gelombang bunyi dalam setiap detik dalam satuan Hertz (Hz). Seperti pada Ruang auditorium yang memiliki fungsi ganda, ruang ini membutuhkan frekuensi bunyi yang ideal mencapai 125 – 4000 Hz. Dengan demikian setiap ruang memiliki rentang frekuensi yang berbeda yang membuat treatment ini berbeda. Kebutuhan akustik

(Acoustic Treatment) pada setiap ruang juga melihat pada fungsi utamanya. Dari beberapa fungsi ruang yang membutuhkan perlakuan khusus dari sisi akustiknya diantaranya adalah:

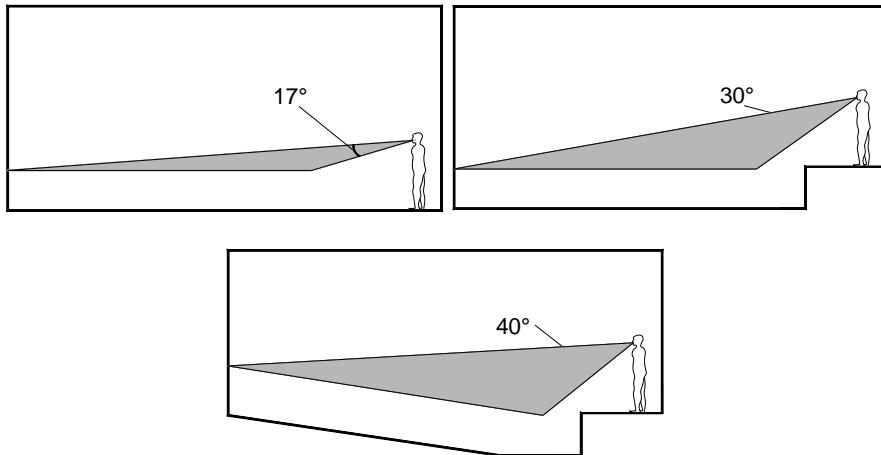
- 1) ruang yang digunakan untuk mendengarkan orang berbicara (seminar),
- 2) ruang yang digunakan untuk konser musik,
- 3) ruang yang digunakan untuk pertunjukan music dalam jumlah penampil maksimal hanya 4 orang,

Dalam perhitungan akustik di dalam ruang, kualitas akustik perlu memperhatikan untuk membuat pengguna ruang merasa nyaman dan mampu mendengarkan setiap suara dengan jelas. Untuk itu dibutuhkan satu perhitungan yang melihat pada bunyi dengung (*reverberation sound*), waktu dengung (*reverberation time*). Bunyi dengung dimengerti sebagai bunyi yang terpantul hingga mampu didengar melalui telinga, waktu sampai bunyi itu bisa terdengar pada telinga dimengerti sebagai waktu dengung dikurangi dengan 60 dB. Waktu dengung yang nyaman untuk ruang multifungsi baik untuk seminar (bicara) ataupun music membutuhkan 1,5 -2,5 detik. Jika waktu dengung lebih dari itu atau memiliki kecenderungan tinggi biasanya digunakan sebagai ruang musikal yang membuat suara dari alat musik ini terpantul dalam interval waktu yang lama, hal ini dipengaruhi oleh material permukaan pemantul bunyi yang kurang menyerap bunyi. Risikonya dengan waktu dengung yang tinggi membuat kejelasan bunyi menjadi pudar, apabila ruang ini digunakan untuk berbicara maka akan membuat artikulasi menjadi tidak terdengar jelas. dan apabila waktu dengung yang rendah artinya material permukaan pemantul bunyi menyerap dengan baik, sehingga mampu memperjelas suara artikulasi manusia saat berbicara, namun untuk bunyi yang keluar dari alat musik justru terkesan mati. Faktor yang mempengaruhi kualitas akustik di dalam bangunan adalah waktu dengung dan untuk menghitung koefisien absorpsi (α) digunakan tabel berikut ini:

Tabel 2: Koefisien absorpsi (α) bahan [17]

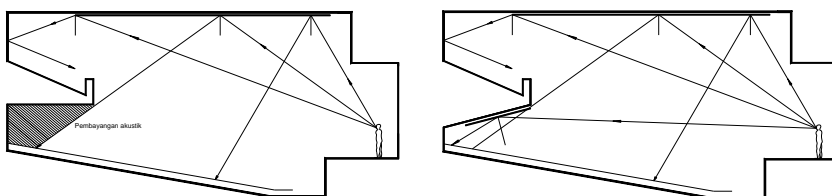
| NO | MATERIAL | KOEFSIENSI ABSORPSI DENGAN FREKWENSI | | | | | | |
|----|---|--------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
| 1 | Jendela terbuka | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Jendela tertutup | | 0.350 | 0.250 | 0.180 | 0.120 | 0.070 | 0.040 |
| 3 | Tembok tebal 2 batu tanpa cat | 0.021 | 0.024 | 0.025 | 0.032 | 0.042 | 0.049 | 0.070 |
| 4 | Tembok tebal 2 batu dicat | 0.011 | 0.012 | 0.013 | 0.017 | 0.020 | 0.023 | 0.025 |
| 5 | Bata telanjang, tidak dihaluskan, tidak dicat | | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.040 | 0.050 | 0.070 |
| 6 | Beton ringan berpori tebal 5 Cm | - | 0.150 | 0.210 | 0.430 | 0.370 | 0.390 | 0.510 |
| 7 | Plester kasar pada papan | 0.048 | 0.020 | 0.024 | 0.034 | 0.030 | 0.023 | 0.043 |
| 8 | Insulice 12 mm | - | 0.230 | 0.260 | 0.280 | 0.290 | 0.320 | - |
| 9 | Celotex 12 mm | - | 0.170 | 0.180 | 0.200 | 0.200 | 0.190 | 0.190 |
| 10 | Akustik - Celotex, ubin Tebal 32 mm | - | 0.220 | 0.320 | 0.840 | 0.800 | 0.870 | 0.870 |
| 11 | Akustik - Celotex, berat 5.5 kg/m ² dengan 47 lubang/dm ² pada belakangnya. | - | 0.130 | 0.280 | 0.250 | 0.230 | 0.230 | 0.230 |
| 12 | Akustik plaster | - | 0.070 | 0.170 | 0.500 | 0.600 | 0.680 | 0.660 |
| 13 | Akustik steel deck 150 mm ribs | - | 0.580 | 0.640 | 0.710 | 0.630 | 0.470 | 0.400 |
| 14 | Akustik space tile, 81 cm, per unit | - | 0.220 | 0.810 | 1.880 | 2.280 | 2.160 | 1.830 |
| 15 | Idem dengan lubang lubang di muka | - | 0.220 | 0.280 | 0.470 | 0.530 | 0.620 | 0.620 |
| 16 | Atanex tebal 13 mm pada kayu setebal 2.5 cm | 0.080 | 0.490 | 0.400 | 0.430 | 0.550 | 0.690 | 0.790 |
| 17 | Penutup lantai 1 cm pada beton | - | 0.090 | 0.080 | 0.210 | 0.260 | 0.270 | 0.370 |
| 18 | Penutup lantai 0.5 cm dengan vinyl pada beton | - | 0.110 | 0.140 | 0.370 | 0.430 | 0.270 | 0.250 |
| 19 | Dinding kayu tebal 2 Cm | 0.064 | 0.098 | 0.110 | 0.100 | 0.081 | 0.031 | 0.110 |
| 20 | Balok kayu tebal 1,9 cm | - | 0.050 | 0.030 | 0.060 | 0.090 | 0.100 | 0.220 |
| 21 | Publik, 2,2 orang / m ² | 0.350 | 0.730 | 0.880 | 0.970 | 0.970 | 1 | 1 |
| 22 | Ubin proslen 19 mm 4 kg/m ² dengan lapisan udara 25 mm | - | 0.280 | 0.640 | 0.660 | 0.790 | 0.880 | 0.840 |
| 23 | Dinding trasraam 40 mm, berat 2,4 Kg/m ² | - | 0.220 | 0.480 | 0.900 | 1 | 0.880 | 0.700 |
| 24 | Purisol 50 mm dengan lapisan udara 33 mm | - | 0.240 | 0.430 | 0.790 | 0.680 | 0.720 | - |
| 25 | Navitex tebal 12,5 mm dengan lapisan udara 25 mm | - | 0.110 | 0.500 | 0.500 | 0.580 | 0.660 | 0.600 |
| 26 | Idem ,tebal 31 mm | - | 0.380 | 0.620 | 0.700 | 0.760 | 0.680 | 0.540 |
| 27 | Hardboard berlubang bagian muka diisi dengan serat wool tebal 25 mm | - | 0.310 | 0.440 | 0.560 | 0.530 | 0.370 | 0.350 |
| 28 | Ubin Treparac 25 mm | - | 0.080 | 0.690 | 0.830 | 0.920 | 0.690 | 0.920 |
| 29 | Ubin Treparac 19 mm | - | 0.150 | 0.660 | 0.670 | 0.880 | 0.780 | 0.560 |
| 30 | Plesteran tebal 15 mm (lama) | - | - | - | 0.040 | 0.065 | 0.045 | - |
| 31 | Plesteran tebal 15 mm (Baru) | - | - | - | 0.210 | 0.185 | 0.120 | - |
| 32 | Plesteran Pyrock tebal 24 mm | - | - | 0.120 | 0.340 | 0.480 | 0.390 | - |
| 33 | Batu ACTATAC tebal 8 mm pada plafond tebal 15 mm | - | 0.140 | 0.190 | 0.340 | 0.500 | 0.540 | - |
| 34 | Batu ACTATAC tebal 15 mm dengan 60 mm lapisan udara | - | 0.260 | 0.300 | 0.440 | 0.650 | 0.840 | - |
| 35 | Udara per 100 m ³ , kelembaban relatif 50% | - | - | - | - | 0.300 | 0.900 | 2.400 |
| 36 | Penonton dalam tempat duduk empuk per luas lantai | - | 0.390 | 0.570 | 0.900 | 0.940 | 0.920 | 0.870 |
| 37 | Tempat duduk empuk kosong, per luas lantai | - | 0.190 | 0.370 | 0.560 | 0.670 | 0.610 | 0.590 |
| 38 | Bangku kayu kosong, per luas lantai | - | 0.370 | 0.440 | 0.670 | 0.700 | 0.800 | 0.720 |
| 39 | Pemusik dengan tempat duduk dan alat musik, per orang | - | 4.000 | 8.500 | 11.500 | 14.000 | 13.000 | 12.000 |
| 40 | Karpet | - | 0.020 | 0.060 | 0.140 | 0.370 | 0.600 | 0.650 |
| 41 | Balok Beton dicat | - | 0.360 | 0.440 | 0.310 | 0.290 | 0.390 | 0.250 |
| 42 | Balok Beton tidak dicat | - | 0.100 | 0.050 | 0.060 | 0.070 | 0.090 | 0.080 |
| 43 | Beton tanpa dicat | - | 0.010 | 0.010 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.030 |
| 44 | Lantai beton atau terasso | - | 0.010 | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |
| 45 | Lantai Linoeum, Karet, Vinyl, lantai gabus pada plat beton | - | 0.020 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.020 |
| 46 | Lantai kayu | - | 0.150 | 0.110 | 0.100 | 0.070 | 0.060 | 0.070 |
| 47 | Panggung kayu dengan rongga udara di bawahnya | - | 0.400 | 0.300 | 0.200 | 0.170 | 0.150 | 0.100 |
| 48 | Gelas Pelat padat | - | 0.180 | 0.060 | 0.040 | 0.030 | 0.020 | 0.020 |
| 49 | Tegel geocoustic 81 cm, per unit | - | 0.130 | 0.740 | 2.350 | 2.530 | 2.030 | 1.730 |
| 50 | Gypsumboard 13 mm pada tiang 50 x 100 mm | - | 0.290 | 0.100 | 0.050 | 0.040 | 0.070 | 0.090 |
| 51 | Plaster, gypsum, permukaan halus pada bata | - | 0.013 | 0.015 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 52 | Plaster, gypsum, permukaan halus pada balok beton | - | 0.120 | 0.090 | 0.070 | 0.050 | 0.050 | 0.040 |
| 53 | Plaster, gypsum, permukaan halus pada papan | - | 0.140 | 0.100 | 0.060 | 0.040 | 0.040 | 0.030 |
| 54 | Plaster, gypsum, permukaan halus pada papan di atas ruang udara atau tiang | - | 0.300 | 0.150 | 0.100 | 0.050 | 0.040 | 0.050 |
| 55 | Plywood 6 mm di atas 75 mm ruang udara dengan 25mm latar belakang fiberglass | - | 0.600 | 0.300 | 0.100 | 0.050 | 0.040 | 0.050 |
| 56 | Sound box unit di cat | - | 0.740 | 0.570 | 0.450 | 0.350 | 0.360 | 0.340 |
| 57 | Panil kayu 10-13 mm di atas ruang udara 50-100mm | - | 0.300 | 0.250 | 0.200 | 0.170 | 0.150 | 0.100 |
| 58 | kerkil tebal 10 cm | - | 0.250 | 0.600 | 0.650 | 0.700 | 0.750 | 0.800 |
| 59 | Rumput | - | 0.110 | 0.260 | 0.600 | 0.690 | 0.920 | 0.990 |
| 60 | Air di kolam | - | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.020 | 0.020 | 0.030 |
| 61 | Tanah | - | 0.150 | 0.250 | 0.400 | 0.550 | 0.600 | 0.600 |
| 62 | Pepohonan | - | 0.030 | 0.060 | 0.110 | 0.170 | 0.270 | 0.310 |
| 63 | Salju tebal 10 cm | - | 0.450 | 0.750 | 0.900 | 0.950 | 0.950 | 0.950 |

Dalam perencanaan akustik di dalam ruang, suara diperkuat dengan elemen-elemen arsitektur, yaitu, Lantai, Dinding dan Plafond. Suara akan menyebar dalam ruangan dan distribusi suara dapat berbeda-beda tergantung bentuk ruangnya. Pada sebuah gedung theatre, arah sebaran dan besar sudut sebaran suara dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 50. Sebaran suara dalam ruang [21]

Pembayangan akustik dapat pula terjadi di bawah balkon di dalam ruang theatre. Bayangan akustik ini mengakibatkan suara tidak dapat terdengar dengan jelas. Dengan memberi pemantul di bawah balkon dan membuat bidang miring di bagian bawah balkon, akan dapat menghilangkan terjadinya bayangan akustik Untuk itu perlu penyelesaian desain bagian bawah balkon agar tidak terjadi pembayangan akustik seperti gambar berikut ini:



Gambar 51. Pembayangan akustik di balkon.

Dalam desain bangunan, agar suara dapat didengar dengan baik, maka suara dapat diperkuat oleh alat elektronika. Komponen penguat suara adalah:

- Mikrofon
- Mixer

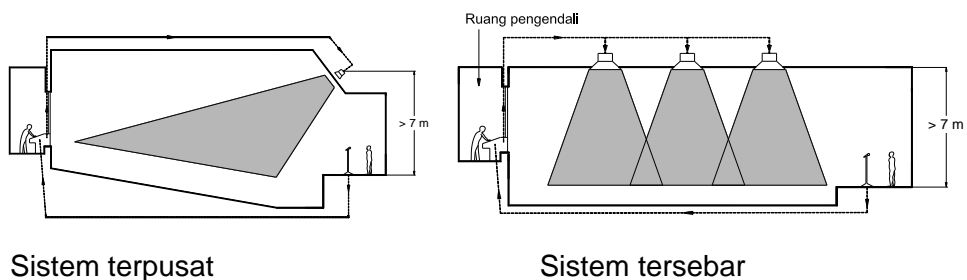
- Amplifier
- Loudspeaker

Mikrofon digunakan untuk mengubah gelombang suara menjadi gelombang listrik yang akan diperkuat oleh amplifier. Jenis-jenis warna suara, tinggi rendah frekuensi suara dipilih-pilah oleh Mixer dan didistribusikan ke masing-masing jenis loudspeaker. Untuk frekuensi tinggi (treble) ada jenis speaker yang disebut Tweeter. Untuk frekuensi tengah (medium) disebut Midrange dan untuk frekuensi rendah (bass) disebut Woofer atau Subwoofer.

Jenis dari Amplifier ini sendiri ada tiga macam, yaitu:

- Mono (tunggal)
- Stereo (ganda, suara kiri dan kanan berbeda)
- Surround (efek suara dibuat mengelilingi ruangan), dengan memasang 1 speaker buah tengah (center), satu buah speaker Subwoofer, satu pasang speaker di depan (front) dan satu pasang speaker di belakang (rear) dan biasanya lebih kecil dari speaker front.

Untuk Jenis Surround banyak digunakan di dalam gedung bioskop atau home theatre. Penataan speaker dalam ruangan menentukan kualitas akustik dan harus diperhitungkan dengan baik. Perhitungan tersebut antara lain dengan beberapa pendekatan (lihat gambar 52) [21]:



Gambar 52. Peletakan speaker dalam bangunan

Untuk menghitung jarak loudspeaker ke pendengar dengan standar waktu dengung < 2 detik digunakan rumus sebagai berikut

$$j = 0,18 \times \left(\frac{D \times v}{RT} \right)^{0,5}, \text{ dimana}$$

- j = jarak maksimum loudspeaker ke pendengar [m]
- D = diambil nilai sekitar 2 – 15, semakin besar berarti semakin mendekati fokus dan semakin terarah [-]
- v = volume ruangan [m³]
- RT = waktu dengung [s]

Jarak antar loudspeaker dihitung dengan rumus:

$$d = 1,4(h - p), \text{ dimana}$$

- d = jarak antar loudspeaker [m]
- h = jarak antara langit-langit dengan lantai [m]
- p = tinggi telinga manusia, jika duduk diambil nilai 1,2 dan jika berdiri diambil nilai 1,7

Menentukan ketinggian plafond untuk sebuah ruangan yang menggunakan penguat suara elektronik adalah sebagai berikut:

$$h = 6,1 \times RT, \text{ dimana:}$$

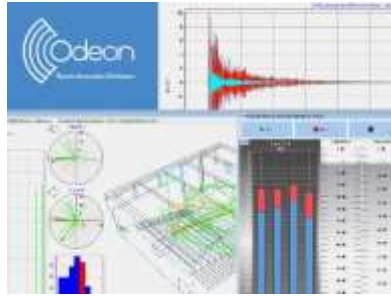
- h = jarak antara langit-langit dengan lantai [m]
- RT = waktu dengung [s]

Jika sebuah gedung menggunakan loudspeaker sebagai bunyi latar belakang, maka perlu diperhitungkan dengan pendekatan:

$$d = 1,4(2H + h - p)$$

- d = jarak antar loudspeaker [m]
- H = ketinggian rongga plafond [m]
- h = jarak antara langit-langit dengan lantai [m]
- p = tinggi telinga manusia, jika duduk diambil nilai 1,2 dan jika berdiri diambil nilai 1,7

dari pendekatan perhitungan akustik yang tidak sederhana itu, saat ini dapat dibantu dengan software akustik, seperti Odeon yang dapat diunduh di <https://odeon.dk/downloads/>



Gambar 53. Software Odeon

Software odeon dapat digunakan untuk mengukur waktu dengung dalam satu ruangan, dapat juga digunakan untuk mengukur tingkat tekanan yang dihasilkan oleh bunyi sehingga Analisa area kebisingan dapat divisualisasikan dengan jelas.

Untuk menghitung perletakan speaker di dalam ruangan dapat disimulasikan dengan menggunakan software <https://focus.afmg.eu/index.php/fc-downloads-en.html>



Gambar 54. Software Ease

Penggunaan software Ease (Gambar 50) ini biasa dilakukan untuk proses simulasi prediksi akurat akustik dunia nyata secara grafis. Model EASE adalah cara ideal untuk mengeksplorasi dan mengevaluasi dengan menggunakan model 3D yang dapat membantu menghilangkan kesalahan yang mahal dan mengurangi waktu pemasangan dalam menentukan penggunaan material dalam kaitannya dengan bunyi yang dihasilkan.

Dalam dunia digital sekarang ini, peranan software akustik sangat membantu arsitek dalam mendesain sebuah ruang akustik yang sempurna. Ada beberapa jenis software akustik yang bisa digunakan dalam membantu perancangan desain ruang akustik, salah satunya yaitu EASE Focus 3. EASE

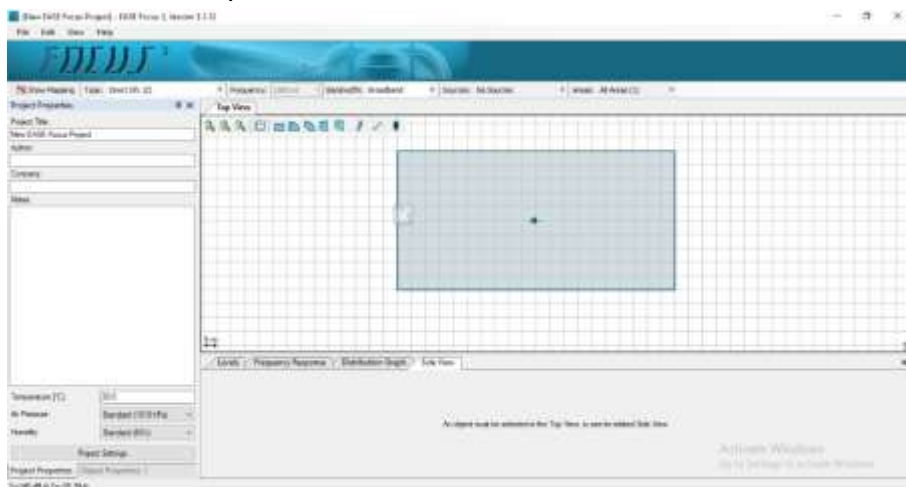
Focus 3 merupakan software simulasi sistem pengeras suara yang bersifat universal dan didukung oleh semua produsen loudspeaker utama.

Fitur EASE Focus 3 cukup lengkap mulai dari fungsi desain umum untuk tempat dan sistem suara hingga fitur penyetelan dan pengoptimalan khusus.

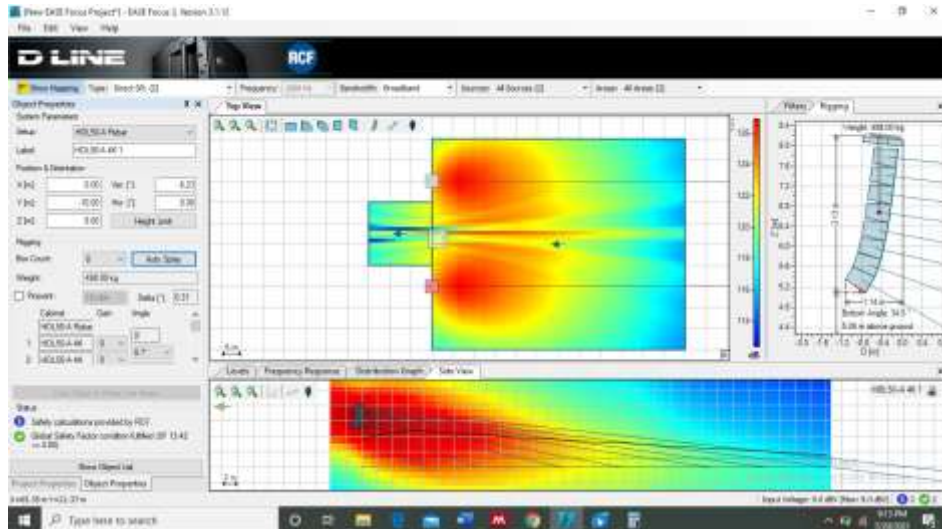
EASE Focus 3 memberikan akurasi tinggi dalam rentang frekuensi penuh dari 20 Hz hingga 20 kHz karena resolusi data internal yang tinggi dan format data GLL. Struktur data yang kompatibel memungkinkan pertukaran data dengan EASE dan paket perangkat lunak AFMG lainnya.

EASE Focus 3 merupakan software yang optimal dalam memprediksi dengan mudah dan cepat kinerja sistem suara di tempat tertentu.

Berikut ini adalah tampilan interface dari software EASE Focus 3.



Gambar 55. Interface EASE Focus 3



Gambar 56. Proses Pemrograman Akustik dengan EASE Focus 3

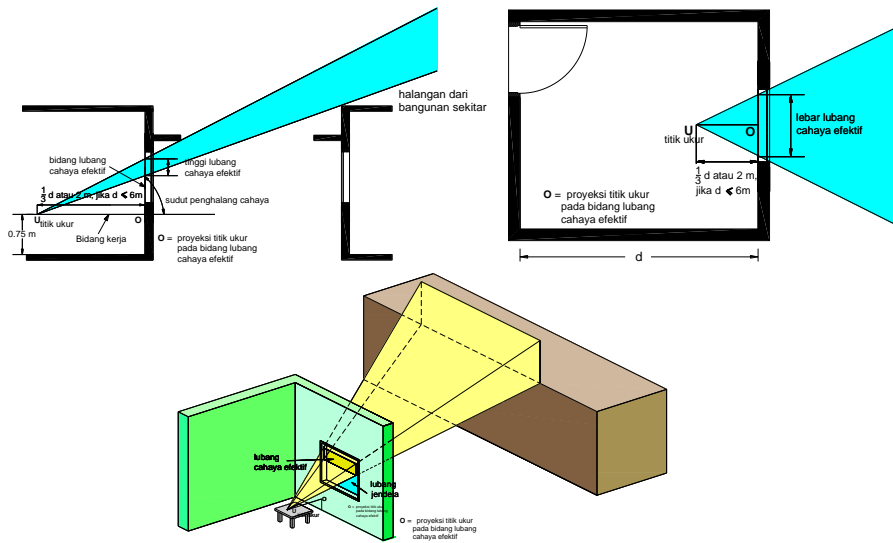
IV.3. Pencahayaan alami

(Djudjun Rusmiatmoko)

Dalam perhitungan pencahayaan alami, terdapat dua pendekatan yaitu:

- a. perhitungan Faktor Langit

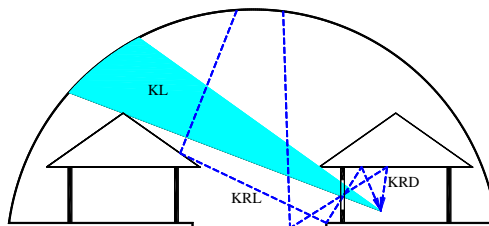
Cara perhitungan ini dengan memperhitungkan luas bidang pencahayaan dari jendela dan memperhitungkan letaknya terhadap titik ukur. Cara ini merupakan cara sederhana dengan rumus sederhana dan dipadukan dengan tabel pembantu perhitungan[19]. Perhitungan ini dengan menggunakan pendekatan seperti pada gambar berikut:



Gambar 57. Pendekatan Faktor langit.

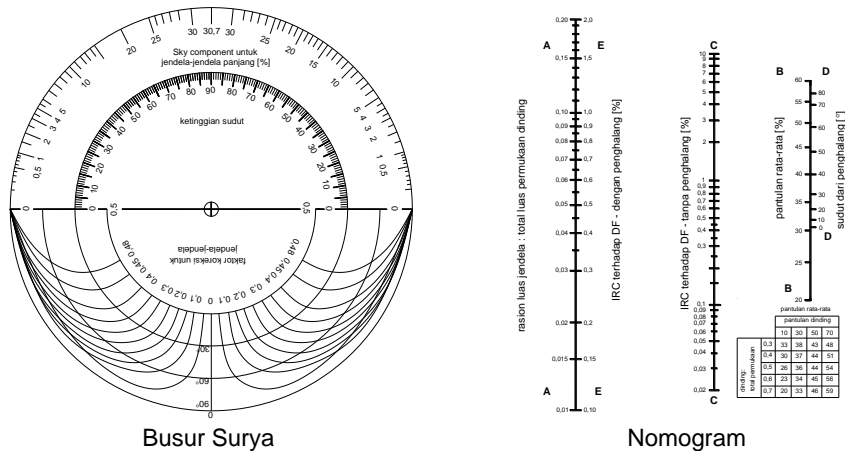
b. perhitungan Faktor Cahaya Siang Hari

Cara ini dapat dilakukan dengan menggunakan penggambaran dibantu dengan Busur Surya dan dengan menggunakan rumus sebagai pendekatannya[21]. Komponen dalam perhitungan ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 58. Komponen perhitungan dari metode Faktor Cahaya Siang Hari

Dalam metode ini dihitung Komponen Pantulan di dalam Bangunan, Komponen Pantulan di Luar Bangunan, Komponen Langit. Dalam perhitungan ini, menggunakan alat untuk menghitung yaitu busur surya dan nomogram seperti pada gambar berikut.



Gambar 59. Busur surya dan nomogram untuk menghitung Faktor cahaya siang hari

Selanjutnya pendekatan Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$DF = SC + IRC + ERC$$

$$IRC = \frac{0,85W}{A(1 - \rho)} \times (C\rho_{FW} + 5\rho_{CW})$$

Kedua metode perhitungan Faktor Langit dan Faktor Cahaya Siang Hari tersebut di atas saling melengkapi dan merupakan rujukan untuk perhitungan pada software

IV.4. Pencahayaan buatan

(Choirul Amin & Tri Susetyo Andadari)

Cahaya buatan merupakan segala sesuatu bentuk penerangan yang berasal dari alat-alat yang diciptakan oleh manusia, misalkan seperti contohnya : lilin, obor, lampu minyak tanah dan lampu pijar.

Konsep dari pembuatan penerangan buatan tidak hanya sekedar menerangi sebuah ruang, tetapi juga ada tujuan untuk membentuk sebuah suasana pada ruang tersebut. Sehingga cahaya buatan sejatinya tidak hanya karena butuh penerangan buatan pada suatu ruang, tetapi harus mempunyai nilai keindahan atau estetika untuk menciptakan suasana. Beranjak dari sudut pandang tersebut maka memilih bentuk, jenis, warna, serta perletakan cahaya buatan pada suatu ruang menjadi suatu hal yang sangat penting.

Hasil atau efek yang diciptakan oleh cahaya buatan tidak hanya memberikan penerangan pada suatu ruang, akan tetapi dapat menciptakan suasana yang diharapkan sesuai fungsi ruang. Cahaya buatan tercipta karena sejatinya manusia tidak dapat bergantung sepenuhnya terhadap cahaya alami, aktivitas yang dilakukan pada malam hari, ruang-ruang yang tidak terjangkau sinar matahari dan serta ruang yang membutuhkan pencahayaan khusus, adalah alasan dari terciptanya pencahayaan buatan.

Cahaya buatan diciptakan bukan untuk menggantikan pencahayaan alami, akan tetapi melengkapi dan menambahkan cahaya alami pada suatu ruang karena alasan tertentu apabila memang diperlukan.

Suatu pencahayaan buatan diperlukan apabila :

1. Cahaya alami tidak tersedia (misal: malam hari)
2. Cahaya alami dirasa tidak mencukupi (misal: kawasan yang tidak berada di garis khatulistiwa / mendung, dll)
3. Ruang-ruang yang tidak terjangkau cahaya alami (ruang tanpa jendela, ruang pada tengah bangunan)
4. Ruang-ruang lebar yang membutuhkan pencahayaan merata hingga diperlukan tambahan cahaya buatan
5. Ruang-ruang khusus yang membutuhkan intensitas cahaya secara konstan (ruang operasi, laboratorium, dll)
6. Ruang-ruang yang membutuhkan warna dan arah cahaya secara konstan (galeri, museum, dll)
7. Pencahayaan buatan dengan fungsi khusus (menghangatkan ruang, incubator, dll) Cahaya buatan dengan efek tertentu atau khusus, seperti fosfor atau lampu ultra ungu.

Kelemahan dari pencahayaan buatan adalah pemakaian sumber dari cahaya yang memerlukan energi. Misalkan energy dari sumber-sumber alam seperti batu bara, kayu, minyak bumi, dll yang tidak dapat diperbaharui sehingga dikhawatirkan akan bermasalah pada suatu hari nanti.

Untungnya cahaya buatan juga dapat diciptakan dengan memakai sumber energy yang dapat dihasilkan ulang, seperti penyimpanan energy matahari, memakai energy pergerakan air maupun pergerakan udara.

Sejatinya cahaya buatan tidak akan mampu menggantikan pencahayaan alami dari sinar matahari, karena pada dasarnya manusia dan makhluk hidup lainnya memerlukan cahaya alami tidak saja karena efek penerangannya akan tetapi juga efek yang terkandung dalam panas matahari seperti vitamin, kekebalan tubuh, proses fotosintesis, kesehatan mental dan lain-lain.

Cahaya buatan mempunyai beragam jenis dan karakter yang sudah umum di masyarakat, seperti:

1. lampu pijar (incandescent)
2. lampu fluorescent
3. lampu HID (High Density Discharge)
4. lampu LED (Light Emitting Diode)

Cahaya buatan yang direkomendasikan untuk sebuah ruangan adalah minimum sebesar 750 lux.

Ada tiga karakter cahaya buatan, yakni :

1. Sistem cahaya buatan merata
2. Sistem cahaya buatan setempat / fokus
3. Sistem cahaya buatan gabungan merata dan setempat

Pada prinsipnya perhitungan pencahayaan, didasarkan pada perhitungan Fluks cahaya (Φ) berupa jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Fluks cahaya didefinisikan sebagai fungsi intensitas pencahayaan dalam arah tertentu [22] dan menurut Choudhury disebutkan bahwa "Luminous flux, or luminous power, is the measure of the perceived power of light" [23].

Rumus-rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan pencahayaan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Besaran Indeks Ruang (IR)

$$IR = \frac{(l \times w)}{h_{eff} (l + w)}$$

l adalah Panjang ruangan (m), w adalah lebar ruangan (m), h_{eff} adalah tinggi lampu terhadap bidang kerja (m)

2. Penentuan Besaran flux cahaya (lumen) teoretis pada bidang kerja (Φ_r)

$$\Phi_r = E \times A$$

E adalah kuat penerangan (lux) pada bidang kerja, dan A adalah luas lantai (m^2)

3. Penentuan Besaran flux cahaya (lumen) dari Rencana (desain) (Φ_D)

$$\Phi_D = \frac{\Phi_r}{MF \times UF}$$

UF = *Utilization Faktor* yaitu faktor penggunaan, MF = *Maintenance Factor* yaitu faktor pemeliharaan produk. Besaran angka UF diambil dari standar pengukuran cahaya, dan besaran MF diambil dari katalog produk lampu dan *armature* yang digunakan.

4. Penentuan Perhitungan jumlah titik lampu (N)

$$N = \frac{\Phi_D}{\Phi_L}$$

Untuk perhitungan fluks cahaya dengan memanfaatkan software, bisa dilakukan dengan beberapa software seperti Dia-Lux, Re-Lux, SweetLight, Lab-Lux dan masih banyak lagi. Sedangkan software-software yang hanya menampilkan simulasi visual pencahayaan tanpa memberikan kalkulasi sistem cahaya, bisa menggunakan software Sketch Up, 3d Max atau Cad dan yang lainnya. Masing-masing software mempunyai kelebihan, mulai dari interface, cara pengoperasian, sistem input data dan output akhirnya. Dibawah ini akan dibahas beberapa software yang bisa dijadikan contoh dalam kalkulasi sistem pencahayaan dan simulasi visual pencahayaannya.

Dalam perhitungan Penerangan buatan, pendekatan yang digunakan adalah:

a. Metode Lumen

Metode ini (seperti gambar 56) digunakan untuk menghitung penerangan ruangan secara umum untuk menerangi seluruh ruangan sesuai dengan kebutuhan ruang dan aktivitas yang dilakukan di dalam ruang tersebut. Pendekatan Metode ini menggunakan rumus sebagai berikut[24]:

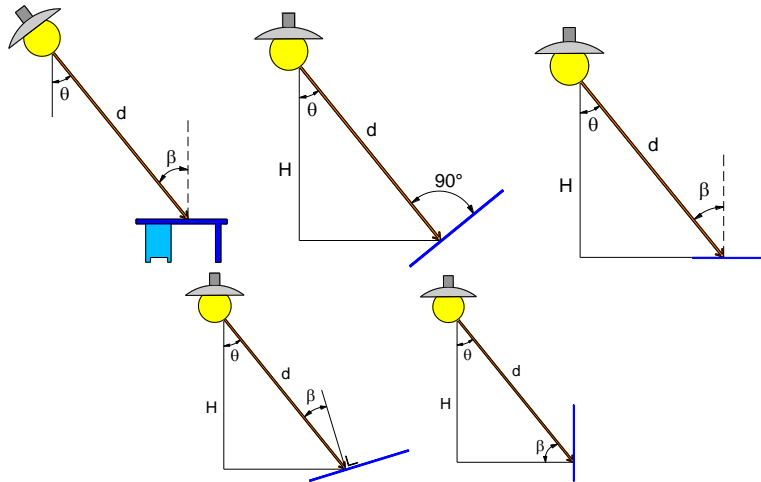
$$E = \frac{\Phi}{A} [\text{lux}]$$

dimana

$$\begin{aligned} E &= \text{Iluminasi [lux]} \\ \Phi &= \text{Total arus cahaya [lm]} \\ A &= \text{luas area [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

b. Metode Titik

Metode ini digunakan untuk penerangan yang mengarah pada satu tempat tertentu. Penggunaan metode ini untuk menerangi meja kerja, menerangi objek peraga dalam satu ruang pameran, atau untuk menerangi satu spot di panggung. Metode ini dapat dihitung dengan pendekatan sebagai berikut[24]:



Gambar 60. Metode Titik

$$E = \frac{I}{d^2}$$

dimana

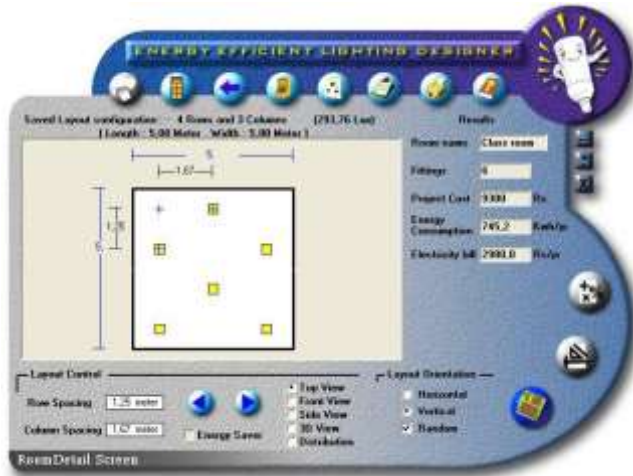
E = Iluminasi [lux]

I = Arus cahaya [lm]

d = Jarak lampu ke bidang kerja [m]

Untuk menghitung penerangan buatan tersebut dapat menggunakan software Ecolumen. Software simulasi ini untuk menghitung dan merencanakan penerangan di dalam bangunan. Software ini merupakan shareware dan dapat didownload secara gratis di internet.

<http://www.walawalkar.com/info/EnergyManagement/EcoLumen/EcoLumen.htm>



Gambar 61. Software Ecolumen

Software lain untuk simulasi pencahayaan adalah Relux Desktop version 2020.2.3.0 yang mampu melakukan kalkulasi pencahayaan untuk instalasi di dalam dan luar ruangan termasuk jalan dan terowongan, dengan metode radiositas dan raytracing serta melakukan berbagai skenario simulasi dan uji analisisnya [25]. Untuk menginstall software ini secara gratis, dapat di unduh di situs resmi Relux pada laman ini: <https://reluxnet.relux.com>.

Secara umum tampilan interface pada Relux Desktop version 2020.2.3.0, adalah seperti pada Gambar 62. Pada awal pengoperasian, ada beberapa pilihan yang bisa digunakan sebagai work place, seperti interior, eksterior, jalan dan terowongan.

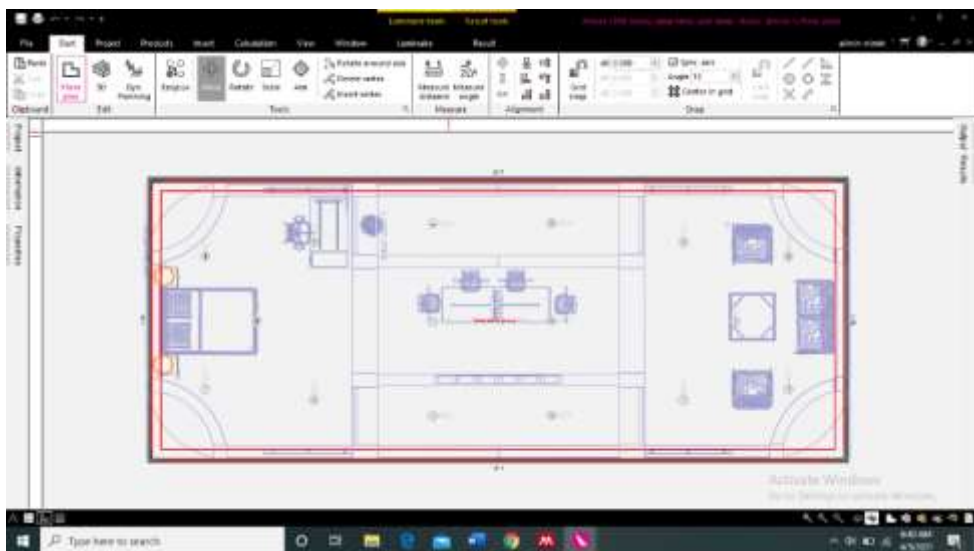


Gambar 62. Interface Relux desktop 2020.2.3.0

Perhitungan pencahayaan dengan sistem simulasi menggunakan software Relux Desktop versi 2020.2.3.0 dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut :

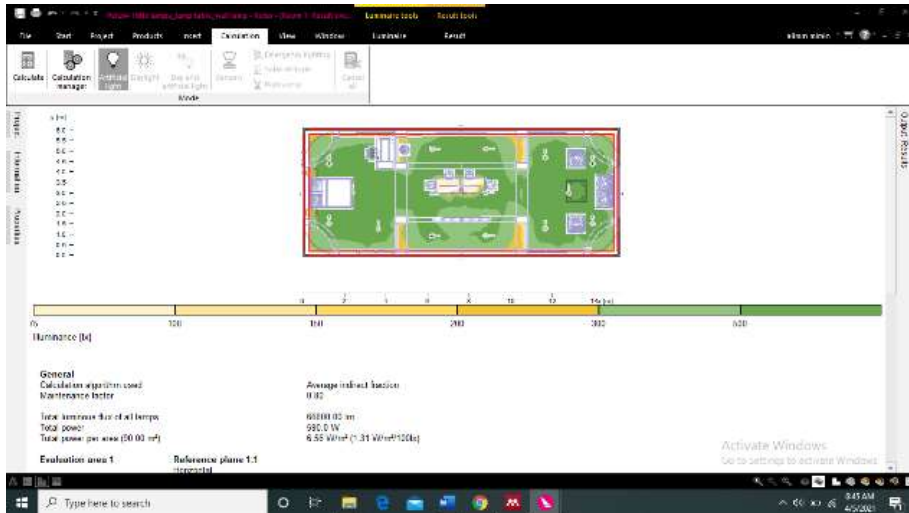
1. Penggambaran layout dan 3d ruangan
2. Input banyaknya lampu, jenis lampu dan besaran daya sesuai merk yang compatible dengan software
3. melakukan analisis rendering pada software Relux desktop 2020.2.3.0,
4. output berupa hasil perhitungan, gambar visual, sebaran/contour cahaya.

Contoh tampilan lay out dan 3d ruangan bisa dilihat pada gambar di bawah ini:



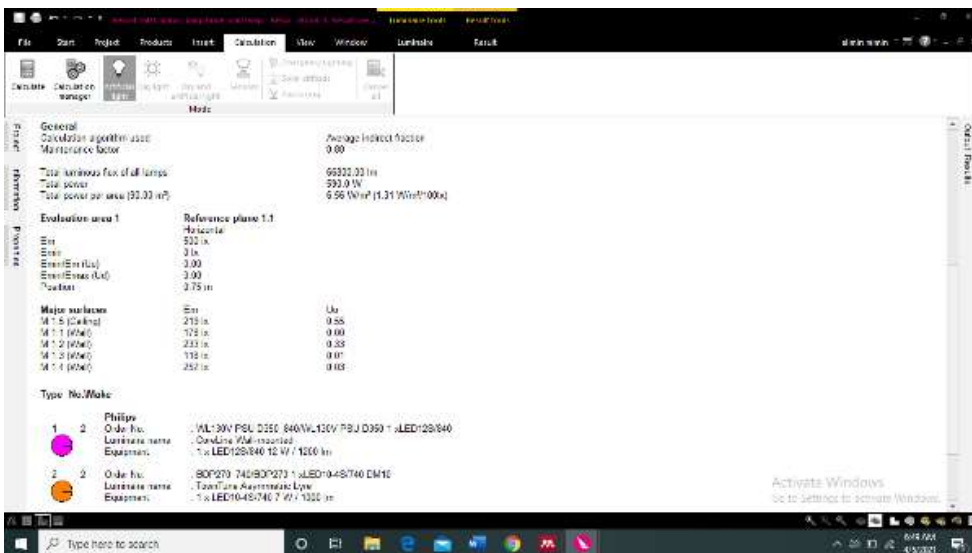
Gambar 63. Contoh input lay out dan 3d ruangan pada Relux 2020.2.3.0

Hasil output kontur kuat penerangan (lux) pada bidang kerja, terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 64. Contoh Output Kontur Kuat Penerangan pada Relux 2020.2.3.0

Hasil output kalkulasi sistem pencahayaan, terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 65. Contoh Output kalkulasi sistem pencahayaan Relux 2020.2.3.0

Hasil output Posisi lampu dan sebaran cahaya hasil simulasi pada Relux 2020.2.3.0, terlihat pada gambar 66, dibawah ini:



Gambar 66. Contoh Rendering sistem pencahayaan pada Relux 2020.2.3.0

Software pencahayaan lain adalah software DIALux yang dapat dikaitkan dengan software Sketchup untuk menghitung pencahayaan di dalam ruang secara 3D. Software ini dapat di download di <https://www.dialux.com/en-GB/download>

DIALux evo version 5.7.1.36886, mampu melakukan perhitungan system pencahayaan yang lengkap dan optimasi rendering lighting berdasarkan ketinggian pusat cahaya, sudut boom, overhang cahaya dan konsumsi energi yang minimal [26]. Untuk menginstall software ini secara gratis, Software ini dapat diunduh di situs resmi DIALux pada laman ini: <https://www.dialux.com>.

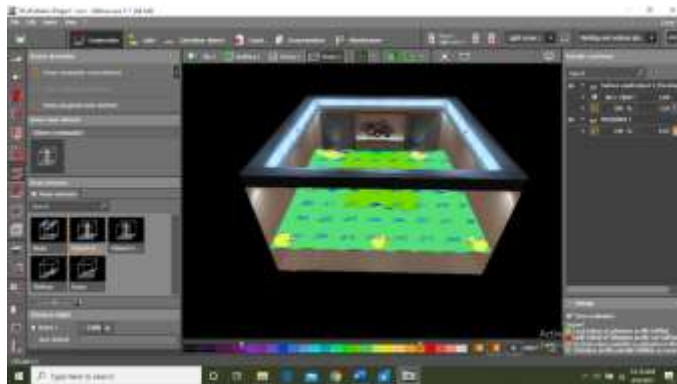
Secara umum tampilan interface pada DIALux evo version 5.7.1.36886, adalah seperti pada gambar 67 dan 71. Pada awal pengoperasian, ada beberapa pilihan yang bisa digunakan sebagai work place, seperti outdoor and building planning, importing, empty rectangular room, street lighting dan simple indoor planning.



Gambar 67. Interface DIALux evo version 5.7.1.36886



Gambar 68. Contoh input lay out dan 3d ruangan pada DIALux evo version 5.7.1.36886



Gambar 69. Contoh Output Kontur Kuat Penerangan DIALux evo version 5.7.1.36886



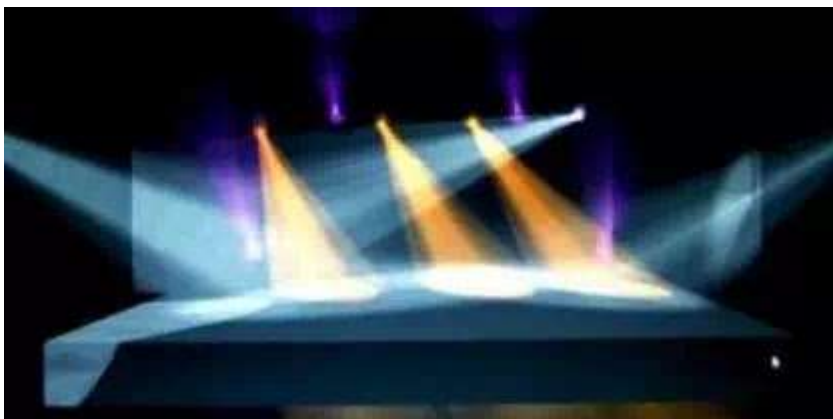
Gambar 70. Contoh Output kalkulasi system pencahayaan pada DIALux evo version 5.7.1.36886



Gambar 71. Contoh Rendering system pencahayaan pada DIALux evo version 5.7.1.36886

Selain software Relux dan DIALux ada beberapa software yang lebih ringan untuk pencahayaan buatan pada ruang-ruang tertentu, seperti dibawah ini:

Software pencahayaan buatan SweetLight (seperti pada gambar 72) merupakan software yang bisa dipakai untuk Windows serta Mac OS. Software SweetLight sebenarnya adalah software pengendali cahaya DMX. Dengan memakai software SweetLight memungkinkan anda membuat efek pertunjukan cahaya yang cukup spektakuler, dengan berbagai fitur yang disediakan software ini, akan tetapi memang memahami penguasaan software SweetLight ini cukup rumit dan sulit, terutama bagi pemula. Penggunaan tutorial dengan video-video yang ada untuk pemakaian software ini sangat dianjurkan.



Gambar 72. Contoh aplikasi cahaya buatan dengan software SweetLight

Link untuk mendownload SweetLight :

<https://sweetlight-controller.com/download/>

1. Pertama, masuk ke bagian editor pada tab fixture, dan membuat rekayasa ruangan dengan menambahkan fixture dari alamat DMX.
2. Ke dua, masuk ke library dan pilih peralatan seperti : moving lights, spotlights, wash light, dsb. atau dapat juga mengimport atau membuat perlengkapan baru apabila menu di library tidak ada.
3. Ke tiga, edit saluran, panel balik, kemiringan, dsb sesuai kebutuhan desain.
4. Ke empat, membuat visualisasi gambar bergerak sesuai efek pencahayaan pada tab step atau efek generator pada tab generator.
5. Ke lima, masuk ke bagian pixel lalu buat efek seperti: pelangi, pemburu, scrolltext, dsb.
6. Ke enam, melihat secara langsung hasil desain pada tab Live, caranya dengan membuat halaman melalui tombol untuk memicu adegan.
7. Ke tujuh, dapat juga membuat simulasi garis waktu horizontal guna menyinkronkan efek cahaya buatan dengan kondisi ruangan yang diperlukan.
8. Ke delapan, menghasilkan tampilan 3D dari hasil desain cahaya buatan yang telah dibuat.
9. Ke Sembilan, untuk tampilan 3D, dapat menyesuaikan pengaturan ruang seperti : area, tanah, dinding depan, dinding belakang, atap, dsb.
10. Ke sepuluh, atur objek seperti: posisi, orientasi, skala, warna, dsb, jangan lupa atur juga fixture, dsb.
11. Terakhir, mencetak tampilan 3D, dan juga dapat menghasilkan grafik batang DMX, spectrum audio, dsb, sesuai kebutuhan.

Software pencahayaan buatan LabLux (seperti gambar 73) merupakan software pencahayaan buatan yang dapat diunduh secara gratis, dengan software lab lux ini dapat merancang pengaturan cahaya buatan secara menyeluruh seperti manual, karena fiturnya menyediakan peralatan sebagai simulasi aslinya, seperti: camera, follow spot, par light, architectural lighting, strip light, border light, moving light, set light, mini brut, loco light, data show, fog machine, dsb,



Gambar 73. Contoh aplikasi cahaya buatan dengan software LabLux

Link untuk mendownload LabLux: <https://sourceforge.net/projects/lablux/>

Cara mensimulasi pencahayaan buatan menggunakan software lab lux untuk ruangan:

1. Pertama, memasukkan dimensi ruang, lebar, panjang dan tinggi, kemudian ambil objek yang anda perlukan yang tersedia di panel kiri
2. Ke dua, tempatkan objek yang telah ambil pada panel kiri tersebut dan tempatkan sesuai dengan keinginan.
3. Ke tiga, melakukan rotasi objek sesuka hati dan menduplikasinya
4. Ke empat, menempatkan pencahayaan yang anda mau tergantung dari objek material yang ada pada ruangan tersebut, seperti sudut, model, efek, kekuatan cahaya, dll
5. Ke lima, melihat hasil desain pada menu blue print yang telah dirancang pada tab Project.
6. Ke enam, dari hasil blue print tersebut dapat dilihat spreadsheet dari semua objek material ruangan dan efek penerangan buaatannya.

Software cahaya buatan Light Artist (Gambar 74) merupakan suatu software alternatif cahaya buatan untuk windows. Meski software light artist ini sebenarnya untuk aplikasi pada suatu panggung, akan tetapi bisa juga dipergunakan untuk penerangan buatan pada suatu ruang.



Gambar 74. Contoh aplikasi cahaya buatan dengan software Light Artist

Link untuk mendownload Light Artist:

<https://light-artist.software.informer.com/>

Cara mensimulasi pencahayaan buatan menggunakan software light artist untuk ruangan:

1. Pertama, perlu memuat gambar dan mensimulasikan efek cahaya dari gambar dengan berbagai sudut yang berbeda
2. Kedua, masuk kedalam menu light setting, kemudian pilih preset pencahayaan antara lain: glow of fire, spring sun, purple light, flying colors, dsb.
3. Ketiga, misalkan dipilih preset stage lighting, dapat memakai preset ini untuk pencahayaan panggung
4. Ke empat, langkah selanjutnya menambahkan beberapa sumber pencahayaan buatan disesuaikan dengan ketinggian variabel, intensitas dan divergensi serta warna
5. Ke lima, dapat memilih sumber cahaya buatan sebagai : Spot, Omni, atau Paralel.
6. Ke enam, setelah melakukan kelima langkah sebelumnya, dapat mengkonfigurasi pengaturan cahaya buatan dengan menekan tombol process, guna memvisualisasikan efek pencahayaan yang anda buat.
7. Ke tujuh, setelah dirasa cocok, maka dapat menyimpan hasil proses tersebut dengan format : JPEG, PNG, GIF, dan BMP, serta TIFF

IV.5. Penghawaan alami

(Aria Zabdi Alias Dian Pandu)

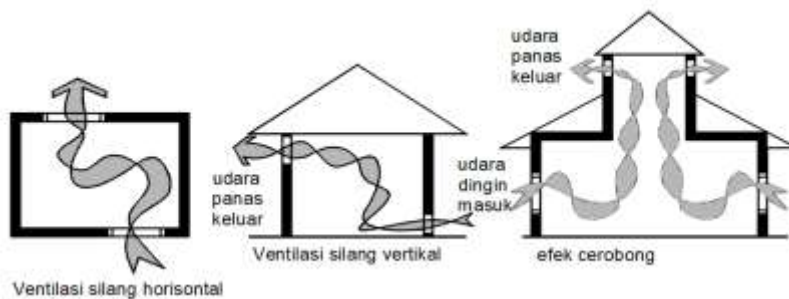
Penghawaan atau ventilasi alami adalah pemanfaatan udara luar untuk didistribusikan di dalam bangunan, dengan memanfaatkan perbedaan tekanan udara di dalam dan di sekitar bangunan. Oleh karena itu penghawaan alami memiliki beberapa prasyarat kondisi udara luar agar penghawaan alami dapat berjalan dengan baik. Kondisi udara luar yang tidak memenuhi persyaratan justru akan memperburuk penghawaan alami di dalam ruang.

Efek perubahan iklim terjadi semakin signifikan dan salah satunya disebabkan oleh masifnya penggunaan energi di dalam bangunan untuk penghawaan. Oleh karena itu, penghawaan alami merupakan hal yang harus dipertimbangkan terlebih dulu oleh perancang sebelum memutuskan untuk menggunakan penghawaan buatan. Agar penghawaan alami dapat berjalan dengan baik, paling tidak ada 3 (tiga) prasyarat kondisi udara luar, yaitu:

1. Bebas dari polusi,
2. Memiliki kandungan oksigen yang dapat mensuplai kebutuhan di dalam bangunan,
3. Memiliki kontribusi dalam mencapai kenyamanan termal dalam bangunan (terkait dengan kelembaban dan temperaturnya).

Selain dipengaruhi oleh ketiga hal di atas, penghawaan alami yang baik juga mempertimbangkan faktor akustik dan faktor visual sebagai akibat dari peletakan dan penataan bukaan yang digunakan untuk penghawaan alami.

Pada sistem penghawaan alami, penerapan ventilasi silang sebagai ventilasi alami merupakan pendekatan yang harus dilakukan. Ventilasi alami dapat dibentuk dengan membangun lubang ventilasi, baik berupa jendela, rooster, atau lubang dinding lainnya. Sistem ventilasi silang ada dua prinsip (seperti Gambar 75), yaitu sistem ventilasi silang secara vertikal dan sistem ventilasi silang secara horizontal [27].



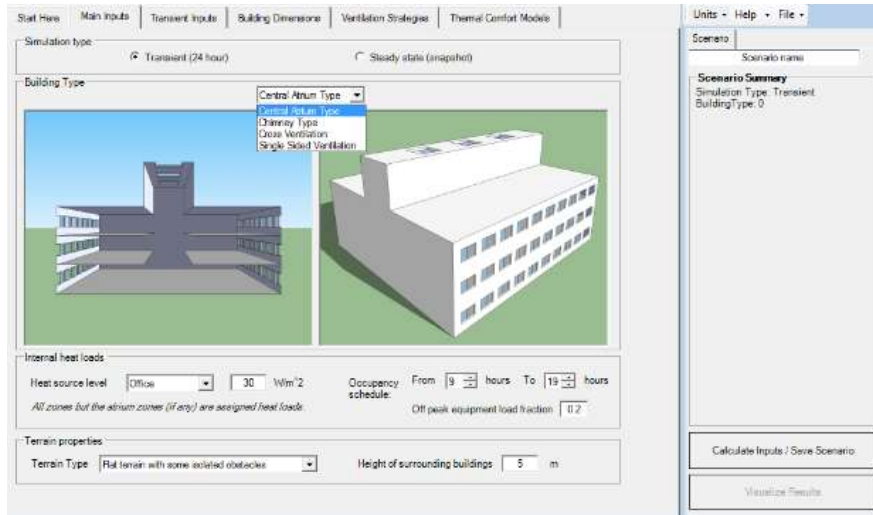
Gambar 75. Ventilasi silang

Ventilasi udara sangat dibutuhkan dalam perencanaan bangunan di daerah tropis, untuk mengurangi potensi kelembaban di dalam ruang. Ventilasi udara yang paling baik adalah dengan cara ventilasi udara silang, artinya ada dua lubang pembukaan (apakah itu jendela, pintu atau lubang angin/rooster) yang letaknya saling berhadapan. Dengan demikian aliran udara akan dapat mengalir dan melintasi ruangan tersebut.

Selain menggunakan ventilasi silang, perlu dibuat lubang udara di atas dan dibawah. Udara dingin memiliki sifat; berat dan memiliki tekanan yang tinggi, sedangkan udara panas memiliki sifat; ringan dan memiliki tekanan rendah. Udara bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, maka udara akan bergerak dari dingin ke panas atau dengan kata lain dari bawah ke atas. Pergerakan udara di dalam bangunan ini yang dapat menetralsir dan mendistribusikan temperatur di dalam bangunan. Pergerakan udara ini pula yang dapat menurunkan temperatur efektif di dalam ruangan[28].

Simulasi Penghawaan Alami untuk Optimasi Desain Pasif

Untuk Software penghawaan alami ini, dapat menggunakan perangkat lunak CoolVent (gambar 72) yang dapat diunduh di <http://coolvent.mit.edu/>. Perangkat lunak CoolVent merupakan perangkat lunak bebas lisensi dan dapat dipergunakan pada tahap desain awal. CoolVent mudah digunakan untuk memprediksi efek ventilasi alami pada kenyamanan penghuni dan dapat digunakan untuk pertimbangan penghematan energi. Perangkat lunak ini telah dirancang untuk digunakan oleh arsitek, desainer, dan insinyur yang ingin memiliki pemahaman yang lebih baik tentang efek geometri bangunan dan cuaca lokal pada laju aliran udara dan suhu di dalam bangunan berventilasi alami.



Gambar 76. Perhitungan penghawaan alami dengan CoolVent

Lingkungan perkotaan memiliki tantangan tersendiri dalam penyediaan penghawaan alami. Hal ini diakibatkan oleh kecepatan angin yang relatif rendah, temperatur luar ruang yang relatif tinggi, maupun efek dari *urban heat island*. Oleh karena itu diperlukan perancangan penghawaan alami yang lebih detail sehingga tujuan penghawaan alami dapat tercapai dengan baik. Untuk perhitungan dan simulasi penghawaan alami dengan lebih detail dapat digunakan aplikasi berbasis *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

Beberapa perangkat lunak CFD yang umum antara lain:

- Ansys Fluent
- Autodesk CFD
- COMSOL
- Featflow
- CFD Module
- Simcenter STAR-CCM+
- Simcenter Flowtherm
- Urbawind
- Simscale (*opensource*)
- Openfoam (*opensource*)

Perangkat lunak CFD secara umum memberikan perhitungan aliran udara secara mendetail. Namun demikian, penggunaan perangkat lunak CFD memiliki pengaturan kompleks agar simulasi dapat berjalan dengan baik. Dalam perkembangan teknologi digital, pergerakan atau aliran udara dapat lebih prediktif dan kalkulatif dibandingkan sebelumnya yang cenderung ke arah asertif.

Mayoritas perangkat lunak CFD merupakan perangkat lunak berbayar, tetapi ada beberapa perangkat lunak yang memberikan lisensi edukasi maupun bebas lisensi seperti Simscale dan Openfoam.

Penghawaan Alami Pintar sebagai Desain Aktif

Perkembangan teknologi sensorik, motorik maupun kecerdasan buatan memungkinkan bangunan untuk mengadopsi sistem pintar yang merespon pada perubahan atau fluktuasi iklim dan cuaca untuk memperoleh penghawaan alami yang maksimal. Sensor yang berupa pembaca kualitas udara (temperatur, kelembaban, partikulat polutan, kecepatan aliran dan sebagainya) dapat ditempatkan di dalam ruang dan di luar ruang. Data-data tersebut kemudian diolah pada unit pemroses data (CPU) yang kemudian hasil olahan disalurkan pada perangkat mekanis motorik yang berfungsi untuk mengatur besar-kecil bukaan maupun arah tangkapan udara.

IV.6. Kenyamanan thermal dengan Software

(Mufidah)

Parameter yang mempengaruhi kenyamanan disebutkan secara lengkap yang menjadi landasan bagi perhitungan kenyamanan, yaitu [29]

1. Bentuk tubuh dan berat badan
2. kondisi tubuh dan kesehatan
3. usia
4. jenis kelamin
5. pengaruh etnis
6. jenis pangan
7. pakaian
8. derajat aktivitas
9. adaptasi dan aklimatisasi
10. ritme kehidupan harian dan tahunan
11. temperatur ruang
12. kelembaban udara
13. pergerakan udara
14. tekanan udara
15. susunan komponen udara
16. elektrisitas udara
17. pengaruh akustik
18. pengaruh pencahayaan
19. kesibukan di dalam ruang: komunitas manusia

Parameter ini selanjutnya dikuantitatifkan dalam perhitungan kenyamanan, seperti yang dilakukan oleh P.O. Fanger [30]. Perhitungan Kenyamanan menurut P.O. Fanger yang memperhitungkan secara lengkap, pakaian manusia, aktivitas manusia, temperatur, kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur radiasi dan temperatur permukaan kulit diformulasikan dalam rumus sebagai berikut:

$$PMV = \left(0,352 \times e^{-0,042 \left(\frac{M}{A_{DU}} \right)} + 0,032 \right) \left[\begin{array}{l} \frac{M}{A_{DU}} \times (1-\eta) - 0,35 \left[43 - 0,061 \times \frac{M}{A_{DU}} \times (1-\eta) - p_D \right] - \\ 0,42 \times \left[\frac{M}{A_{DU}} \times (1-\eta) - 50 \right] - 0,0023 \times \frac{M}{A_{DU}} \times (44 - p_D) - \\ 0,0014 \times \frac{M}{A_{DU}} \times (34 - \vartheta) - 3,4 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times \\ \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4 \right] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - \vartheta) \end{array} \right]$$

Dimana:

PMV = Predicted Mean Vote, nilai untuk menyatakan kenyamanan termal

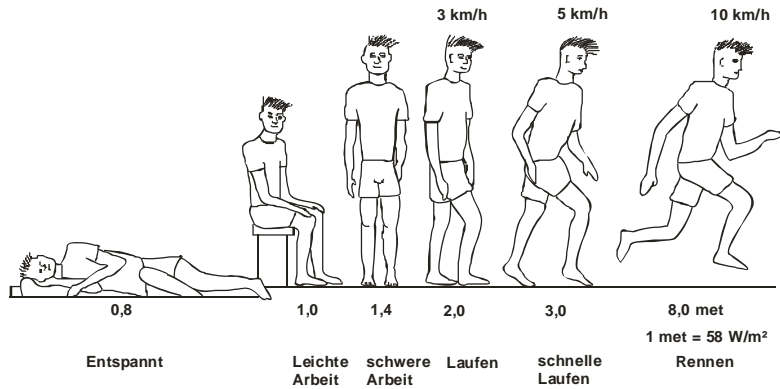
$\frac{M}{A_{DU}}$ = aktivitas manusia di dalam bangunan [W/m²]

η = tingkat efisiensi mekanik [-]

t_{mrt} = temperatur radiant rata-rata

$$h_c = \begin{cases} 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{untuk } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 10,4\sqrt{v} \\ 10,4\sqrt{v} & \text{untuk } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 10,4\sqrt{v} \end{cases}$$

Pola aktivitas manusia di dalam bangunan dikelompokkan dan digambarkan seperti gambar 77 dan tabel 3 berikut. Pola aktivitas ini mempengaruhi derajat metabolik yang meningkatkan panas tubuh manusia, yang meningkatkan pelepasan kalor yang menambah peningkatan temperatur ruang.



Gambar 77. Derajat metabolik manusia berdasarkan aktivitas.

Tabel 3: Aktifitas, Derajat Metabolik Dan Tingkat Efisiensi Mekanik.

| aktivitas | Derajat metabolik | Tingkat efisiensi mekanik |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | M/A_{Du} [W/m ²] | η [-] |
| tidur | 40,705 | 0 |
| berbaring | 46,52 | 0 |
| duduk | 58,15 | 0 |
| berdiri | 69,78 | 0 |
| berjalan 3,2 km/h | 11,3 | 0 |
| 4,0 km/h | 139,56 | 0 |
| 4,8 km/h | 151,19 | 0 |
| 5,6 km/h | 186,08 | 0 |
| 6,4 km/h | 220,97 | 0 |
| 8,0 km/h | 337,27 | 0 |
| Membersihkan rumah | 116,3 - 197,71 | 0 - 0,1 |
| Memasak | 93,04 - 116,3 | 0 |
| Mencuci piring | 93,04 | 0 |
| Mencuci pakaian & menyetraka | 116,3 - 209,34 | 0 - 0,1 |
| Belajar | 58,15 - 69,78 | 0 |

Tekanan udara dapat diambil dari Badan Meteorologi & Geofisika. Namun jika data tersebut tidak dapat diperoleh, pendekatan berikut ini dapat digunakan dengan data temperatur dan kelembaban udara.

P_a = tekanan udara [mbar]

dimana tekanan udara ini dapat dihitung melalui data dari kelembaban udara dan temperatur udara, seperti pada rumus berikut ini.

$$P_a = \varphi \times P_s$$

P_s = tekanan udara jenuh [Pa]

φ = kelembaban udara [%]

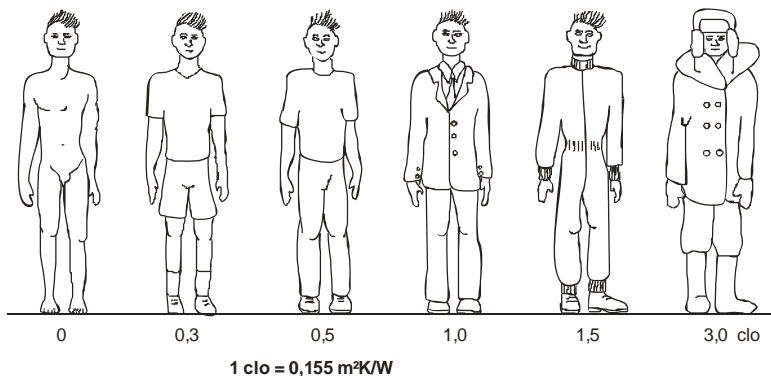
$$P_s = C_1 \times \exp\left(\frac{C_2 \times \vartheta}{C_3 + \vartheta}\right)$$

$$\vartheta \geq 0^\circ\text{C} \quad P_s = 610,78 \times \exp\left(\frac{17,08 \times \vartheta}{234,18 + \vartheta}\right)$$

ϑ = temperatur udara [$^\circ\text{C}$]

f_{cl} = perbandingan antara temperatur permukaan kulit yang mengenakan pakaian dan yang tidak mengenakan pakaian [-]

nilai f_{cl} dapat diambil dalam gambar 78 dan tabel 4, sesuai dengan jenis pakaian yang digunakan. Jenis pakaian berpengaruh pada hambatan pelepasan evaporasi tubuh, panas tubuh dsb.



Gambar 78. Perlindungan Terhadap Iklim Sekitar Dari Jenis Pakaian

Nilai I_{cl} dan f_{cl} dapat diambil dari tabel berikut ini:

Tabel 4: Jenis Pakaian

| Jenis pakaian | I_{cl} m ² K/W | f_{cl} |
|---|--------------------------------|----------|
| telanjang | 0,00 | 1,00 |
| pakaian tropis, baju lengan pendek, memakai sandal dan celana pendek | 0,05-0,06 | 1,05 |
| baju lengan pendek, celana panjang, memakai sepatu | 0,08 | 1,10 |

Dengan perhitungan t_{cl} sebagai berikut:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,032 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0,18 I_{cl} \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0,35 \left[43 - 0,061 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - p_a \right] - 0,42 \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 50 \right] - 0,0023 \frac{M}{A_{Du}} (44 - p_a) - 0,0014 \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) \right]$$

dimana:

t_{cl} = temperatur pakaian [°]

t_a = temperatur udara [°]

Dari hasil perhitungan, maka disesuaikan dengan tabel 5 berikut, pada kondisi kenyamanan ruangan yang diukur.

Tabel 5: Nilai PMV

| PMV | Nilai termal |
|---------------|----------------|
| -2,1 s/d -3 | terlalu dingin |
| -1,1 s/d -2 | sejuk |
| -1,0 s/d -0,6 | agak sejuk |
| -0,5 s/d 0,5 | nyaman |
| 0,6 s/d 1,0 | agak hangat |
| 1,1 s/d 2 | hangat |
| 2,1 s/d 3 | terlalu panas |

Perhitungan termal dengan menggunakan rumus PMV ini dikembangkan untuk perhitungan simulasi kenyamanan termal pada software aplikasi penelitian ini. Dengan simulasi yang menarik dan mudah dipahami, maka

perhitungan PMV ini dapat dipermudah dan setiap orang dapat memahaminya dengan cepat.

Untuk menghitung kenyamanan termal dapat menggunakan aplikasi di <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Pada software ini, input yang harus dimasukkan adalah temperatur ruang, kecepatan angin, kelembaban relatif, metabolic rate, jenis pakaian, yang sesuai dengan rumus PMV dan akan dihasilkan nilai nyaman atau tidak dan akan digambarkan dalam diagram psikometrik seperti pada gambar berikut ini.

The screenshot shows the CBE Thermal Comfort Tool interface. The title bar includes the CBE logo and the text "CBE Thermal Comfort Tool". Below the title bar, there are navigation links: "ASHRAE 55, 55-1670M", "Compare", "Ranges", "Upload", "Form Instructions", "PWS", "Help", and "Other CBE tools".

The main content area is divided into several sections for input:

- Select method:** A dropdown menu set to "PMV method".
- Operative temperature:** A text input field containing "25" and a unit dropdown set to "°C".
- Air speed:** A text input field containing "0.1" and a unit dropdown set to "m/s". Below it is a dropdown menu set to "No local control".
- Relative humidity:** A text input field containing "50" and a unit dropdown set to "%". Below it is a dropdown menu set to "Relative humidity".
- Metabolic rate:** A text input field containing "1" and a unit dropdown set to "met". Below it is a dropdown menu set to "Seated, quiet: 1.0".
- Clothing level:** A text input field containing "0.61" and a unit dropdown set to "clo". Below it is a dropdown menu set to "Trousers, long-sleeve shirt: 0.61 clo".

Below the input fields, there are several buttons and options:

- Buttons: "Create custom ensemble", "Dynamic predictive clothing", "Solar gain on occupants", "Set pressure: 1013", "Local discomfort: Global temp:", "Reset", "Save", "Reload", "Share", and "Documentation".
- A green checkmark icon with the text "Complies with ASHRAE Standard 55-2010".
- Results: "PMV < -0.16", "Sensation = Neutral", "PPD = 6.1%", and "SET = 24.8 °C".
- A dropdown menu labeled "Psychrometric (operative temperature)".

The footer of the interface shows "©2" on the left and "20/09/2021, 17" on the right.

Gambar 79. Software CBE Thermal Comfort

Hasil dari perhitungan tersebut berupa kesimpulan nyaman atau tidaknya sebuah tempat dengan perhitungan PMV dan PPD serta penggambaran dengan menggunakan diagram psikometrik. Perhitungan ini menjadi lebih mudah dengan memasukkan input data dan komputer menghitung hasil PMV dan PPD secara cepat.

PENDEKATAN DESAIN BANGUNAN

V.1. Analisis Struktur & Konstruksi

(Wawan Destiawan)

Dalam desain Arsitektur, tidak lepas dari perencanaan Struktur dan Konstruksi. Struktur dan Konstruksi menjadi hal yang paling mendasar dan harus didesain secara simultan dengan desain arsitektural. Pendekatan dalam pemahaman struktur dan konstruksi tentu harus diawali terhadap pemahaman, berat, beban, pembebanan, gaya dan prinsip mekanika teknik[31].

Untuk melakukan analisis struktur dan konstruksi dapat menggunakan beberapa software, antara lain:

Software STAAD Pro (lihat gambar 80), yang dapat diunduh di <https://www.bentley.com/en/products/product-line/structural-analysis-software/staadpro>.

1. STAAD.Pro – Opsi STAAD paling dasar termasuk analisis FEM dan pemodelan fisik.
2. STAAD.Pro Lanjutan – Menambahkan analisis yang lebih cepat, lebih maju, dan kompleks.
3. WorkSuite Struktural – Aplikasi struktural paling populer dalam satu lisensi hemat biaya.

Merancang baja, beton, kayu, aluminium, dan struktur baja cold-formed di mana saja di dunia dengan menggunakan lebih dari 90 kode desain internasional yang dilengkapi pilihan STAAD antara lain :

- Secara otomatis mengubah model fisik menjadi model analitis untuk merampingkan alur kerja.
- Dapat meningkatkan kolaborasi tim multi-disiplin melalui interoperabilitas yang luas dengan aplikasi desktop dan cloud serta seluler Bentley seperti OpenBuildings Designer, AutoPIPE, Revit, dan Tekla.
- Dapat mengoptimalkan alur kerja BIM beton dan baja dengan integrasi penuh anggota fisik dan permukaan.

- Dapat menjalankan banyak alternatif desain secara paralel dengan layanan cloud STAAD dan lihat hasilnya dalam perbandingan grafis yang jelas dan berdampingan.
- Desain untuk daerah gempa tinggi atau kondisi sehari-hari, menggunakan analisis Elemen
- Melihat dan edit model dalam berbagai ukuran dari perangkat seluler.

Selain semua kemampuan yang termasuk dalam STAAD.Pro standar, opsi lanjutan ini menawarkan analisis canggih dan lebih kompleks seperti:

- Geometris Non-linear
- Stabil
- Tekuk
- Kabel
- pushover
- Spektrum Lantai

Software STAAD.Pro dapat digunakan untuk

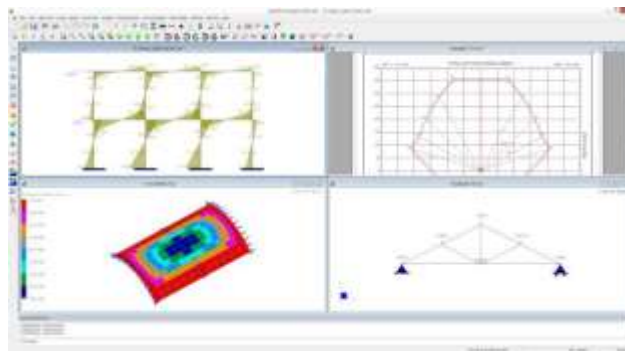
- Merancang dan merinci sistem penahan gaya gempa, menghasilkan beban gempa sesuai dengan kode bangunan yang relevan. Pertimbangkan gaya-gaya ini dalam desain elemen dan, jika dapat diterapkan, desain rangka dan sistem struktur yang lebih besar. Terapkan persyaratan daktilitas dari kode desain yang dipilih dalam proporsi dan perincian elemen.
- Menyelesaikan analisis, desain, dan penyusunan bangunan untuk seluruh struktur secara akurat dan efisien menggunakan analisis elemen hingga kami yang canggih.
- Optimalkan atau analisis balok, kolom, dan dinding untuk beban gravitasi dan lateral untuk mendapatkan desain yang aman dan ekonomis dengan cepat. Menghasilkan desain sesuai dengan spesifikasi desain global dan kode bangunan.
- Kontrol balok beton, dinding, dan desain kolom termasuk bentuk L, T, dan C.
- Pemeriksaan kode bangunan ekstensif untuk gaya seismik dan angin pada rangka bresing dan rangka momen.
- Penerapkan beban angin dan seismik yang ditentukan kode ke struktur menggunakan generator beban bawaan.

- Menghasilkan gambar tulangan yang komprehensif termasuk label rebar otomatis, dimensi, dan catatan, termasuk bagian, rencana, dan detail dari model 3D.



Gambar 80. Software STAAD.Pro

Software Real3D (sebelumnya Real3D-Analysis, seperti gambar 81) adalah desain struktural dengan menggunakan Finite Element Analysis yang dirancang untuk insinyur struktural dari semua tingkat keahlian. Perangkat lunak ini dapat diandalkan, mudah digunakan, dan terjangkau. Software ini dapat diunduh di <https://www.cg-inc.com/Download/Download>



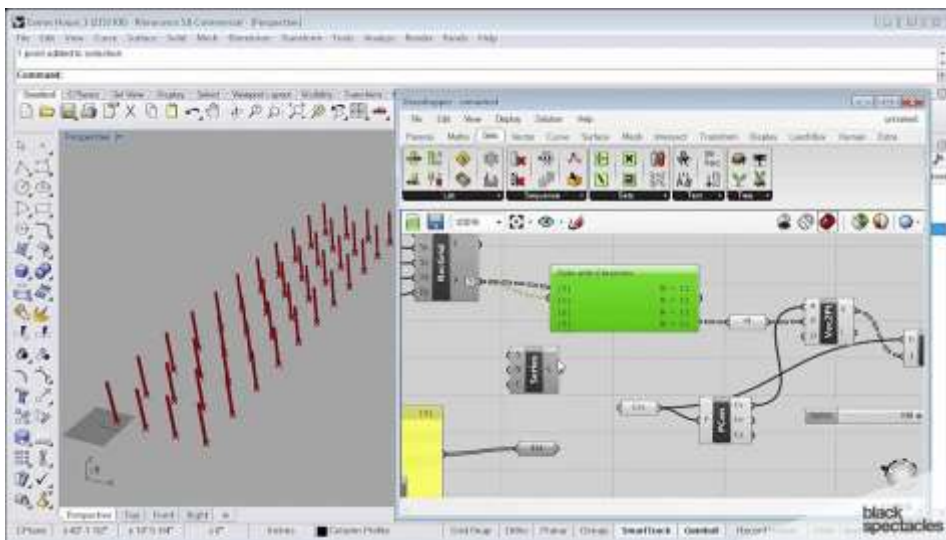
Gambar 81. Software Real3D

V.2. Parametrik Desain

(Stephanus Evert Indrawan)

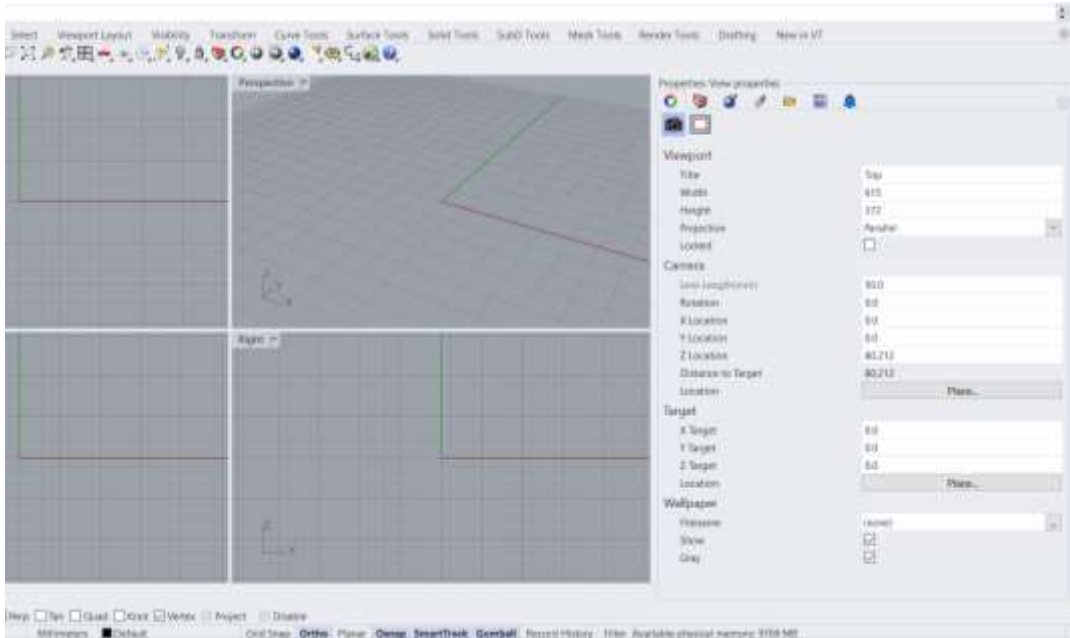
Desain parametrik adalah paradigma dalam desain di mana hubungan antar elemen digunakan untuk memanipulasi dan menginformasikan desain geometri dan struktur yang kompleks. Sistem pemodelan parametrik dapat dibagi menjadi dua jenis utama: Sistem berbasis propagasi di mana seseorang menghitung dari yang diketahui hingga yang tidak diketahui dengan model aliran data[32].

Software Rhinoceros 3D adalah perangkat lunak pemodelan 3D profesional. Software ini akan memungkinkan pengguna untuk mengembangkan model dan geometri yang sangat kompleks. Dalam penggunaan software desain parametrik ini harus terhubung dengan software Grasshopper. Software Grasshopper sebagai input untuk Software Rhinoceros 3D. Pemrograman desain parametrik dilakukan di Software Grasshopper dan kemudian hasil dari pemrograman tersebut akan tertampil dalam bentuk gambar riil di Software Rhinoceros 3D (lihat gambar 82) [33]. Rhinoceros memiliki beberapa Plug-in yang memfasilitasi 3D Printing dan dapat di export menjadi format STL dan .OBJ, kedua format ini dapat digunakan pada berbagai 3D printer. Software Grasshopper dapat di download di <https://www.grasshopper3d.com/page/download-1> dan Software Rhinoceros 3D dapat diunduh di <https://www.rhino3d.com/download/>



Gambar 82 Penggunaan Software Grasshopper dan Software Rhinoceros 3D

Melalui website ini dapat diunduh software Rhinoceros3D sesuai dengan kebutuhan sistem operasi perangkat komputer yakni Windows dan Apple. Rhinoceros3D menyediakan software yang tidak berbayar atau *evaluation* selama 90 hari. Selanjutnya langkah-langkah instalasi software berikutnya bisa diikuti melalui website. Berikut ini adalah tampilan yang sudah selesai di instalasi kedalam komputer.

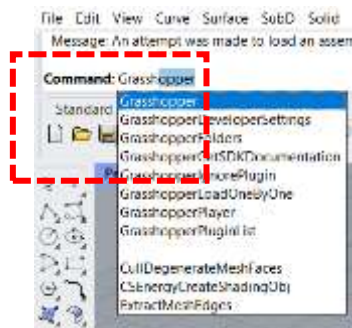


Gambar 83. Tampilan Rhinoceros 3D

Terkait dengan parametrik desain maka operasional Rhinoceros3D akan juga menggunakan *plug-ins Grasshopper*. Sejak versi 6.0 Grasshopper sudah tidak perlu di *install* terpisah seperti pada Rhinoceros versi 5.0 kebawah. Untuk membuka Grasshopper maka dapat melalui 2 cara yakni (gambar 84 dan 85) :

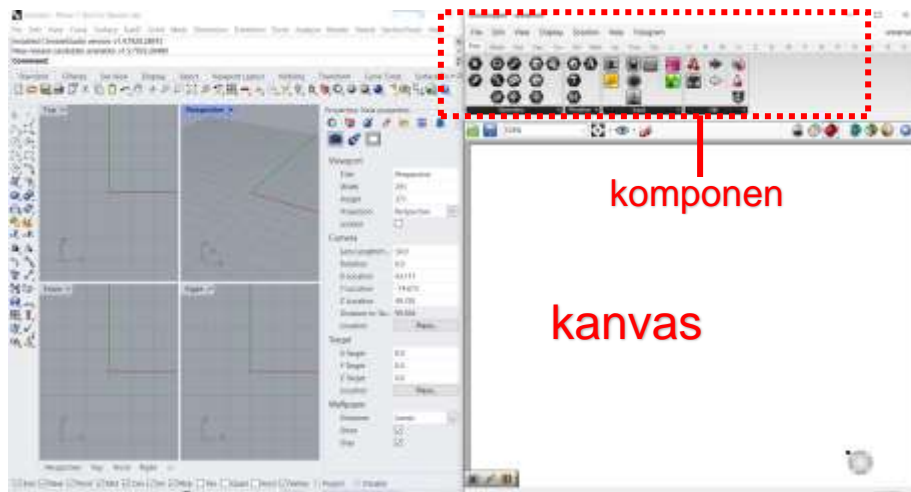


Gambar 84. Aktivasi dengan ikon “Standard – klik logo Grasshopper”



Gambar 85. Aktivasi dengan *Command Line*

Setelah Grasshopper aktif maka akan muncul layer kerja (kanvas) yang terpisah dengan Rhinoceros3D namun keduanya saling berhubungan, seperti gambar berikut ini.

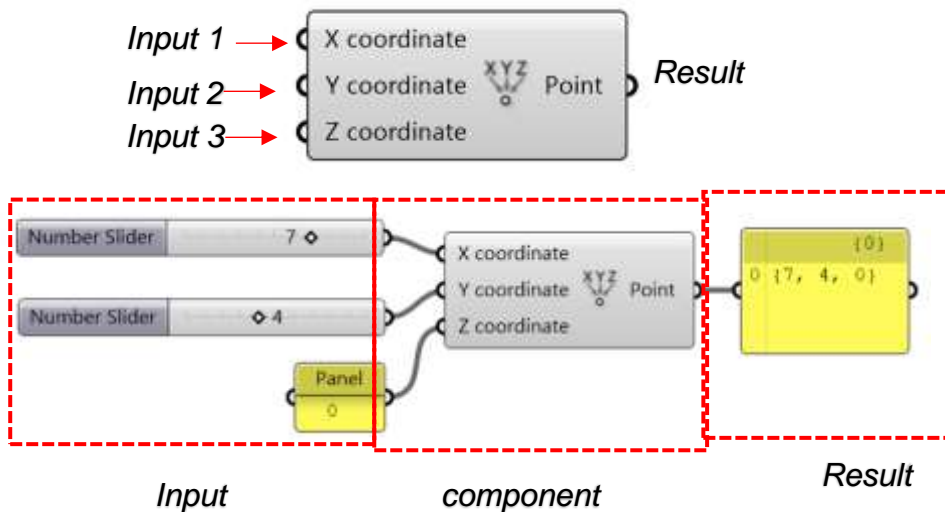


Gambar 86. Layar tampilan Rhinoceros dan Grasshopper

Setelah Grasshopper aktif maka dapat dimulai langkah awal untuk membuat *visual scripting* atau *definition* dengan membuat *component*. *Component* merupakan sebuah satuan instruksi dengan konsep tertentu yang akan mendapat masukan informasi (*input*) dan menghasilkan luaran (*output*) yang akan menunjukkan hasil (*result*). *Result* dapat juga sebagai input tahapan berikutnya. Cara penggunaan komponen dan *definition* dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Component

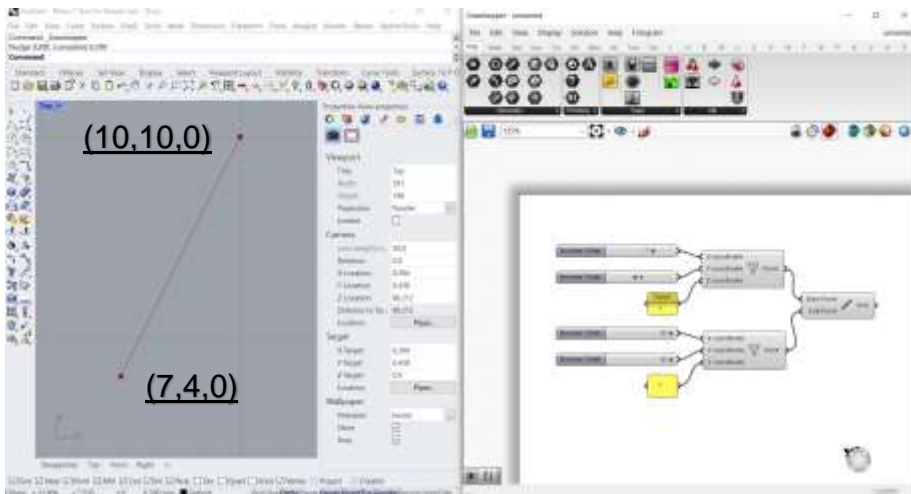
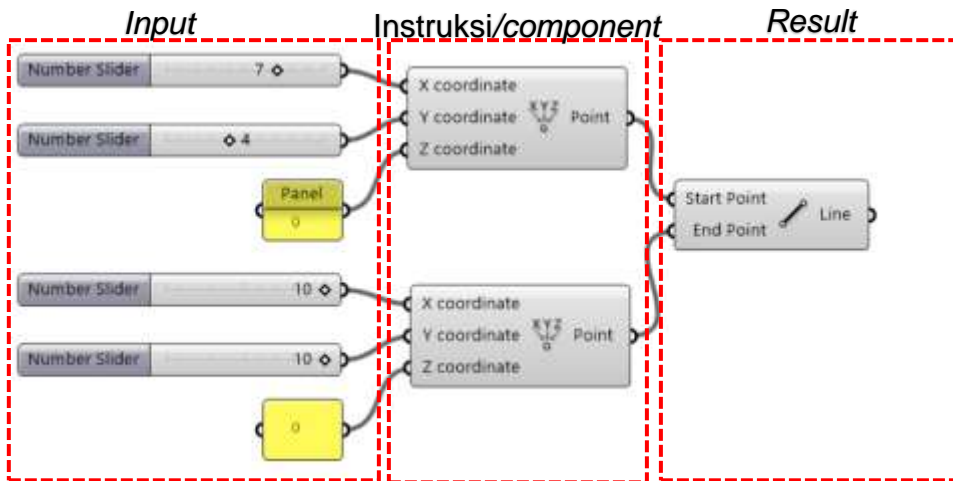
Konsep dari komponen *Construct Point* ini (gambar 87) adalah untuk menghasilkan sebuah titik dengan masukan informasi (*input*) angka koordinat kartesian (x,y,z). Input angka dinamis dapat menggunakan “*slider*” dan angka statis menggunakan “*panel*”



Gambar 87. Komponen pemrograman

2. Definition

Konsep dari *definition* sederhana ini (gambar 88) adalah menghubungkan titik awal (*start point*) dan titik akhir (*end point*) yang berada di posisi tertentu sehingga menghasilkan garis, dengan menggunakan *component* “*Line*”.



Gambar 88. Tampilan garis pada Rhinoceros3D yang dihasilkan oleh Grasshopper

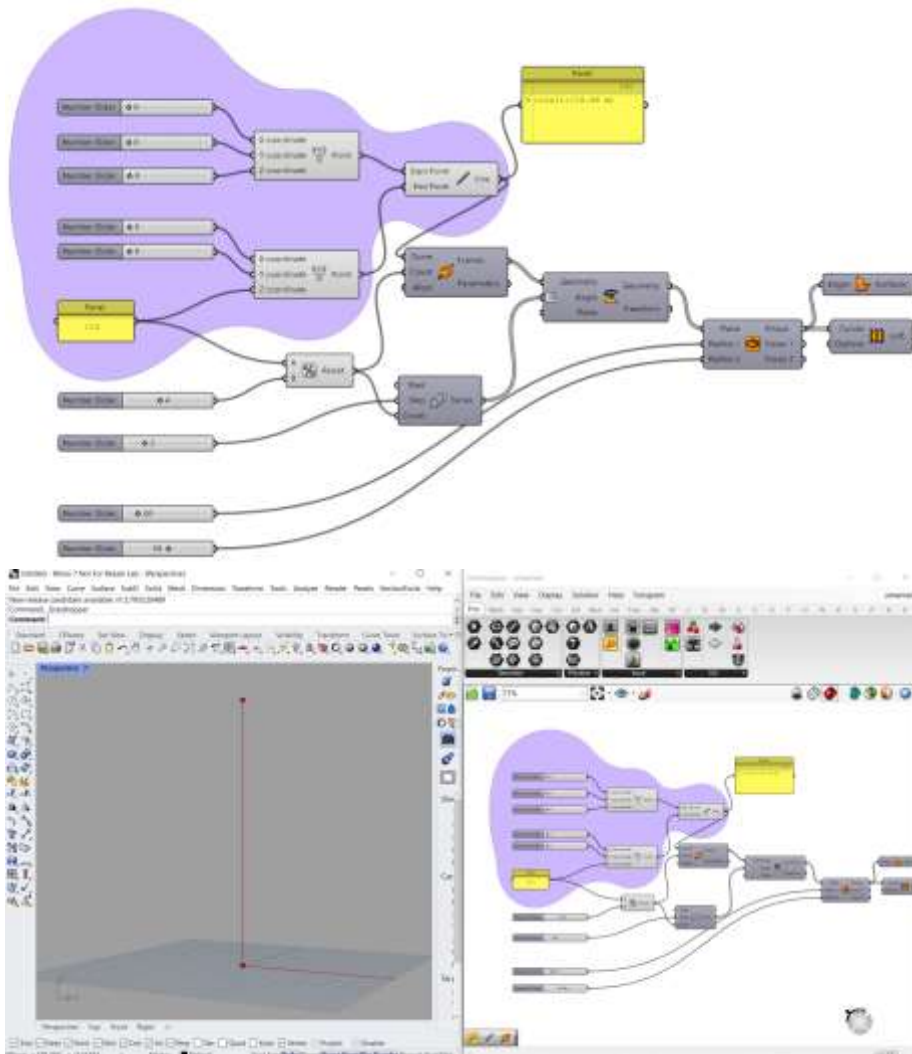
Pada umumnya dalam sebuah *definition* terdapat banyak *component* yang mengandung input, input inilah yang dapat mengontrol *result* akhir dari seluruh rangkaian. Input inilah yang menjadi parameter utama dalam sebuah desain. Oleh sebab itu dalam sebuah proses perancangan parametrik, seorang arsitek harus menentukan parameter utama untuk mencapai hasil akhir.

Misalnya dalam studi kasus seorang arsitek ingin melakukan eksplorasi bentuk sebuah bangunan tinggi (*tower*) yang berputar dengan sudut

tertentu, maka pada tahap awal arsitek perlu memperhitungkan tinggi bangunan, jumlah lantai, bentuk dasar denah dan sudut putaran tiap lantai.

1. Menentukan ketinggian bangunan

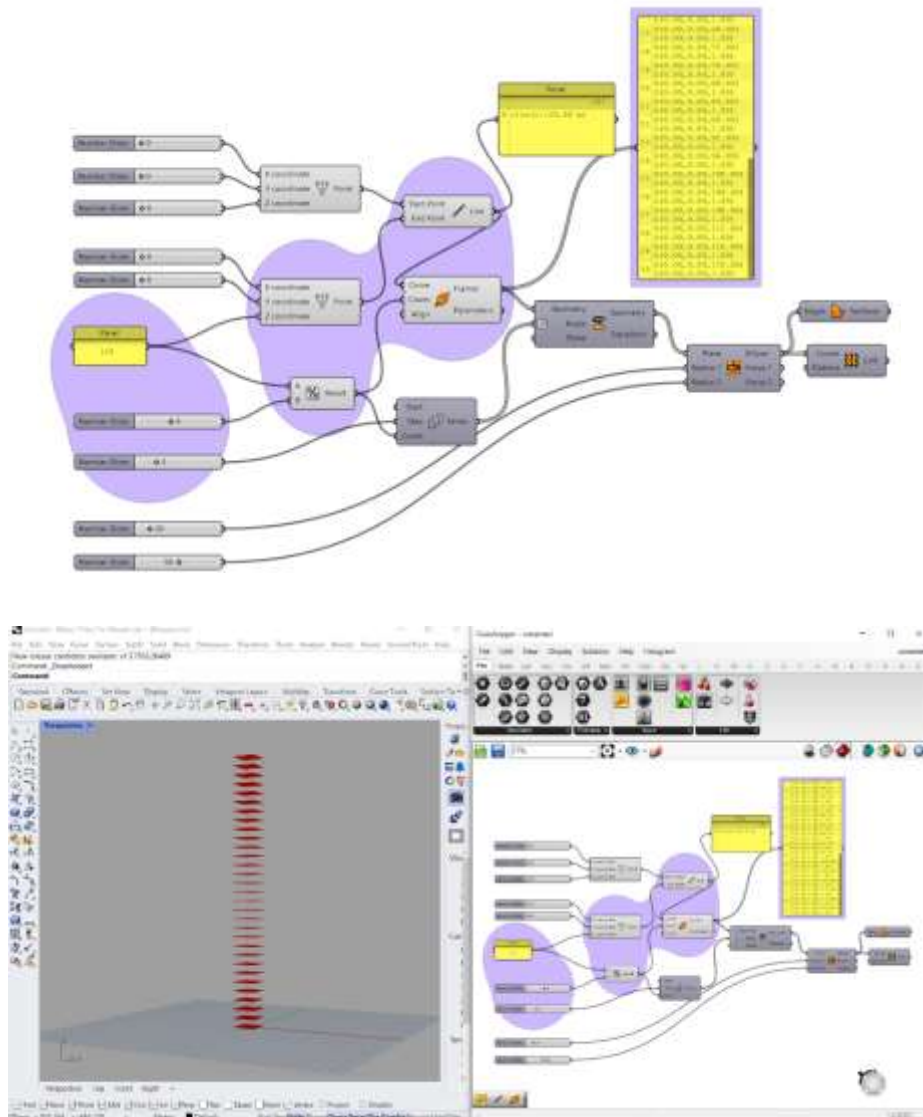
Pada tahapan ini akan ditentukan ketinggian bangunan dengan membuat garis sumbu sepanjang tingginya bangunan yakni 120 meter, kemudian jumlah lantai ditentukan berdasarkan tinggi setiap lantai yakni 4 meter dengan cara membaginya (menggunakan *component "division"*) seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 89. Menentukan ketinggian bangunan

2. Membagi sumbu untuk menentukan jumlah lantai

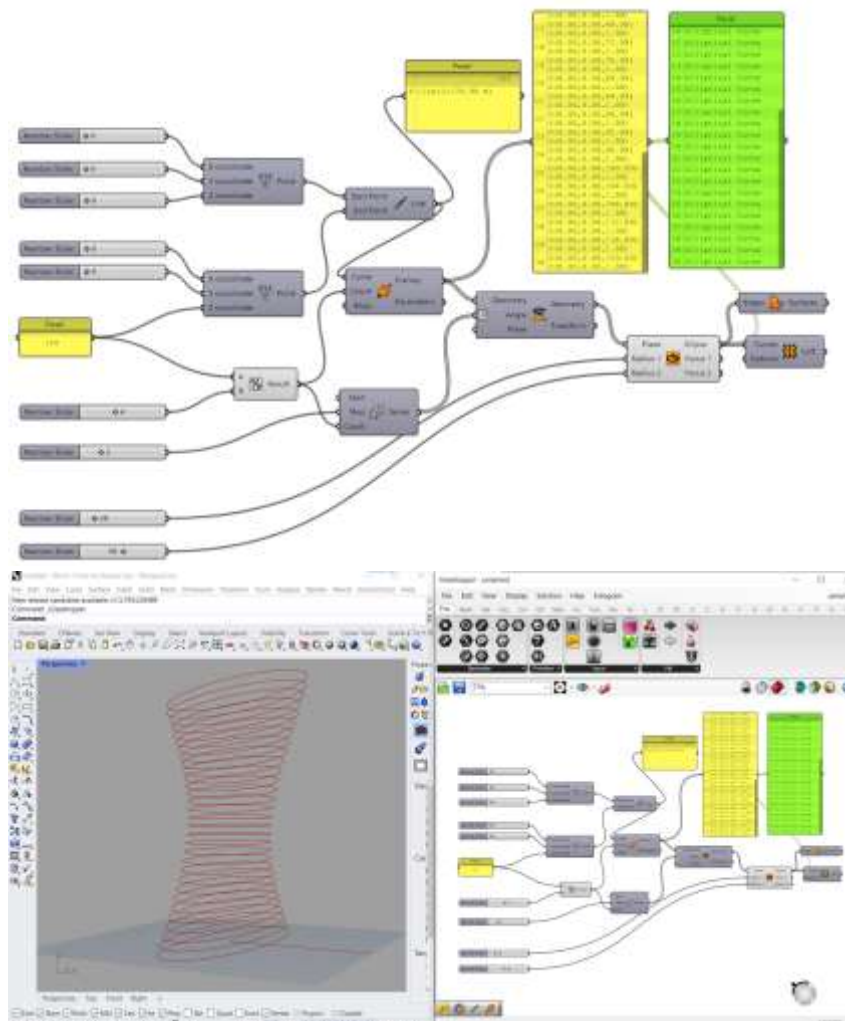
Hasil pembagian dijadikan angka pembagi sumbu (component “Line” dan component “Perpframes”). Terlihat ada “plane” sejumlah 30 di sepanjang sumbu dan untuk mengecek kebenarannya bisa terlihat ada 30 baris data koordinat pada “panel”



Gambar 90. Menentukan jumlah lantai

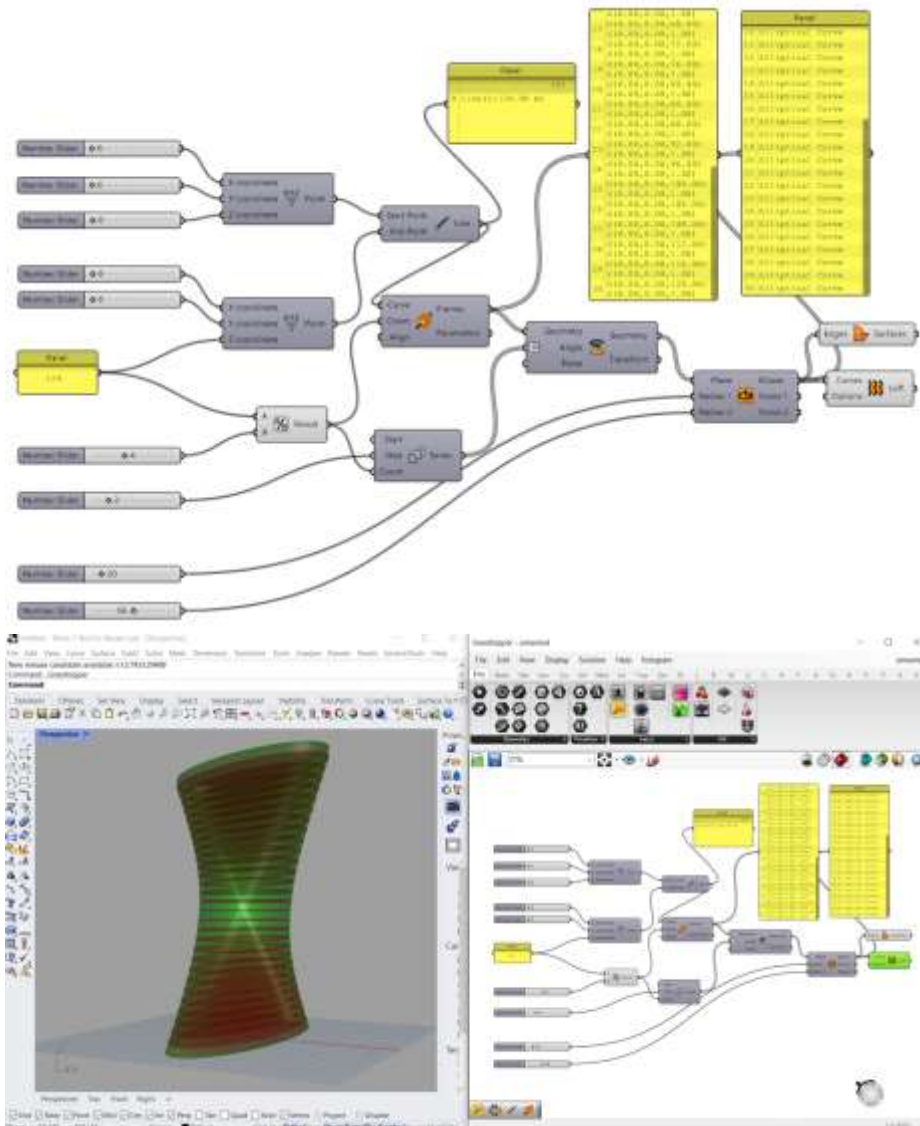
3. Menentukan bentuk denah dasar dan rotasi

“Point” dapat berfungsi untuk menentukan posisi “plane” atau bidang kerja gambar. Pada setiap “plane” akan dibuat “ellipse” yang memiliki input radius horizontal dan vertikal. Selanjutnya “ellipse” akan diputar dengan component “Rotate” sejumlah 3 derajat secara berurutan melalui component “Series”. Untuk menyalakan atau mematikan component bisa dengan klik kanan pada component kemudian memilih “Preview/Unpreview” seperti gambar di bawah ini.



Gambar 91. Bentuk denah dasar dan rotasi

- Membuat skematik plat lantai dan massa bangunan keseluruhan
Setelah sudut rosi dan bentuk dasar denah sudah ditentukan maka dapat dibuat plat lantai secara skematik melalui “*boundary surface*” dan bentuk massa bangunan keseluruhan dengan “*loft*”, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 92. Skematik plat lantai dan massa bangunan

Setelah mendapatkan *definition* yang diinginkan maka arsitek dapat melakukan modifikasi dengan mengganti “*slider*” atau angka-angka yang mewakili tinggi bangunan, jumlah lantai, ketinggian lantai dan sudut putar massa bangunan bentukan tanpa harus mengulang proses menggambar dari awal.

Hasil yang diperoleh dari pendekatan parametrik yang menggunakan software Rhinoceros3D – Grasshopper sangat berbeda dengan software modeling arsitektur pada umumnya yang berbasis CAD maupun BIM. Pendekatan ini menghasilkan alur kerja yang sangat individual dan sangat tergantung pada kebutuhan Arsitek dalam proses perancangan. Obyek yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk kebutuhan perancangan selanjutnya seperti *documentation drawing*, eksplorasi bentukan atau *simulation engine* dengan menggunakan software yang sama maupun berbeda. Rhinoceros3D dan Grasshopper mengembalikan otonomi proses perancangan dari tahapan *script*, modeling dan proses simulasi bangunan Kembali pada Arsitek.

BUILDING INFORMATION MODELLING

Hermawan

VI.1. Building Information Modeling (BIM): Sebuah Tantangan Bagi Industri Konstruksi di Indonesia

Industri konstruksi merupakan salah satu industri yang strategis. Salah satu alasannya adalah industri konstruksi mengakomodasi dan mengolah berbagai sumber daya. Selanjutnya hasil olahan tersebut memberikan kontribusi pada aspek sosial, ekonomi dan lingkungan dalam bentuk tersedianya infrastruktur. Salah satu teknologi yang banyak dipromosikan dalam waktu beberapa dekade ini, *Building Information Modeling* (BIM) sebagai sarana untuk memfasilitasi kolaborasi dan meningkatkan efisiensi *project delivery* dan sekaligus pengelolaan rantai pasoknya. Bahkan dalam tiga dekade terakhir, pemasok perangkat lunak telah membanjiri pasar dengan berbagai paket perangkat lunak BIM yang membantu pengelolaan industri konstruksi. Hal ini menyebabkan pengguna akhir tepatnya di bagian hilir industri konstruksi menghadapi tantangan yang signifikan dalam memilih jenis perangkat lunak yang akan digunakan untuk mengelola kompleksitas di dalam industri konstruksi, khususnya pada bagian hilir [34]. Pentingnya BIM pada bagian hilir industri konstruksi membantu dalam pemodelan pada tahap desain dan pelaksanaan melalui kolaborasi dari berbagai macam organisasi yang menjadi tim dalam proyek [35]. Dengan demikian, BIM ini menjadi sebuah tantangan dan peluang untuk mengurangi risiko yang berpotensi muncul pada daur hidup konstruksi [36].

Dalam praktik penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) pada bagian hilir industri konstruksi banyak pengertian atau definisi yang diberikan. Beberapa definisi mengenai BIM yang merupakan representasi digital dan karakteristik fungsional fasilitas dari sebuah proyek konstruksi [37]. *Project Management Institute* mendeskripsikan BIM sebagai sistem berbasis informasi yang membantu proyek konstruksi dalam bentuk representasi digital maupun fungsinya. BIM diciptakan dengan tujuan untuk mengurangi tingkat kesalahan representasi dalam desain dan biaya pada daur hidup

proyek konstruksi yang dimulai dari tahap desain sampai dengan tahap pelaksanaan konstruksi [38].

Sementara menurut Jones dalam *National Building Information Model Standard (NBIMS)*, BIM merupakan representasi digital dari sebuah proyek konstruksi dan digunakan sebagai alat bantu untuk mengambil keputusan pada daur hidup konstruksi [39].

Sebagai ilustrasi kontribusi BIM, dapat diperlihatkan pada Gambar 93.



Gambar 93. Siklus Konstruksi Dengan Menggunakan BIM [35]

Berdasarkan gambar 88, BIM mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut:

- a. BIM adalah proses membuat data digital yang membentuk model 3D dan informasi yang melekat pada model tersebut dalam sebuah lingkungan kolaborasi yang disebut *Common Data Environment (CDE)*.
- b. Prinsip BIM adalah bukan sekadar proses singular atau pembuatan model 3D dengan bantuan komputer semata, melainkan proses pembuatan model dan data secara bersamaan dan dikolaborasikan antar para pelaku sejak proses perencanaan, perancangan, fabrikasi, hingga pembangunan dan pemeliharaan.
- c. BIM adalah pendekatan yang melibatkan proses perancangan dan pembuatan aset bangunan menggunakan representasi 3D dari atribut fisik dan fungsional.

Berdasarkan uraian tentang definisi BIM, terdapat kesamaan konsep yaitu BIM merupakan representasi digital dalam bentuk pemodelan, membantu pengambilan keputusan pada daur hidup industri konstruksi khususnya pada bagian hilir dan mempunyai signifikansi pada keseluruhan daur hidup proyek konstruksi.

VI.2. Level Building Information Modeling (BIM)

Dalam perkembangannya, kemampuan dalam menggunakan BIM diperlukan pemahaman, karena apabila tidak ada pemahaman yang benar akan menyebabkan destruktif pada industri konstruksi. Selain itu, BIM akan hanya dipahami sebagai pengganti dari konvensional ke digital. BIM merupakan salah satu pengganti gambar dua dimensi (2D) sebagai desain arsitektur dengan model tiga dimensi (3D) yang terhubung dengan komponen dan elemen bangunan yang kontekstual yang akan terangkai dalam *big data*.

Selanjutnya, sejak *Task Group UK Government* mengadopsi konsep BIM maka dikembangkan pula level pemahaman terhadap BIM ke dalam beberapa level yaitu dari level 0 hingga level 3 [40]. Standar level penerapan dan definisinya merujuk pada *British Standards Institution* dengan rincian sebagai berikut:

1. Level 0

Level ini didefinisikan sebagai CAD yang tidak dikelola atau dinyatakan ke dalam gambar 2D. Informasi yang dibagikan secara tradisional dengan kertas gambar, digital via PDF, dan sumber informasi pada dasarnya terpisah mencakup informasi dasar. Secara umum, industri konstruksi saat ini sudah mengenal dan melewati level ini.

2. Level 1

Level ini merupakan level yang saat ini sedang dikembangkan oleh banyak industri konstruksi pada level *corporate*. Pada Level 1, BIM dikembangkan dari level gambar 2D ke 3D.

3. Level 2

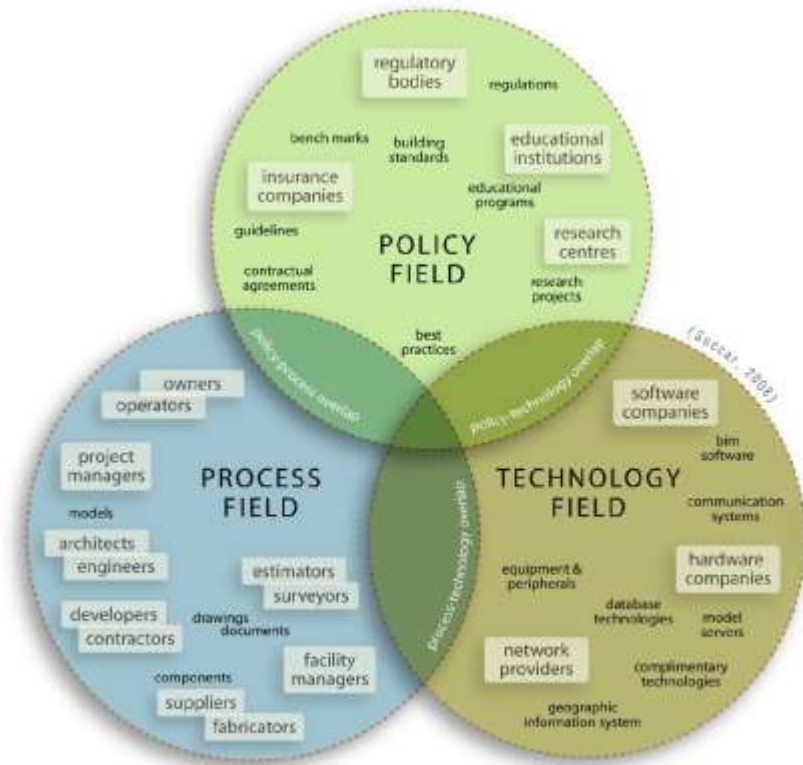
Pada level ini, industri konstruksi memulai dengan mengkolaborasikan semua pekerjaan dengan semua pihak dengan menggunakan model 3D. Sistem yang dibangun pada level ini adalah stakeholder tidak bekerja sebagai individu tetapi sebagai bagian dari kolaborasi yang bertukar informasi semua pihak yang terlibat.

4. Level 3

Level ini lebih matang dari level sebelumnya. Kolaborasi penuh antara semua pihak menggunakan satu model disimpan dalam satu storage. Semua stakeholder dapat mengakses dan mengusulkan perubahan

model sehingga mengurangi risiko dalam pengelolaan arus informasi. Konsep pada level ini disebut dengan *Open BIM*.

Namun demikian, kematangan dalam level yang disebutkan diatas tidak hanya ditentukan oleh satu faktor adanya ketersediaan teknologi. Ada faktor lain yang dibutuhkan untuk mendorong kematangan dalam penggunaan BIM, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 94



Gambar 94. Tiga Faktor Pendukung Kematangan Penggunaan BIM [41]

Pada bagian teknologi, sekelompok stakeholder yang mempunyai spesialisasi dalam mengembangkan perangkat lunak, peralatan dan sistem jaringan yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pada tahap perencanaan, perancangan, pelaksanaan konstruksi sampai dengan tahap operasional.

Pada bagian proses merupakan sekelompok stakeholder yang bertugas untuk merencanakan, merancang, membangun, menggunakan, mengelola, dan memelihara terhadap fasilitas yang ada di dalam proyek konstruksi.

Stakeholder yang dimaksud pada bagian ini meliputi owner, penyedia jasa perencanaan, jasa pengawasan, jasa manajemen konstruksi dan seluruh yang terlibat di dalam rantai pasok konstruksi.

Pada bagian kebijakan merupakan sekelompok stakeholder yang berkontribusi dalam penentuan regulasi seperti pengalihan risiko, masukan dari para penelitian sebelumnya, tata cara berkontrak ataupun peraturan perundangan yang berkaitan dengan implementasi BIM. Bagian ini memang tidak menghasilkan produk secara fisik, tetapi lebih merujuk pada *software* dalam bentuk regulasi atau *transfer of knowledge*.

VI.3. Dimensi Building Information Modeling (BIM)

Implementasi BIM dapat terbagi pada beberapa dimensi. Setiap dimensi mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Dimensi-dimensi BIM dapat dibagi sebagai berikut [35]:

1. 1D-BIM

Pada dimensi ini mengaitkan kolaborasi antara hukum, kontrak dan dokumen proyek semata.

2. 2D-BIM

Dimensi 2D adalah bentuk model konstruksi paling awal. Ini merupakan sumbu X dan sumbu Y sederhana. Model ini umumnya dibuat dengan tangan menggunakan proses manual atau melalui penggunaan gambar CAD.

3. 3D-BIM

3D-BIM atau pemodelan tiga dimensi merupakan pengembangan model proyek konstruksi ke dalam bentuk 3D atau tiga dimensi dengan alat bantu yang diperlukan sesuai dengan kebutuhan. Hal ini mengingat, bahwa setiap proyek punya keunikan, meskipun dapat dimodelkan dengan satu *software* namun cenderung kurang optimal. Sebuah model tiga dimensi dibuat dengan menggunakan sejumlah titik dalam ruang 3D yang dihubungkan dengan berbagai data geometris seperti garis, bidang datar, dan permukaan lengkung yang menghasilkan bentuk tiga dimensi utuh dari sebuah objek. Melalui pemodelan 3D-BIM terpadu, rincian pengukuran diambil langsung dari data perencana Apabila perencana membuat beberapa perubahan, perkiraan dapat diperbarui secara otomatis. Metode BIM terintegrasi dengan baik sehingga antar pemodelan 3D dan 2D dapat lebih cepat dan akurat.

4. 4D-BIM

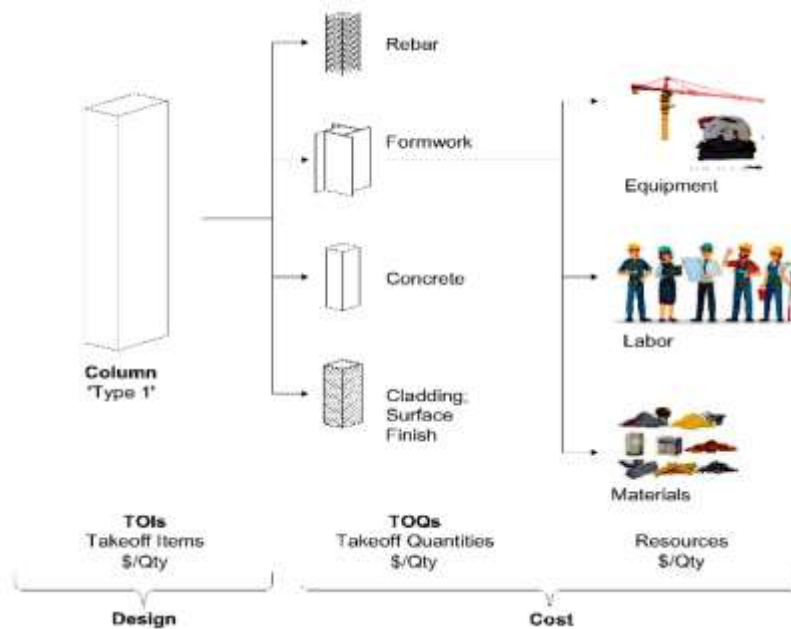
4D-BIM atau pemodelan empat dimensi merupakan pemodelan 3D dengan ditambah satu variabel yaitu penjadwalan proyek. Pada model ini, model 3D dihubungkan dengan elemen tiga dimensi dihubungkan

dengan *timeline* proyek untuk memberikan sebuah gambaran secara virtual. Selanjutnya, penjadwalan proyek dapat dilakukan dengan membandingkan status pekerjaan antara perencanaan dengan kemajuan penyelesaian di lapangan untuk semua aktivitas yang ada di lapangan.

5. 5D-BIM

5D-BIM atau pemodelan berbasis estimasi, artinya pemodelan 4D dihubungkan dengan kebutuhan informasi biaya. Metode ini telah didefinisikan ulang sebagai estimasi 5D yang dilakukan dalam bentuk *quantity take-off*. Model 5D digunakan untuk mengestimasi jumlah material konstruksi dan hubungannya dengan biaya.

Proses ini secara langsung menghubungkan pemodelan 4D dengan harga satuan untuk menghasilkan sebuah estimasi. Aliran data dari 5D-BIM dapat diperlihatkan pada Gambar 95.



Gambar 95. Aliran Data dari 5D-BIM

6. 6D-BIM

6D-BIM atau pemodelan enam dimensi merupakan pemodelan yang dihubungkan dengan penggunaan energi pada tahap beroperasionalnya proyek konstruksi. Manfaat penggunaan BIM pada enam dimensi adalah untuk memberikan gambaran penggunaan energi yang pada umumnya digunakan oleh gedung. Hal ini diharapkan adanya pengendalian terhadap energi yang digunakan. Dengan adanya pengendalian, diharapkan dapat lebih efisien.

7. 7D-BIM

7D-BIM atau pemodelan tujuh dimensi merupakan pemodelan yang berfokus pada pengelolaan fasilitas atau *facility management* (FM). Secara umum fungsi FM adalah melakukan pengelolaan dan pengendalian sarana dan prasarana yang dimiliki oleh sebuah corporate berdasarkan kondisi dan lingkungan kerja. Sehingga semua sarana dan prasarana termonitor statusnya dalam pada tahap pengelolaan, pemeliharaan dan penggantian apabila memang diperlukan.

8. 8D-BIM

Cara efektif untuk mencegah bahaya dalam industri konstruksi adalah 8D BIM. Profesional konstruksi dapat mendeteksi risiko pada tahap desain awal proyek. Oleh karena itu, salah satu cara yang paling kompeten untuk menangani bahaya adalah menghilangkannya pada sumbernya dengan mencegah kesalahan desain. Building Information Modeling membantu untuk mensimulasikan dan mengoptimalkan desain tentang studi kelayakan, perhatian pemangku kepentingan, nilai, konstruksi dan analisis keberlanjutan, efisiensi operasional dan tata letak situs, serta manajemen fasilitas. 8D mengoptimalkan desain untuk memberikan hasil terbaik pada tahap desain.

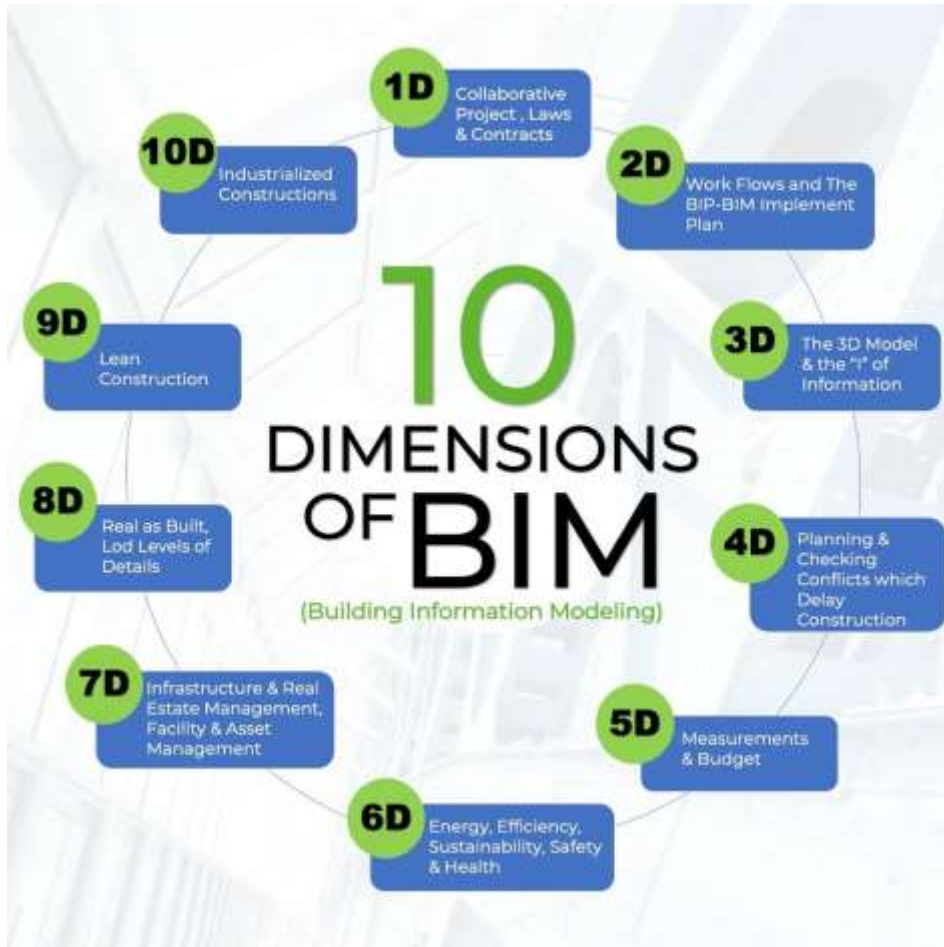
9. 9D-BIM

Pemindai optik atau laser yang digunakan untuk menangkap lingkungan dunia nyata, komponen atau bangunan. Informasi yang diperoleh diterjemahkan ke dalam model digital. Dengan penggunaan perangkat ini, maka konstruksi dapat menjadi lebih ramping

10. 10D-BIM

Perwujudan virtual ke dunia nyata dalam fabrikasi komponen konstruksi.

Secara grafis, pembagian dimensi pada BIM dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 96.



Gambar 96. Pembagian Dimensi BIM

VI.4. Perangkat Lunak Building Information Modeling (BIM)

Penggunaan BIM membutuhkan dukungan perangkat lunak. Beberapa perangkat lunak yang digunakan pada implementasi BIM dapat diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6: Perangkat Lunak Pada BIM [42]

| Nama Produk | Manufacture | Fungsi Utama |
|--------------------------------|------------------------|--|
| <i>Revit Structure</i> | <i>Autodesk</i> | <i>3D Structure Modeling and Parametric design</i> |
| <i>Revit MEP</i> | <i>Autodesk</i> | <i>3D Detailed MEP Modeling</i> |
| <i>AutoCAD MEP</i> | <i>Autodesk</i> | <i>3D MEP Modeling</i> |
| <i>AutoCAD Civil 3D</i> | <i>Autodesk</i> | <i>Site Development</i> |
| <i>Fastrak</i> | <i>CSC (UK)</i> | <i>3D Struktural Modeling</i> |
| <i>Cadpipe Commercial Pipe</i> | <i>Beck Technology</i> | <i>3D conceptual modeling with real-time cost estimating</i> |

| Nama Produk | Manufacture | Fungsi Utama |
|---|--|---|
| <i>AEC Design Group 3D Pipe Modeling Dprofiler</i> | | |
| <i>Bentley BIM Suite (MicroStation, Bentley Architecture, Structure, Mechanical, Electrical, Geberative Design)</i> | <i>Bentley Systems</i> | <i>3D Architectural, Structural, Mechanical, Electrical, and Generative Components Modeling</i> |
| <i>SDS/2</i> | <i>Design Data</i> | <i>3D Detailed Structural Modeling</i> |
| <i>Fabrication for AutoCAD MEP</i> | <i>East Coast CAD/CAM 3D Detailed MEP Modeling</i> | - |
| <i>Digital Project</i> | <i>Gehry Technology CATIA based BIM System for Architectural, Design, Enginnering, and Construction Modeling</i> | - |
| <i>Digital Project MEP System Routing</i> | <i>Genhry Technologies MEP Design</i> | - |
| <i>ArchiCAD</i> | <i>Graphisoft</i> | <i>3D Architectural Modeling</i> |
| <i>MEP Modeler</i> | <i>Graphisoft</i> | <i>3D MEP Modeling</i> |
| <i>HydraCAD</i> | <i>Hydratec</i> | <i>3D Fire Sprinkler Design and Modeling</i> |
| <i>AutoSPRINK VR</i> | <i>M.E.P. CAD</i> | <i>3D Fire Sprinkler Design and Modeling</i> |
| <i>FireCad</i> | <i>Mc4 Software</i> | <i>Fire Piping Network Design and Modeling</i> |
| <i>CAD-Duct</i> | <i>Micro Application</i> | <i>3D Detailed MEP Modeling</i> |
| <i>Vectorworks Designer</i> | <i>Nemetschek</i> | <i>3D Architectural Modeling</i> |
| <i>Duct Designer 3D, PipeDesigner 3D</i> | <i>QuickPenInternational</i> | <i>3D Detailed MEP Modeling</i> |
| <i>RISA</i> | <i>RISA Technologies Full suite of 2D and 3D Structural Design Applications</i> | - |
| <i>Tekla Structures</i> | <i>Tekla</i> | <i>3D Detailed Structural Modeling</i> |
| <i>Affinity</i> | <i>Trelligence</i> | <i>3D Model Application for early concept design</i> |

VI.5. Tantangan Implementasi *Building Information Modeling (BIM)* Bagi Industri Konstruksi

Penggunaan BIM di Indonesia telah diatur dalam Permen PUPR Nomor 22/PRT/M/2018. Dalam peraturan tersebut telah menetapkan penggunaan BIM wajib diterapkan pada bangunan gedung negara tidak sederhana dengan kriteria luas diatas 2.000 m² dan di atas dua lantai. Dalam bentuk gambar yang lain, perkembangan dan konsep implementasi BIM dibagi menjadi beberapa dimensi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 91.

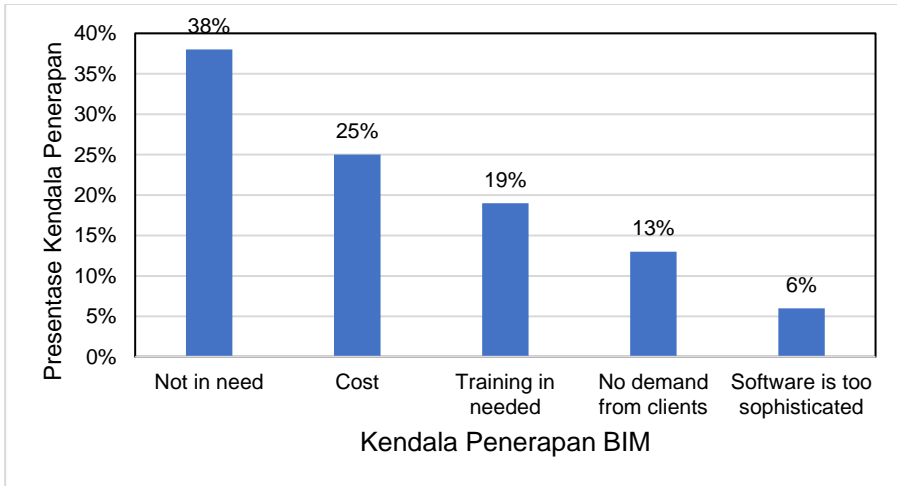
Dengan adanya peraturan tersebut, maka pemerintah juga telah mendorong penggunaan BIM ke dalam industri konstruksi khususnya di bagian hilirnya. Kontraktor yang memiliki terbiasa menggunakan BIM berpotensi mempunyai kemampuan untuk mengerjakan proyek konstruksi yang kompleks.

Pada sisi yang lain, BIM memberikan banyak manfaat. Beberapa manfaat BIM meliputi bahwa BIM:

1. Sumber informasi terpercaya yang dapat diakses pada daur hidup konstruksi yang sedang berlangsung
2. Meningkatkan akurasi dan kualitas.
3. Meningkatkan nilai produktivitas.
4. Menjadi dasar untuk pengambilan keputusan.
5. Dapat meninjau perubahan selama proses desain dan proses konstruksi.
6. Berpotensi mengurangi terjadinya pekerjaan tambah kurang yang berlebihan.
7. Memperpendek waktu konstruksi.
8. Mengurangi *errors* dan kelalaian.
9. Memberikan kemudahan pada masa operasional dan perawatan
10. Memberikan informasi yang akurat dalam pembiayaan konstruksi.

Kondisi penggunaan BIM di Indonesia, sebagian besar tingkat pemakaian BIM pada perusahaan konstruksi di Indonesia masih berada pada level 1. *Building information modeling* digunakan untuk pekerjaan desain konseptual dengan pemodelan 3D. Data dan informasi proyek dikolaborasikan dalam bentuk elektronik. Namun pertukaran data antar lintas disiplin belum terintegrasi dan terstandarisasi.

Penghalang utama adopsi BIM di Indonesia adalah para pelaku konstruksi tidak terlalu membutuhkan BIM saat ini. Salah satu penyebabnya adalah dokumen persetujuan masih menggunakan gambar konvensional 2D. Kendala penerapan BIM di Indonesia dapat diperlihatkan pada Gambar 97.



Gambar 97. Kendala Penerapan BIM di Indonesia [43]

BAB VII

METODE PERANCANGAN ARSITEKTUR DIGITAL

VII.1. Metode Perancangan Arsitektur

(Benediktus Yosef Arya Wastunim)

Terdapat beberapa fase perjalanan evolusi dari perancangan dari yang selama ini ada yaitu : [44]

1. *Craftmanship*

Adalah sebuah fase evolusi perancangan dimana memanfaatkan dan mengutamakan kreativitas atau kepekaan seni dari si perancang semata. Sehingga hasil perancangan seolah-olah sama seperti sebuah karya seni yang dihasilkan oleh seorang seniman. Pelakunya adalah mereka yang memang sudah memiliki skill untuk melakukan perancangan secara indah dan menawan. Proses nya akan berjalan terus menerus dan biasanya hasil akhir dari sebuah perancangan pada fase ini adalah hasil penyempurnaan dari perancang sebelumnya. Bangunan arsitektur yang merupakan hasil dari fase ini biasanya nampak dengan adanya ornamen dan hiasan yang penuh.

2. *Draughtmanship*

Merupakan sebuah fase dimana sudah menggunakan gambar sebagai media perancangannya. Dimana juga ditemukan sudah melalui sebuah proses pengukuran. Serta sudah memiliki bentuk yang lebih jelas dibanding fase *craftmanship*. Dengan adanya dimensi yang jelas hasil dari proses perancangan fase ini dapat kembali di produksi kembali. Pada fase ini proses produksi dibagi-bagi agar lebih efisien dan jelas dalam pengerjaannya. Waktu pengerjaannya juga tidak terlalu lama seperti fase sebelumnya dan tepat guna. Dalam proses pelaksanaannya melibatkan cukup banyak orang atau pekerja. Pelaksanaan adalah hasil dari perwujudan proses perencanaan yang dilakukan sebelumnya.

3. *Design Method*

Fase dimana perancangan sudah menggunakan metode-metode yang telah ditetapkan dan menjadi patokan dalam pelaksanaannya. Terbagi menjadi dua metode yaitu :

- a) Metode Perancangan Tradisional (*Blackbox*)

Metode perancangan dimana ide muncul secara tiba-tiba dari si perancang dan hanya ia sendiri yang dapat menjelaskannya. Munculnya inspirasi bisa datang dari mana saja dan kondisi apa saja. Sehingga seperti tidak jelas. Bahkan bisa muncul dalam bentuk firasat atau wangsit. Oleh karena itu sukar untuk dapat dijelaskan secara terperinci. Proses munculnya kreativitas pada metode ini tidak dapat terlihat dengan jelas. Dalam memproduksi karya menggunakan metode ini tergantung mood atau imajinasi dari si perancang. Hasil karya arsitektur dengan metode ini sulit untuk dikritik karena ketidakjelasan sumber dan polanya.

b) Metode Perancangan Rasional (*Glassbox*)

Berbalikan dengan metode tradisional *blackbox*, metode ini lebih mementingkan dan mengedepankan rasionalitas dari si perancang. Hasil karya arsitektur dari metode ini merupakan hasil analisis yang sangat sistematis dan terperinci dengan jelas. Bahkan terkadang terdapat proses pengujian sehingga ada proses validasi yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan. Perbedaan lainnya bahwa dalam metode *glassbox* ini perancang tidak membangun hasil rancangannya sendiri akan tetapi dibangun oleh pihak lain.

Dalam merancang karya arsitektur, selalu melalui sebuah tahapan yang sistematis. Setiap keputusan yang dibuat selama proses desain berdampak pada solusi akhir dalam karya arsitektur. Proses dari pengembangan hasil akhir perlu ditingkatkan dengan menerapkan metode yang tepat. Metode yang dipertimbangkan mencakup[45]:

1. the brainstorming method

pada tahapan ini penggalian ide dilakukan dengan mendapatkan sumber gagasan dari berbagai pihak.

2. the symbol method

dalam perancangan, seorang arsitek menetapkan tema dan tema tersebut diwujudkan dalam simbol dalam karya arsitektur. Simbol dalam arsitektur tidak selalu dalam bentuk wujud tanda ornamental, namun dalam ekspresi arsitektur memunculkan tema tersebut sebagai simbol pesan yang ingin disampaikan arsitek

3. the initial target method

metode ini difokuskan pada merancang proyek sedemikian rupa sehingga dimulai dari satu objek saja. Pikiran akan dipimpin melalui tahap-tahap di mana situasi baru yang sebelumnya tidak diketahui akan muncul. Dengan menggunakan metode ini, proyek akan menampilkan diri, tumbuh seperti tanaman, dan tidak meniru karya lain.

4. the meta-observer method

pada metode ini seseorang arsitek akan mengamati diri sendiri selama proses kreatif dengan mengambil langkah menjauh dan mengamati

dirinya sebagai seseorang yang melakukan tindakan sebagai narator dalam cerita atau film yang dibangun dalam desain arsitekturnya. Ini akan memungkinkan si arsitek melakukan penarikan kesimpulan tentang kapan keputusan itu benar dan kapan tidak. Hanya si arsitek sendiri yang dapat membuat dan mengambil keputusan untuk perubahan itu sendiri.

5. the discretization method

metode ini berfokus pada pemecahan proyek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, sehingga si arsitek akan secara sadar membuat perubahan pada bagian tertentu. Desain keseluruhan tidak akan mengganggu arsitek, karena kesulitan-kesulitan yang besar telah dipecah menjadi masalah kecil yang mudah diselesaikan.

6. the sign method

dalam metode ini, arsitek diminta mengetahui tanda sebagai suatu proses membaca isi yang terkandung di dalamnya, menafsirkannya, membaca pesan yang disampaikan oleh tanda tersebut. Arsitektur harus dilengkapi dengan fitur-fitur yang akan memudahkan interpretasinya, yaitu membaca tanda-tandanya. Membaca tanda-tanda dalam pengalaman langsung mendukung interpretasi, yang dilakukan dengan lancar.

7. the dwelling method

metode ini menggambarkan tempat tinggal sebagai awal dari kebutuhan akan penggunaan karya arsitektur. Hal tersebut terungkap dalam keberadaan di ruang yang diciptakan oleh seorang arsitek. Tempat tinggal terbentuk jika seseorang membuat keputusan tentang suatu tempat. Untuk yang diberikan tempat, seseorang akan memilih objek yang akan merangsang mereka untuk bertindak. Dalam hunian, sebuah objek adalah sarana untuk memenuhi suatu kebutuhan. Tempat tinggal tidak boleh sama di tempat yang berbeda; tidak bisa diulang, disalin, dibatalkan, atau dimulai ulang, Maka dengan pemikiran dari metode ini, seorang arsitek selalu akan mendesain secara spesifik, khas dan unik tidak karyanya.

Terdapat beberapa aspek yang ada pada proses perancangan seorang arsitek yaitu meliputi: [46]

1. Gagasan atau Ide Perancangan

Hasil dari proses seorang perancang atau arsitek dalam mengartikan atau menerjemahkan sebuah ruang sehingga nantinya akan mendapatkan pendefinisian dalam penyelesaian sebuah masalah dalam perancangan.

2. Tema Perancangan

Adalah hasil dari gagasan yang sudah melalui beberapa validasi proses. Merupakan pertemuan antara gagasan yang ditemukan oleh seorang arsitek dengan cara memandang si arsitek itu sendiri.

3. **Penyusunan Konsep Perancangan**
Biasanya disajikan dalam bentuk tulisan dan juga sketsa ide. Merupakan perwujudan dari pemahaman tema perancangan oleh seorang arsitek dengan berlandaskan pada gagasan yang telah dulu ditemukan.
4. **Masalah Dalam Perancangan**
Merupakan tema dan gagasan yang dikemukakan dengan sebuah batasan ilmiah yang jelas dan sangat ketat.
5. **Preseden**
Adalah karya-karya arsitektur yang dijadikan sebagai acuan atau contoh dalam merumuskan dan menyusun proses perancangan karya arsitektur.
6. **Asas Rancang**
Dalam proses perancangan membutuhkan sebuah landasan teori yang akan dijadikan dasar dalam proses perancangan sehingga akan tetap bersifat ilmiah.

VII.2. Metode Perancangan Arsitektur Digital

(Andrey Caesar Effendi & Adolfo Freitas Bere)

Metode Perancangan arsitektur di era digital pasti akan berubah dan menyempurnakan dari metode desain sebelumnya. Digital tidak semata-mata memindahkan cara menggambar dari manual ke komputer. Pemikiran tersebut berlaku di awal munculnya software CAD untuk menggambar karya arsitek menjadi gambar komputer yang rapi dan presisi. Dalam langkah berikutnya muncul software yang membantu dengan perhitungan-perhitungan parsial. Secara terpisah software diciptakan namun dapat mendukung desain secara optimal. Pada era selanjutnya arsitektur digital membantu arsitek untuk memudahkan perhitungan dan desain parametrik untuk karya yang lebih kompleks dengan program software yang sederhana dan memudahkan hasil yang akurat secara cepat [45].

Dalam Perkembangan Perancangan Arsitektur, terkait dengan penggunaan perangkat digital, maka perubahan dalam metode perancangan arsitektur menjadi satu kenyataan yang tak terelakkan.

Dalam desain parametrik cukup berkaitan dengan matematika dalam artian memiliki kaitan yang erat dengan algoritma. Karena berkaitan erat dengan algoritma, desain parametrik pada masa modern ini yang berbasis digital dengan menggunakan perangkat lunak, memungkinkan adanya metode pemecahan masalah tertentu dan dapat menemukan beberapa pemecahan masalah yang kompleks dengan sangat baik. Sehingga sebagai sebuah

metode desain, desain parametrik memungkinkan untuk mengeksplorasi banyak variasi model dari model parametrik yang sama.

Berdasarkan prinsip-prinsip desain parametrik tersebut memungkinkan arsitek untuk mempertimbangkan pilihan desain yang berbeda dari waktu ke waktu seperti kembali ke alternatif desain sebelumnya dan menyempurnakan desain sedikit demi sedikit selama proses desain berlangsung. Dengan kemampuan ini, pemodelan parametrik juga dapat memfasilitasi perluasan area pencarian eksplorasi desain dari berbagai solusi desain alternatif secara otomatis [47].

Di awal abad ke 21, beberapa arsitek-arsitek terkenal dunia seperti Frank Gehry, Zaha Hadid, Patrick Schumacher mulai memperkenalkan penggunaan desain parametrik dalam proses desain arsitektur yang kemudian banyak diikuti oleh arsitek – arsitek lainnya seperti Nicholas Grimshaw, Norman Foster, Mark Burry, dan lain-lain. Proses desain parametrik tersebut di lakukan dengan menggunakan parameter-parameter tertentu yang dimasukkan ke dalam suatu perangkat lunak komputer sehingga menghasilkan sejumlah variasi bentuk geometri yang lebih kompleks dari bentuk-bentuk sebelumnya, seperti gambar di bawah ini.

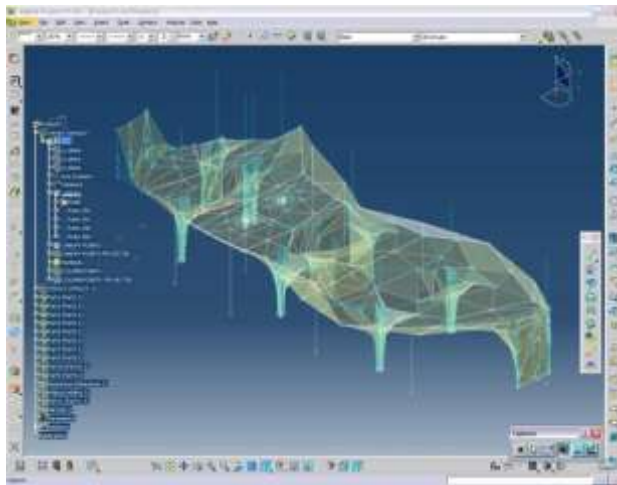


Gambar 98. Walt Disney Concert Hall – Frank Gehry



Gambar 99. Galaxy SOHO by Zaha Hadid Architects

Pada masa modern ini, perancangan desain parametrik sudah dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak komputer secara digital. Beberapa perangkat lunak yang cukup terkenal dan sering digunakan oleh banyak praktisi arsitek diantaranya adalah Grasshopper, Rhino, Solidworks, yang dikembangkan oleh beberapa developer software, tetapi juga ada perangkat lunak yang dikembangkan sendiri oleh kantor arsitek seperti Gehry Partners yang merupakan kantor konsultan dari Frank Gehry yang mengembangkan Catia sebagai perangkat lunak dari pemodelan pesawat terbang tetapi dilakukan penyesuaian dan digunakan untuk desain arsitektur (lihat gambar 100).



Gambar 100. User interface perangkat lunak Catia

Selanjutnya dalam perkembangan arsitektur digital memunculkan cara mengembangkan desain arsitektur dalam satu software yang mampu mengolah dan menyajikan hasil rancangan yang kompleks dalam satu perangkat saja. Dalam kerangka software yang satu namun dapat terintegrasi dalam berbagai kajian dan penyelesaian teknis, maka kolaborasi dalam desain arsitektur dapat dilakukan dengan cepat [48].

Di sisi lain, industri konstruksi juga mulai menghadapi pergeseran paradigma yang cukup signifikan dari masa-masa sebelumnya ke

- (i) peningkatan; produktivitas, efisiensi, nilai infrastruktur, kualitas dan keberlanjutan,

- (ii) pengurangan; biaya siklus hidup, waktu tunggu dan duplikasi, melalui kolaborasi dan komunikasi yang efektif dari pemangku kepentingan dalam proyek konstruksi.

Kemajuan teknologi komputer pada saat ini dengan menggunakan perangkat lunak Building Information Modelling (BIM), memungkinkan seorang mendesain bangunan dengan simulasi berbagai macam kinerja bangunan secara terukur dan terhubung satu sama lain. Kesalahan desain pada saat pelaksanaan pembangunan dapat diprediksi dari awal dan dapat ditekan tingkat kesalahannya seminimal mungkin. BIM adalah representasi digital dari karakter fisik dan fungsional sebuah bangunan yang juga disebut sebagai objek BIM. Oleh karena itu, ia berisi semua informasi tentang elemen bangunan yang berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan selama kurun waktu siklus hidup bangunan dari konsep hingga pembongkaran.

Menurut Tim BIM PUPR, 2018, terdapat tiga karakter yang dimiliki oleh BIM [49], yaitu: yang pertama adalah, BIM merupakan pendekatan baru di era modern ini yang melibatkan proses perancangan dan pembuatan aset bangunan dengan menggunakan representasi 3D dari atribut fisik dan fungsional. Karakter kedua yang terdapat dalam BIM adalah proses pembuatan data set digital yang membentuk model 3D dan informasi tentang model tersebut dalam lingkungan kolaboratif yang disebut *Common Data Environment* (CDE). Ketiga, BIM memiliki prinsip bahwa tidak hanya sekedar proses singular atau pembuatan model 3D dengan menggunakan komputer, akan tetapi merupakan proses simultan dari pembuatan model dan data serta kolaborasi antara para pelaku secara bersamaan mulai dari perencanaan, perancangan, fabrikasi, hingga pembangunan dan pemeliharaan.

Dalam sebuah proyek, kolaborasi antar pelaku atau stakeholder (*owner, architect, contractor, engineer*) sangat dibutuhkan untuk mencapai hasil baik dan maksimal dari suatu proyek. Dengan menggunakan BIM, para stakeholder dapat saling bekerjasama dengan lebih efektif, bertukar informasi secara cepat (baik data dan geometri), sehingga dapat mengefisienkan proses pembangunan atau konstruksi, meminimalisir kesalahan dan mempercepat proses konstruksi, serta mengeluarkan biaya yang lebih murah. Selain itu, penggunaan BIM secara menyeluruh dapat menjadikan proses manajemen lebih mudah diakses dan dilaksanakan karena berasal dari 1 model informasi sehingga dapat meminimalisir konflik informasi diantara berbagai pihak. Oleh karena itu, penggunaan BIM tidak hanya berfokus pada model 3 dimensi seperti kebanyakan perangkat lunak lainnya,

tetapi lebih kepada bagaimana informasi yang ada dikembangkan, dikelola, dan dibagi melalui kolaborasi yang lebih baik.

Keuntungan yang kita dapatkan apabila menggunakan BIM adalah [50]:

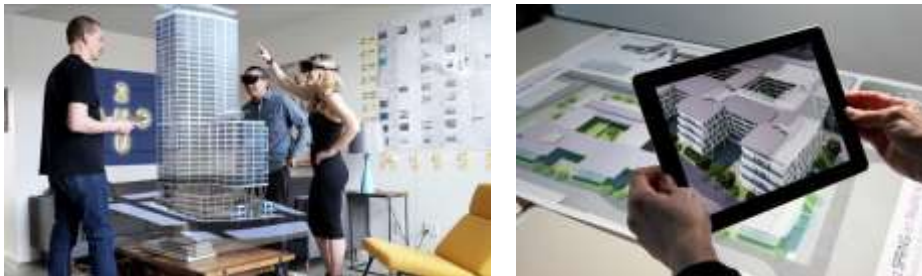
- meminimalisir desain siklus hidup dengan meningkatkan kolaborasi para stakeholder (pemilik, konsultan dan, kontraktor)
- akurasi dan kualitas yang tinggi dalam dokumentasi dari proses konstruksi
- dapat digunakan dalam siklus hidup seluruh bangunan, termasuk fasilitas dan pemeliharaan
- memperkecil kemungkinan konflik
- pemotongan biaya pada suatu proyek dan meminimalisir limbah konstruksi
- meningkatkan manajemen konstruksi

VII.3. Virtual Reality Dan Augmented Reality Dalam Desain Arsitektur

(Andrey Caesar Effendi)

Pengembangan desain arsitektur tidak terbatas pada perangkat komputer, namun saat ini berkembang pada penggunaan gadget seperti smartphone. Augmented reality dalam proyek konstruksi dan arsitektur melibatkan penempatan model 3D dari desain yang diusulkan ke ruang yang ada dengan menggunakan perangkat seluler dan model 3D. Augmented reality telah digunakan dalam permainan video dan hiburan media untuk jangka waktu yang telah lama untuk menunjukkan gambar nyata yang berinteraksi dengan gambar yang dibuat dari grafik komputer. Pemanfaatannya matang dalam arsitektur dan industri konstruksi ketika kontraktor mulai menggunakannya untuk menunjukkan kepada klien desain yang diusulkan dalam konteks kondisi yang ada menggunakan gadget di lokasi konstruksi [51]. Augmented reality memiliki banyak kegunaan desain dan konstruksi di luar visualisasi juga. Ini dapat digunakan untuk analisis desain untuk memilih benturan dengan menelusuri model Anda yang sudah selesai secara virtual. Ini sesuai tinjauan konstruksi yang dapat mengizinkan arsitek dan kontraktor berkolaborasi pada perubahan yang harus terjadi antara desain dan konstruksi, karena masalah konstruksi. Bahkan dapat membantu dengan prefabrikasi komponen bangunan. Bahkan Augmented Reality juga memungkinkan perencana dan insinyur kota untuk memvisualisasikan bangunan yang hancur akibat gempa.

Walaupun masih perlu adanya perbaikan yang perlu dilakukan pada teknologi virtual reality, sebelum sepenuhnya menggantikan metode perancangan arsitektur tradisional, namun hal-hal seperti kecepatan, grafik, dan kemampuan untuk membiarkan desainer mengubah skema secara real time, semuanya akan sangat memengaruhi kemampuan arsitek untuk menggunakan VR secara efektif. Teknologi ini telah mempengaruhi cara arsitek berbagi pekerjaan mereka dengan klien, serta cara yang secara akurat membayangkan proyek sendiri sebelum proyek terbangun dan sementara para ahli sedang bekerja, seperti gambar berikut ini. [24].



Gambar 101. Virtual Reality dan Augmented Reality

BAB VIII

PENUTUP

Pada pengembangan teknologi digital, memang akan menimbulkan dampak yang besar dalam perancangan arsitektur. Cepat atau lambat penyesuaian atau perubahan metode perancangan arsitektur akan terjadi secara revolusioner. Perubahan yang pertama terjadi saat menggambar manual menjadi menggambar dengan CAD belum menimbulkan perubahan metode perancangan arsitektur secara signifikan. Munculnya BIM, penggunaan Robot, Kecerdasan artifisial (AI), penggunaan 3D printer untuk membangun bangunan, merupakan pertanda untuk sefera akan muncul perubahan besar tersebut.

Masih banyak teknologi Digital dan software yang belum terungkap dalam buku ini, karena jumlahnya yang sangat banyak dan terus berkembang/bertambah. Namun setidaknya, penelitian literatur yang dilakukan team penulis ini diharapkan menjadi sumbang saran dan dapat membuka wawasan, bahwa teknologi akan mengubah kebudayaan manusia seperti yang pernah disampaikan oleh alm. Rm. Dipl.-Ing. Y.B. Mangunwijaya. Selamat memasuki era Digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Mittman, *A brief history of the computer*, *Chess Ski. Man Mach.*, pp. 1–33, 1977, doi: 10.1007/978-3-662-06239-5_1.
- [2] Mollie Claypool, *The Digital in Architecture: Then, Now and in the Future*. <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>.
- [3] Yu-Tung Liu, *Defining Digital Architecture: 2001 FEIDAD Award*. Basel: Birkhauser, 2002.
- [4] J. A. LaGro, *Site Analysis A Contextual Approach to Sustainable Land Planning and Site Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2001.
- [5] E. T. White, *Site Analysis*. Tucson: Architectural Media, 1983.
- [6] *Akibat Dari Adanya Angin Muson Barat dan Angin Muson Timur*. <https://www.referensibebas.com/2017/01/akibat-dari-adanya-angin-muson-barat.html>.
- [7] *Perbedaan Angin Darat Dan Angin Laut*, 2021. <https://cilacapklik.com/2020/04/angin-darat-dan-angin-laut.html>.
- [8] *Angin-gunung-angin-lembah*. <https://www.4muda.com/angin-lokal/agin-gunung-angin-lembah/>.
- [9] K. P. Latief, *Gerak Semu Matahari, Penyebab Cuaca Panas Ekstrim di Indonesia*, 2019. <https://www.harapanrakyat.com/2019/10/gerak-semu-matahari/>.
- [10] M. DeKay and G. Z. Brown, *Sun Wind and Light: Architectural Design Strategies*, Third edit. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [11] N. Lechner, *Heating, Cooling, Lighting, Sustainable Methods for Architects*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [12] O. H. Koenigsberger, T. G. Ingersoll, A. Mayhew, and S. V. Szokolay, *Manual of Tropical Housing and Building. Part one: Climatic design*. London and New York: Longman, 1975.
- [13] Syam'ani, *Membangun Basisdata Spasial Menggunakan ArcGIS 10.3*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press, 2016.
- [14] T. S. Boutet, *Controlling Air Movement*. New York: McGraw-Hill, 1987.
- [15] L. M. F. Purwanto, *Einfluss des feucht-tropischen Klimas auf die niederländischen Kolonialbauten in Semarang*, Universitaet Stuttgart, 2004.
- [16] L. Bellia, *An Overview on Solar Shading Systems for Buildings*. Elsevier, 2014.
- [17] L. L. Doelle, *Akustik Lingkungan (terjemahan)*. jakarta: Penerbit Erlangga, 1993.
- [18] M. Singh, *Noise Control in Buildings: Fundamental and Applications*. New Delhi: Narosa Publishing House, 2014.
- [19] L. M. F. Purwanto, *Fisika Bangunan*. Semarang: CV. Tigamedia Pratama, 2017
- [20] H. Susanto, *Prinsip-prinsip Akustik dalam Arsitektur*. Yogyakarta: PT

- Kanisius, 2015.
- [21] P. Satwiko, *Fisika Bangunan*. Penerbit Andy, Yogyakarta, 2008.
- [22] R. M. Poling, *A New Method for Calculating Luminous Flux Using High Dynamic Range Imaging and Its Applications*. Faculty of the University of Kansas, 2018.
- [23] A. K. R. Choudhury, *1 - Characteristics of light sources*, in *Principles of Colour and Appearance Measurement*, A. K. R. Choudhury, Ed. Woodhead Publishing, 2014, pp. 1–52.
- [24] S. V. Szokolay, *Environmental Science Handbook*. New York: Construction Press, 1980.
- [25] C. A. Bouroussis, D. T. Nikolaou, and F. V Topalis, *Test report on the validation of Relux Desktop 2019 against CIE 171:2006*, Light. Lab. Natl. Tech. Univ. Athens, no. May, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.14488.24320.
- [26] Dialux, *DIALux evo manual A collection of all wiki articles*, p. 100, 2016, [Online]. Available: www.dial.de.
- [27] F. Allard, *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook BEST (Buildings Energy and Solar Technology)*. London: Earthscan Publications Ltd., 1998.
- [28] G. Lippsmeier, *Tropenbau: buildings in the tropics*. München: Verlag Georg D.W. Callwey, 1969.
- [29] W. Frank, *Raumklima und thermische Behaglichkeit*: New York: Ernst Publisher, 1975.
- [30] P.O. Fanger, *Thermal Comfort*, Copenhagen, Danish Technical Press, 1970
- [31] D. Schodek, *Structures*. New York: Pearson Publisher, 2013.
- [32] W. Jabi, *Parametric Design for Architecture*. London: Laurence King Publishing, 2013.
- [33] D. Bachman, *Grasshopper: Visual Scripting for Rhinoceros 3D*. South Norwalk: Industrial Press, Inc, 2017.
- [34] Abanda, F.H., Vidalakis, C., Oti, A.H., dan Tah, J.H.M. (2015): *A critical analysis of building information modelling systems used in construction projects*, *Advances in Engineering Software*, 90, 183 – 201.
- [35] Pusdiklat SDA dan Konstruksi, *Prinsip dasar sistem teknologi BIM dan implementasinya di Indonesia*, Pelatihan Perencanaan Konstruksi Dengan Sistem Teknologi Building Information Modeling (BIM), 2018
- [36] Hardin, B dan McCool, D., *BIM and construction management*, Indiana, John Wiley and Sons, Inc., 2015
- [37] Lu, W., Lai, C.C., dan Tse, T., *BIM and big data for construction cost management*, Oxon, Routledge, 2019.
- [38] Eynon, J., *Construction managers BIM handbook*, United Kingdom, John Wiley and Sons Ltd., 2016
- [39] Jones, S. A., *National BIM standard – United States*, Asia-pacific Economic Cooperation Workshop, 2013
- [40] Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., dan Teicholz, P., *BIM handbook 3rd edition: a guide to building information modeling for owners, designers,*

engineers, contractors, and facility managers, New Jersey, John Wiley and Sons, Inc., 2018

- [41] Succar, B., *Building Information Modelling Maturity Matrix*, 2020.: https://www.researchgate.net/publication/225088901_Building_Information_Modelling_Maturity_Matrix
- [42] Reinhart, J. (2009): The contractor's guide to BIM second edition, 24 – 25 in Hergunsel, M.F. (2011): Benefit of building information modeling for construction managers and BIM based scheduling.: https://web.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-042011-135239/unrestricted/MHergunsel_Thesis_BIM.pdf.
- [43] Hatmoko, J. U. D., Fundra, Y., Wibowo, M. A., dan Zhabrinna. (2019): Investigating building information modeling (BIM) in Indonesia construction industry. *MATEC Web of Conferences*, 258, 02006
- [44] A. Menges, "Integrative Design Methods in Architecture," no. 4, pp. 13–22, 2011.
- [45] B. Kolarevic, *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. 2004.
- [46] R. Laing, *Digital Participation and Collaboration in Architectural Design*. Oxfordshire: Routledge publisher, 2019.
- [47] R. Aish and R. Woodbury, *Multi-level interaction in parametric design*, Lect. Notes Comput. Sci., vol. 3638, no. August, pp. 151–162, 2005, doi: 10.1007/11536482_13.
- [48] R. Laing, *Digital Participation and Collaboration in Architectural Design*. Oxfordshire: Routledge publisher, 2019.
- [49] BIM PUPR, "*Pengenalan Building Information Modeling (BIM)*", p. Front Page, [Online]. Available: <http://bim.pu.go.id/>.
- [50] B. W. S. Rayendra, *Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling Untuk Pra-Konstruksi*, Simp. Nas. RAPI XIII, pp. 14–21, 2014.
- [51] N. Markovic, *Augmented Reality in Landscape Architecture*. Oppenweiler: Akademiker Verlag, 2013

BIO DATA PENULIS



L.M.F. Purwanto, Profesor pada Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata. Menempuh pendidikan s1 di Fakultas Teknik Jurusan Arsitektur Universitas Katolik Soegijapranata, S2 di Magister Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro dan S3 di Institut für Baustofflehre, Bauphysik, Gebäudetechnologie und Entwerfen, Fakultät 1 Architektur und Stadtplanung Universität Stuttgart dan sebagai visiting Professor di Technische Universität Darmstadt



Hermawan, lahir di Semarang/15 Januari 1975. Menempuh studi S1 di teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata, S2 di Magister teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan S3 di Institut Teknologi Bandung bidang Manajemen & Rekayasa Konstruksi. Saat ini sebagai Dosen di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital dan Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata



Mufidah, lahir di Malang tanggal 21 September 1972 meraih gelar Sarjana Teknik di Universitas Brawijaya Malang pada tahun 1996 dan mulai tahun 1998 hingga sekarang berprofesi sebagai dosen di Program Studi Arsitektur, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Pada tahun 2000 melanjutkan studi pascasarjana di Magister Teknik, Arsitektur Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada tahun 2020 mulai melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital di Unika Soegijapranata, Semarang.



Tri Susetyo Andadari, lahir di Salatiga, 16 September 1972. Menjalani pendidikan tinggi dengan lulus Diploma III Teknik Sipil Universitas Diponegoro tahun 1993, kemudian lulus Program Sarjana Teknik Arsitektur Universitas Pandanaran tahun 2017 dan lulus Program Pasca Sarjana Magister Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro tahun 2019. Saat ini sedang menjalani pendidikan pada Program Studi Doktor Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata sejak tahun 2020.



Onie D. Sanitha, biasa dipanggil "Onie". Praktisi Arsitektur, Penyanyi & Entrepreneur yang menghabiskan hampir sebagian besar waktu hidupnya untuk belajar. Meraih gelar S1 Arsitektur pada 2013 dan S2 Arsitektur pada 2014 di Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pada tahun 2020 melanjutkan studi S3 di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



Rizka Tri Arinta lahir di Semarang tanggal 21 Desember 1991 meraih gelar Sarjana Desain Komunikasi Visual di Unika Soegijapranata di tahun 2014, kemudian melanjutkan studi pascasarjana di Magister Arsitektur Universitas Diponegoro ditahun 2016 dan mulai berprofesi sebagai dosen di tahun 2019. Pada tahun 2020 mulai melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.



Gervasius Herry Purwoko. lahir di Madiun 19 Juni 1961, pada tahun 1986 meraih gelar S1 Arsitektur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, kemudian melanjutkan studi Pascasarjana magister Teknik Arsitektur ITB Bandung pada tahun 1996. Mengajar di Universitas Ciputra Surabaya sejak tahun 2013 sampai dengan sekarang, dan mulai melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang



Choirul Amin. lahir di kendal 5 november 1980, pada tahun 1998 - 2003 meraih gelar S1 Arsitektur di undip semarang, kemudian melanjutkan studi Pascasarjana magister arsitektur di undip semarang pada tahun 2004 - 2009. Mengajar di Untag semarang sejak tahun 2016 sampai dengan sekarang, pada tahun 2020, dan mulai melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang



Y.A. Widriyakara Setiadi, lahir di Semarang 13 Juli 1967, pada tahun 1992 meraih gelar S1 Arsitektur di Unika Soegijapranata Semarang, kemudian melanjutkan studi Pascasarjana Magister Teknik Lingkungan ITATS Surabaya pada tahun 2012. Mengajar di Universitas Katolik Darma Cendika, Surabaya. Mulai melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang



Don Ara Kian, lahir di Sandosi 27 September 1974, menempuh S1 di Teknik Arsitektur pada Universitas Katolik Widya Mandira Kupang dan Magister Teknik Arsitektur, Perancangan Kota pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini sebagai staf pengajar pada Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Widya Mandira Kupang. Sekarang studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata



Stephanus Evert Indrawan, kelahiran Banjarmasin 18 September 1979. Lulusan Sarjana Arsitektur dari Universitas Kristen Petra Surabaya dan melanjutkan studi Master Architektuur und Staedtebau di Fachhochschule Potsdam Germany. Selain sebagai praktisi juga aktif mengajar sebagai dosen tetap di Universitas Ciputra sejak tahun 2013. Saat ini studi di Program Studi Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



Wawan Destiawan, lahir di Pati 19 Desember 1992, meraih gelar S1 Arsitektur pada tahun 2014 di Universitas 17 Agustus 1945 Semarang, kemudian melanjutkan Pascasarjana Magister Teknik Arsitektur di Universitas Diponegoro Semarang. Aktif mengajar di Universitas 17 Agustus 1945 Semarang. Dan sekarang melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata



Yoseph Liem, terlahir di Soe- Timor Tengah Selatan NTT tanggal 23 Oktober 1972 menamatkan pendidikan bidang Arsitektur dari Unika Widya Mandira Kupang tahun 2000. pada Tahun 2017 melanjutkan studi pascasarjana di Fakultas Arsitektur dan Desain Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta (UKDW). Saat ini sebagai Dosen di program studi Teknik Arsitektur Universitas Citra Bangsa Kupang, tahun 2020 melanjutkan studi pada Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



Djudjun Rusmiatmoko, lahir di Semarang, 2 Oktober 1981, kuliah S1 (2000-2005) di Progdri Arsitektur Fakultas Teknik UNTAG Semarang, tahun (2005-2015) kerja di biro jasa konsultan perencanaan gedung, kuliah S2 (2015-2018) di Program Pasca Sarjana Arsitektur UNDIP Semarang. Saat ini sebagai Dosen di Progdri Arsitektur Fakultas Teknik UNTAG Semarang, kuliah S3 masuk tahun 2020 di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



Andrey Caesar Effendi, lahir di Jakarta 30 Juni 1985, pada tahun 2008 meraih gelar S1 Arsitektur di Universitas Bina Nusantara Jakarta, kemudian melanjutkan studi Pascasarjana magister Arsitektur di Universitas Indonesia pada tahun 2009. Berprofesi sebagai praktisi arsitektur sejak tahun 2009 dan dosen di Universitas Matana, Jakarta sejak tahun 2017 sampai sekarang. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata.



Benediktus Yosef Arya Wastunimpuna, lahir di Semarang 23 November 1989, meraih gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Dan studi S2 di Magister Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Sekarang aktif mengajar di Program Studi Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Fakultas Ilmu Dan Teknologi Lingkungan, Universitas Katolik Soegijapranata. Lalu pada tahun 2020 melanjutkan studi di Program Studi Doktor Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



Aria Zabdi ADP, lahir di Sleman 03 Juni 1987, menyelesaikan S1 Teknik Arsitektur di Universitas Atma Jaya Yogyakarta tahun 2009. Melanjutkan S2 di Magister Teknik Arsitektur Digital Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Berprofesi sebagai enterpreneur pada bidang teknologi informasi dan juga sebagai arsitek. Saat ini menempuh jenjang S3 di Program Studi Doktor Arsitektur-Konsentrasi Arsitektur Digital di Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.



Adolfo Freitas Bere, dosen Universidad Da Paz lahir di Atudara, Timor Leste, 03 Mei 1982. Menempuh Studi S1 Arsitektur di Universitas Katolik Widya Mandira Kupang dan S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini menempuh studi di Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital Universitas Katolik Soegijapranata
