

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan suatu keadaan yang berhubungan dengan alam dan mempengaruhi manusia yang dikendalikan oleh arsitektur (Synder, J. C., Catanese, A. J., 1989). Manusia menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang diterima oleh dirinya lewat keenam indera maupun perasaan dan dicerna oleh otak untuk dinilai, kemudian otak memberikan penilaian relatif apakah kondisi yang diterima itu nyaman atau tidak (Satwiko P. 2004). Maka dari itu kenyamanan termal berkaitan dengan bangunan didefinisikan sebagai suatu keadaan yang dapat memberikan perasaan nyaman dan menyenangkan bagi penghuninya (Karyono, T. H., 2011).

Kenyamanan termal merupakan suatu kondisi termal yang dirasakan manusia dan dipengaruhi oleh lingkungan maupun benda-benda disekitar arsitektur (Heinz, F., Antonius, A., AMS, D., 2008). Kenyamanan termal ditentukan oleh beberapa unsur dalam pembentuk perancangan yaitu sirkulasi, kebisingan, pengaruh alami/iklim, bentuk, penerangan, keamanan, aroma, kebersihan dan keindahan (Hakim, R., 2012). Berdasarkan beberapa pandangan ini, dapat disimpulkan bahwa kenyamanan dalam perancangan arsitektur tidak sesuai dengan kaidahnya akan mempengaruhi kenyamanan bagi penghuni didalamnya.

Terdapat dua kelompok faktor kenyamanan termal. Pertama yang disebabkan oleh faktor klimatis, meliputi temperatur udara, temperatur radiasi, kelembapan dan kecepatan angin. Kedua yang disebabkan akibat dari faktor personal meliputi tingkat metabolisme yang ditentukan oleh faktor tingkat resistensi dari penggunaan pakaian. Menurut Givoni, B., (1998) bahwa kenyamanan termal mempunyai batas-batas dari kondisi iklim yang dianggap nyaman dan dapat ditoleransi dalam bangunan yang berarti ketiadaan sensasi (panas atau dingin) ketidaknyamanan termal.

Desain bangunan dengan kinerja tinggi memerlukan penggunaan strategi desain pasif, teknologi yang canggih maupun sistem energi yang terbarukan. Beberapa strategi desain pasif antara lain dengan memperhatikan respon terhadap orientasi bangunan dan *site*, *shading*/pembayangan, penggunaan cahaya alami maupun pemanfaatan ventilasi alami. Menurut Aksamija, A. (2015) bahwa strategi desain pasif yang maksimal sangat berpengaruh pada dampak penggunaan energi yang minimal secara signifikan. Berdasarkan beberapa literatur yang ditelusuri penulis menyimpulkan berikut ini merupakan hal-hal yang menjadi faktor dalam kenyamanan termal yang perlu di perhatikan dalam pengolahan desain awal sebuah bangunan:

2.1.1 Temperatur Udara

Faktor utama yang mempengaruhi temperatur udara adalah proses pemanasan dan pendinginan permukaan benda/bumi. Menurut Houghton, Yaglo (1923) bahwa lapisan udara tersebut akan memanaskan/mendinginkan lapisan permukaan yang terpapar. Hal ini dipengaruhi oleh banyak atau sedikitnya panas matahari yang diterima bumi. Umumnya daerah khatulistiwa merupakan yang paling panas karena banyak menerima radiasi matahari. Pada bangunan, penyinaran langsung ke dinding tergantung pada orientasi matahari terhadap bangunan. Dapat di solusikan dengan menggunakan bahan yang mampu menyerap 50% - 95% radiasi matahari.

2.1.2 Kelembapan Udara

Menurut Allaby, M., (2007) bahwa kelembapan berkaitan dengan banyaknya kadar uap air di udara dan tidak terlihat secara khasat mata. Banyak uap air ini mempengaruhi tingkat kelembapannya. Kelembapan udara yang tinggi dapat mengakibatkan sulit terjadi penguapan dipermukaan kulit sehingga proses pelepasan panas dapat terganggu. Maka dari itu menurut Frick, H. (2008) bahwa dalam penyelesaian pergerakan udara di dalam bangunan dapat membantu mekanisme penguapan.

2.1.3 Gerakan Udara

Menurut Houghton, Yaglo, (1923) bahwa udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah, sehingga hal itu terjadi jika

dipengaruhi oleh tekanan udara pada suatu area dengan area yang ada disekitarnya. Gerakan udara dalam ruang dipengaruhi oleh bentuk geometri dan lokasi bukaan pada suatu ruangan terhadap arah datangnya angin. Menurut Satwiko, P (2009) bahwa angin adalah udara yang bergerak karena adanya gaya yang di akibatkan oleh perbedaan tekanan dan perbedaan suhu. Gerakan udara pada sebuah bangunan secara keseluruhan maupun didalam ruang dapat mempengaruhi kenyamanan penghuninya. Standar kecepatan udara didalam ruangan ada pada kisaran 0.15-1.5m/s.

2.1.4 Temperatur Radiant

Menurut Auliciems, A., Szokolay, S. (2007) bahwa temperatur radiant adalah panas yang berasal dari radiasi objek yang mengeluarkan panas yang salah satunya yaitu radiasi matahari. Di dalam ruang temperatur radiasi disebabkan oleh objek dapat mengeluarkan panas antara lain perabotan rumah seperti alat pemanas dan elektronik.

2.1.5 Fasad Bangunan (Selubung Bangunan)

Fasad bangunan merupakan selubung bangunan yang sering terkena radiasi matahari setelah atap bangunan. Radiasi matahari merupakan faktor utama yang akan dihadapi oleh fasad bangunan. Selubung bangunan sebagai kulit bangunan yang bereaksi langsung terhadap kondisi iklim ditentukan dari jenis material yang akan digunakan. Fasad bangunan berkaitan dengan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) adalah suatu nilai yang diterapkan sebagai kriteria perancangan untuk dinding dan kaca bagian luar bangunan gedung yang dikondisikan. Konsep OTTV ini mencakup tiga elemen dasar perpindahan panas melalui dinding luar bangunan antara lain :

1. Konduksi panas melalui dinding tidak tembus cahaya.
2. Konduksi panas melalui kaca.
3. Transmisi radiasi matahari melalui kaca.

2.1.6 Lokasi dan Orientasi Bangunan

Orientasi bangunan merupakan kriteria yang penting dan telah memiliki kinerja yang memuaskan. Kriteria ini bertujuan untuk memahami orientasi dan tata letak bangunan untuk mendukung kenyamanan suhu dan kenyamanan pencahayaan

pada bangunan. Menurut SNI 03-6389-2000 tentang konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung bahwa tolak ukur yang harus dicapai adalah merencanakan arah hadap bidang vertikal bangunan dengan faktor radiasi matahari (SF, W/m²) yang terkecil, dihitung antara jam 07.00 sampai dengan jam 18.00.

2.1.7 Konfigurasi bangunan dan Ruang

Perletakan massa bangunan maupun pengolahan denah yang baik dapat mempengaruhi aliran udara yang berhembus, sehingga dapat menciptakan kenyamanan termal yang baik bagi lingkungan sekitar.

2.1.8 Pembayangan Sinar Matahari (*Sun Shading*)

Menurut Lechner, N. (2001) bahwa pembayangan matahari (*sun shading*) merupakan salah satu strategi dan langkah pertama untuk mencapai kenyamanan termal didalam bangunan, akan tetapi untuk mencapai kenyamanan termal terdapat aspek lain yang harus diperhitungkan. *Sun shading* digunakan dapat meningkatkan kenyamanan visual (*visual comfort*) dengan mengontrol sinar matahari yang masuk dan mengurangi adanya kekontrasan.

2.1.9 Upaya Reduksi Panas Sekitar Bangunan

Upaya reduksi panas melalui kriteria pengadaan vegetasi (*softscape*) merupakan kriteria penting dan memiliki kinerja yang perlu di tata. Penggunaan lansekap berupa pohon pada sirkulasi utama pejalan kaki menunjukkan adanya pelindung dari panas akibat radiasi matahari, serta terpaan angin kencang (Green Building Council Indonesia, 2012).

2.2 Simulasi Termal

Simulasi dan model dalam riset arsitektur digunakan sebagai salah satu strategi penelitian yang berhubungan dengan skala ruang dan kerumitan lingkup penelitian. Menurut Groat, L., Wang, D. (2002) bahwa strategi simulasi dan model dapat digunakan dalam pengembangan atau mengkaji suatu teori. Teknologi komputer saat ini memiliki kemampuan dapat meniru kondisi nyata dengan kondisi buatan yang hampir sama, baik pada skala mikro dan makro sesuai dengan operasional yang ditentukan. Menurut Maulana, S. (2016) bahwa penggunaan teknologi komputer untuk simulasi model memberikan kontribusi yang positif

terutama dalam mengurangi kesalahan rancangan, sehingga strategi simulasi berkembang dalam kegiatan penelitian yang membutuhkan argumentasi logis, eksperimental riset dan korelasi riset.

Simulasi termal bangunan adalah metode yang tepat untuk mengkaji performa bangunan dan mengevaluasi desain arsitektur. Menurut Bahar Y. N., et al. (2013) bahwa permasalahan desain yang kompleks dapat diteliti dan performanya dapat diukur dan dievaluasi. Simulasi termal menghasilkan visual yang dapat disajikan agar dapat mendukung konsep dan desain dari perancangan arsitektur. Menurut Douglass, C. D. And Leake, J. M., (2011) bahwa dalam dekade terakhir ini, program simulasi pada bangunan telah sering digunakan sebagai alat untuk merancang bangunan hemat energi.

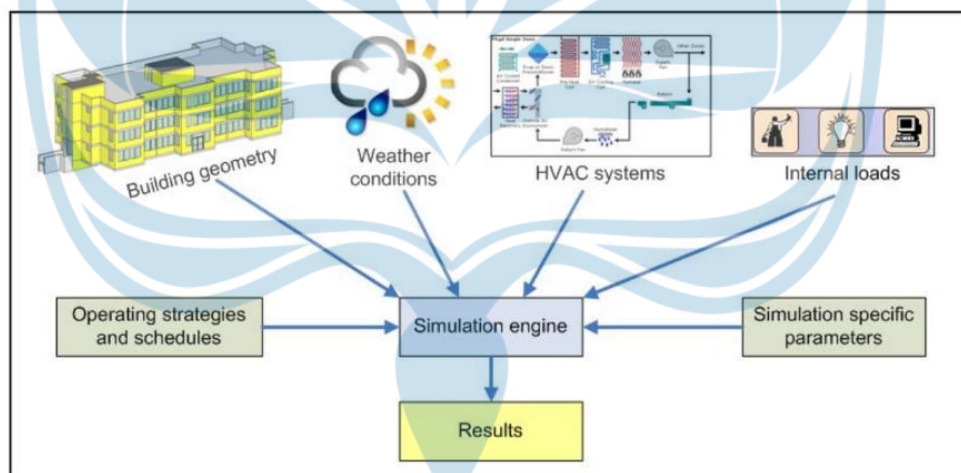
Simulasi digital dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi termal dari bangunan maupun desain yang telah di buat dengan waktu tertentu yang ingin dilihat atau diprediksi. Dalam melakukan simulasi faktor manusia, material dan iklim dapat ditentukan sesuai dengan kondisi setempat. Menurut Prasetyo (2016) bahwa dengan menggunakan simulasi digital, elemen lingkungan dapat dikondisikan sama dengan realitas dalam bentuk dan bahan yang di gunakan. Perangkat simulasi energi bangunan saat ini banyak digunakan untuk menganalisis atau memperkirakan konsumsi energi pada bangunan. Menurut Yezioro, A., Dong, B., Leite., F. (2008) bahwa untuk memfasilitasi desain dan operasional dari bangunan yang mana telah menunjukkan bahwa hasil simulasi sering dapat secara akurat mencerminkan sebenarnya dari hasil pengukuran.

Aksamija, A. (2015) mengatakan bahwa prediksi performa bangunan dengan menggunakan simulasi pemodelan yang berbasis penelitian dengan menggunakan dukungan data dalam proses desain adalah elemen kunci mendesain bangunan dengan performa tinggi. Diharapkan dengan melalui pendekatan simulasi pada bangunan akan diperoleh hasil perbandingan atau alteranatif lain yang menunjukkan perubahan performa. Perbandingan ini dapat menjadi tolak ukur seorang arsitek untuk menghasilkan desain bangunan yang baik bagi pengguna dan lingkungan setempat. Selain itu dalam mengolah proses desain awal untu pengujian bangunan yang sudah ada juga dapat dilakukan untuk mengetahui kinerjanya.

Menurut Thool, S., Sinha, S. L., (2014) bahwa analisis tentang aerodinamis didalam ruang dengan proses simulasi numerik mempunyai hasil yang serupa dengan hasil eksperimen. Analisis simulasi dapat memperlihatkan pengaruh-pengaruh dari perubahan bentuk, material maupun lainnya dalam bangunan yang dapat di jelaskan secara kuantitatif.

2.3 Mesin Simulasi dan *Graphical User Interface* (GUI)

Mesin simulasi memprediksi kinerja energi dan kenyamanan termal bagi penghuninya. Secara umum, hal ini mendukung pemahaman tentang bagaimana bangunan beroperasi menurut kriteria tertentu dan memungkinkan perbandingan alternatif desain yang berbeda. Setiap *software* memiliki keterbatasan pengoperasian sehingga diperlukan untuk memahami prinsip dasar dari simulasi energi dan termal. Berikut pada Gambar ini adalah prinsip dasar dari mesin simulasi.



Gambar 2.1 Aliran Data Umum Mesin Simulasi

Sumber: Maile, T., Bazjanac, V., Fischer, M. A., (2007)

Penjelasan mesin simulasi pada penelitian ini merupakan sebagian kecil dari semua alat simulasi kinerja energi yang ada. Mesin tersebut digunakan pada *software* simulasi yang banyak digunakan mahasiswa maupun praktisi berdasarkan kuesioner penelitian. Menurut Crawley, D. B., dkk. (2008) terdapat 20 mesin simulasi energi dan termal yang dapat digunakan, berikut ini adalah tabel yang berisi tentang perbandingan mesin simulasi tersebut.

Tabel 2.1 Perbandingan Mesin Simulasi Energi dan Termal

Table 1 Zone Loads (11 of the 21 rows from Table 2 of the report)	BLAST	BSim	DeST	DOE-2.1E	ECOTECT	EnerWin	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	IDA ICE	IES <VE>	HAP	HEED	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Interior surface convection	X	X					P		X		X	X	X		X	X	X	X		X
▪ Dependent on temperature	X						X		P		X	X	X		X		X	X		E
▪ Dependent on air flow									E		X	X	X		X		X	X		
▪ Dependent on surface heat coefficient from CFD									X		E	R	X		X		X	X		X
▪ User-defined coefficients (constants, equations or correlations)		X	X	X	X				X				X		X	X	X	X		X
Internal thermal mass	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Automatic design day calculations for sizing																				
▪ Dry bulb temperature	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	P		X	X	
▪ Dew point temperature or relative humidity			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	
▪ User-specified minimum and maximum			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	
▪ User-specified steady-state, steady-periodic or fully dynamic design conditions			X						X	X		X	X	X				X	X	X
Table 2 Building Envelope, Daylighting and Solar (9 of the 52 rows from Table 3 in the report)	BLAST	BSim	DeST	DOE-2.1E	ECOTECT	EnerWin	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	IDA ICE	IES <VE>	HAP	HEED	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Outside surface convection algorithm	X								X	X									X	
▪ BLAST/TARP	X								X	X									X	
▪ DOE-2				X					X	X									X	
▪ MoWTT									X	X									X	
▪ ASHRAE simple	X					X		X	X	X			X		X			X	X	
▪ Ito, Kimura, and Oka correlation									X	X			X		X			X	X	
▪ User-selectable			X						X		X	X	X			X		X	X	X
Inside radiation view factors		X	X						X		X	X	X				P	X		
Radiation-to-air component separate from detailed convection (exterior)		X	X						X	X	X	X	X				X	X	P	X
Solar gain and daylighting calculations account for inter-reflections from external building components and other buildings	P				X				X		X		X			P				X
Table 4 Infiltration, Ventilation, Room Air and Multizone Airflow	BLAST	BSim	DeST	DOE-2.1E	ECOTECT	EnerWin	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	IDA ICE	IES <VE>	HAP	HEED	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Single zone infiltration	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Automatic calculation of wind pressure coefficients		X	P							P							X	X		
Natural ventilation (pressure, buoyancy driven)		X	P						X	P	X	X	X				X	X		O
Multizone airflow (via pressure network model)		X	P						X	X	X	X	X				X	X		O
Hybrid natural and mechanical ventilation		X	P			X						X	X				X	X		O
Control window opening based on zone or external conditions			X			X			X		X	X	X				P	X		O
Displacement ventilation									X		X	X	X						X	O
Mix of flow networks and CFD domains											E									
Contaminants, mycotoxins (mold growth)		P									R					P				
Table 5 HVAC Systems/Components & Renewable Energy Systems (summary from report Tables 5, 7 & 8 (9 pages))	BLAST	BSim	DeST	DOE-2.1E	ECOTECT	EnerWin	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	IDA ICE	IES <VE>	HAP	HEED	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Renewable Energy Systems (12 identified, X+O)	1	2	2	1	4	0	0	2	4	2	7	1	3	0	0	1	2	2	0	12
Idealized HVAC systems	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X
User-configurable HVAC systems		X	X				P		X		X	X	X	X	X	X	R	X	X	X
Pre-configured systems (among 34 identified, X+O)	14	14	20	16	0	16	5	7	28	24	23	32	28	28	10	8	1	23	26	20
Discrete HVAC components (98 identified, X+O)	51	24	34	39	0	24	8	15	66	61	40	52	38	43	7	15	3	26	63	82
Table 6 Economic Evaluation (energy costs portion of Table 11 of the report)	BLAST	BSim	DeST	DOE-2.1E	ECOTECT	EnerWin	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	IDA ICE	IES <VE>	HAP	HEED	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Simple energy and demand charges		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Complex energy tariffs including fixed charges, block charges, demand charges, ratchets		X	X	X			X		X	X		X	X	X	X	P		X	X	E
Scheduled variation in all rate components		X	X	X					X	X		X	X	X	X	P		X	X	X
User selectable billing dates				X					X	X					X	P			X	E

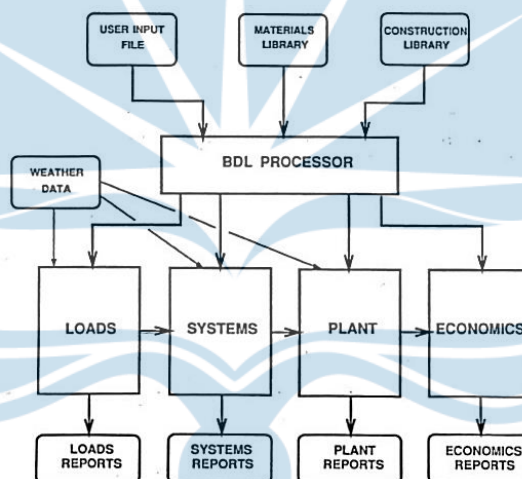
Sumber: Crawley, D. B., dkk. (2008)

Berikaitan dengan hasil pemilihan 3 *software* yang paling banyak digunakan berdasar kuesioner, peneliti berfokus pada dua mesin simulasi yang terdapat pada *software* Ecotect dan Design Builder yaitu DOE-2 dan EnergyPlus (Lawrence Berkeley National Laboratory). Kedua mesin ini sangat penting karena penggunaannya yang meluas. Menurut Maile, Tobias., dkk (2007) bahwa DOE-2

diakui secara luas sebagai standar industri yaitu US DOE-EISA 2007 (Energy Independence and Security Act). Kemudian EnergyPlus merupakan penerus DOE-2 yang memenangkan beberapa penghargaan sejak rilis pertamanya pada tahun 2001 dan penggunaannya mencapai 46.000.

2.3.1 DOE-2

Menurut Birdsall et al. (1990) dalam Maile, T., Bazjanac, V., Fischer, M. A., (2007) bahwa mesin DOE-2.1E dikembangkan oleh Lawrence Berkeley National Laboratory merupakan salah satu mesin simulasi termal yang paling banyak digunakan saat ini. Mesin dirancang untuk mempelajari kinerja energi seluruh bangunan selama fase desain. LBNL terakhir merilis DOE-2.1E pada tahun 1994, karena kehadirannya yang lama dipasaran, beberapa antarmuka pengguna telah dikembangkan untuk DOE-2 yaitu *software* RIUSKA dan eQUEST.



Gambar 2.2 Aliran Data Mesin DOE-2.1

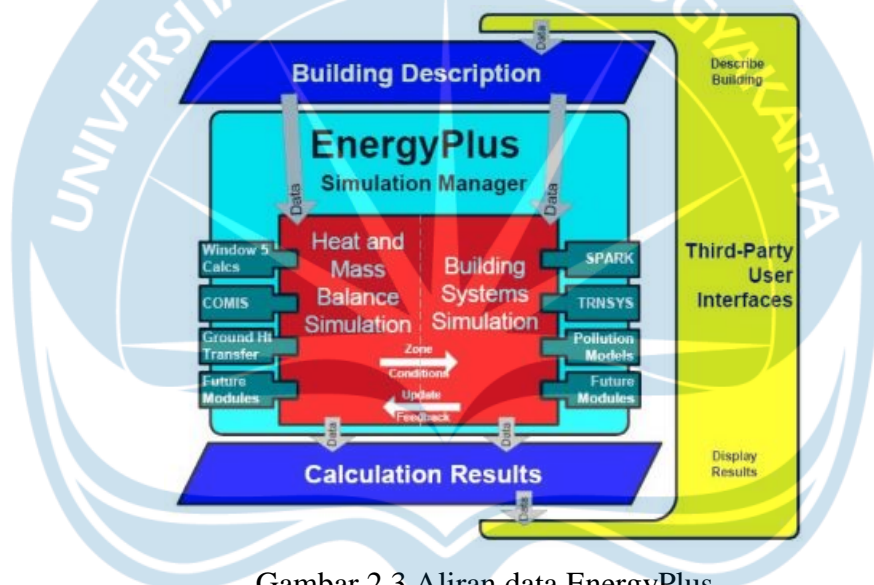
Sumber: Birdsall et al. (1990) dalam Maile, T., dkk (2007)

Mesin DOE-2 mampu mensimulasikan perilaku termal ruang dalam sebuah bangunan dimana beban panas seperti *heat loads, such a solar gain, equipment loads, people loads, lighting load, air conditioning system* dapat dimodelkan dan disimulasikan dengan mesin ini. Geometri untuk simulasi perlu disederhanakan dari geometri bangunan yang sebenarnya.

2.3.2 EnergyPlus

EnergyPlus adalah program simulasi energi bangunan paling komprehensif yang dikembangkan oleh Departemen Energi AS untuk memodelkan pemanasan

bangunan, pendinginan, penerangan, ventilasi, dan aliran energi lainnya yang terus ditingkatkan. EnergyPlus (Versi 2.1) menggunakan fitur terbaik dari dua mesin simulasi energi DOE-2 dan BLAST sehingga menghasilkan mesin simulasi generasi baru. Menurut BLAST (2003) dalam Maile, T., Bazjanac, V., Fischer, M. A., (2007) bahwa *The Buildings Load Analysis and System Thermodynamic* (BLAST) adalah agregasi program untuk memprediksi konsumsi kinerja sistem energi dan biaya operasional gedung. Metode pengukuran panas BLAST didasarkan pada persamaan termodinamika aktual dan menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode DOE-2 (*weighted heat balance method*).



Gambar 2.3 Aliran data EnergyPlus

Sumber: EnergyPlus (2005) dalam Maile, Tobias., dkk (2007)

2.3.3 Graphical User Interface

Sebagian besar program simulasi bangunan dilengkapi dengan *Graphical User Interface* (GUI). GUI merupakan tampilan awal saat menjalankan program simulasi yang dapat melakukan proses membuat model, pengolahan input file maupun menampilkan hasil akhir simulasi dari penggunaan mesin simulasi. Pengembangan mesin simulasi dan GUI biasanya dilakukan terpisah oleh dua perusahaan. Mesin simulasi dikembangkan oleh organisasi public yaitu laboratorium pemerintah dan universitas seperti Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) dan Departemen Energi AS. GUI lebih sering dikembangkan oleh vendor komersial, akibatnya sering dijumpai tampilan GUI yang berbeda tetapi

menggunakan mesin simulasi yang sama (Ecotect dan Design Builder). Pilihan GUI menentukan kemudahan pengguna dalam mengoperasikan *software* tersebut, tetapi pada akhirnya mesin simulasilah yang menentukan seberapa valid hasil simulasi yang dijalankan.

2.4 Perkembangan Software Simulasi Termal

Dalam studi kasus penelitian ini menggunakan *software* Autodesk Ecotect, Envimet dan Design Builder yang merupakan paling banyak di gunakan sesuai dengan hasil survey peneliti. Dari 100 responden yang mencakup arsitek/desain interior profesional dan mahasiswa mendapatkan hasil yaitu sebanyak 78% responden sering menggunakan Autodesk Ecotect, 31% responden menggunakan Envimet dan 14% responden menggunakan Design Builder. Penggunaan *software* ini terbilang cukup banyak dan populer ketimbang beberapa *software* lain.

2.4.1 Autodesk Ecotect

Software Ecotect Analysis memungkinkan para desainer melakukan analisis untuk mensimulasikan kinerja performa bangunan terhadap lingkungannya. Ecotect menjadi pilihan signifikan dalam mengintegrasikan 3D dengan berbagai analisis pendekatan bioklimatik yang lebih mudah dengan menyajikan tampilan interaktif yang akan terbaca langsung dampaknya serta fitur-fitur yang ramah terhadap penggunanya.

Perangkat Ecotect asli ditulis sebagai demonstrasi dari ide dalam thesis PhD oleh Dr. Andrew Marsh di School of Architecture and Fine Arts di The University of Western Australia, sekaligus penemu Ecotect sebelum diakuisisi oleh Autodesk dari Square One Research Amerika. Perangkat Ecotect versi 2.5 dirilis pertama pada tahun 1996, versi 3.0 tahun 1998, versi 4.0 tahun 2000, versi 5.0 juni 2002, versi 5.50 september 2006 dan versi 5.60 pada bulan juni 2010.

Ecotect kemudian diakuisisi oleh Autodesk dari Square One Research Amerika, dan rilis Autodesk Ecotect 2009 pada januari 2009, Autodesk Ecotect Analysis 2010 pada maret 2009 dan Autodesk Ecotect Analysis 2011 pada April 2010 sebagai yang terakhir. Adanya Ecotect didasari atas prihatinnya terhadap proses desain yang tidak efektif. Diharapkan dapat mempertimbangkan lebih awal

tahap konseptual desain ketimbang di akhir. Keputusan sederhana diawal proyek dapat memiliki efek di akhir guna menghemat waktu dan uang.

Analisa simulasi terkait bioklimatik mencakup termal dan pencahayaan. Ecotect mengadaptasi Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE) Admittance Method untuk menentukan beban panas dan temperature internal. Admittance Method adalah metode simplifikasi yang sangat cepat dikalkulasi dan digunakan untuk menghasilkan sejumlah informasi dalam proses desain yang berguna. Menurut Marsh (2008) bahwa telah banyak digunakan secara luas dan telah teruji sebagai alat bantu desain yang bermanfaat di berbagai belahan dunia dan merupakan pilihan terbaik sejauh ini.

Ecotect berguna sebagai alat bantu memprediksi performa desain pada tahapan konseptual. Sehingga saat mendekati tahapan akhir desain maka sebaiknya dilanjutkan dengan analisa menggunakan *software* yang spesifik seperti EnergyPlus khususnya untuk beban pendingin dan Radiance pencahayaan. Sedangkan untuk OTTV dan EEI validasi perhitungan harus di lakukan melalui rumus-rumusny. Beberapa simulasi yang dapat dilakukan oleh Ecotect Autodesk:

1. Simulasi pencahayaan;
2. Simulasi termal;
3. Simulasi kenyamanan;
4. Simulasi angin (menggunakan plugin);
5. Simulasi akustika;
6. Simulasi visual.

Program Ecotect juga memiliki beberapa kemampuan yang dapat dirasakan oleh penggunanya yaitu sebagai berikut:

1. Bisa digunakan sebagai alat desain model (*drafting*) yang sekaligus dapat menganalisa dan simulasi;
2. Intergrasi dengan *software* lain yang dapat mengimport model berbentuk skema garis (*wiring*) seperti AutoCad berupa format DXF sebagai acuan dasar desain;
3. Dapat mensimulasikan waktu sepanjang tahun;
4. Grafik yang user friendly dan infomatif sehingga hasil simulasi dan modeling mudah dipahami;

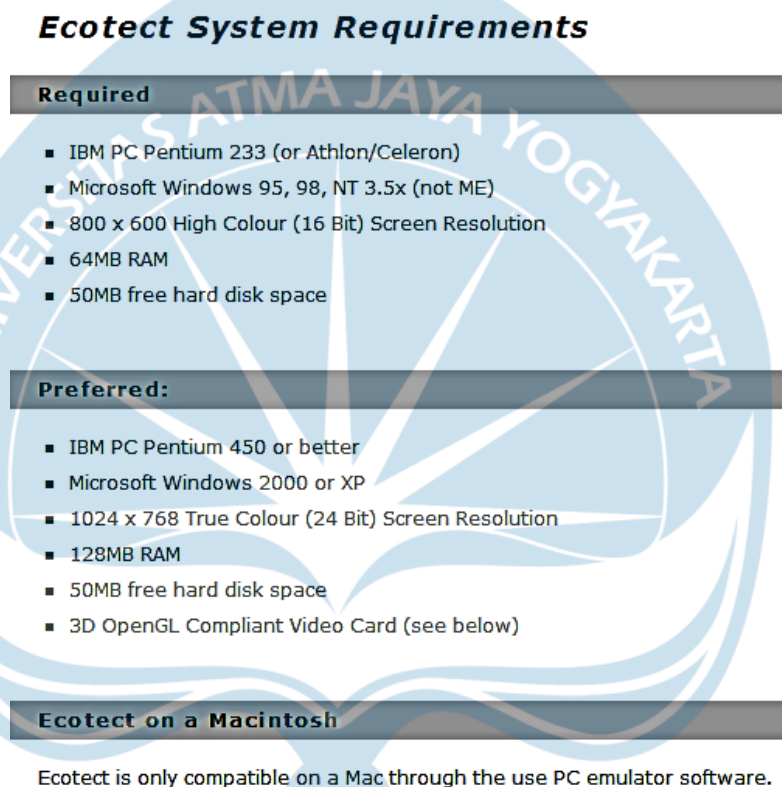
5. Tersedia tampilan bentuk grafik dan 3D untuk visualisasi hasil simulasi;
6. Tersedia material bangunan yang dapat didefinisikan pada model atau dapat memasukkan settingan untuk material baru;
7. Mampu mensimulasikan cahaya matahari (*sunlight*) pada objek bangunan atau interior dengan Ray simulation untuk melihat arah masuk dan pantulannya;
8. Selain dapat menganalisa pencahayaan bisa untuk menganalisa Termal, Visual, Radiasi dan Akustika;
9. Fleksibel dapat menambahkan plugin untuk analisis spesifik dan detail dalam menganalisa pencahayaan melalui Plug-in Radiance.

Terdapat keterbatasan yang dimiliki Ecotect yaitu belum tersedia diagram untuk menghitung jumlah Direct radiation, Diffuse radiation, Solar heat gain, fitur menghitung Time-lag, mengkalkulasi OTTV, EEI secara langsung. Adapun suatu program ESP (*Ecotect Supporting Program*) yang dibuat untuk menghitung variabel dan kalkulasi yang belum tersedia dalam Ecotect. Ecotect diperuntukan untuk mensimulasi dan tidak dapat menyimpulkan sendiri apakah bangunan tersebut sustain atau tidak. Maka terdapat beberapa keterbatasan dari program Ecotect sebagai berikut:

1. Pembuatan data iklim (*wheater data*) masih menggunakan *software* lain;
2. Belum tersedia dengan bebas ditemukan data iklim khususnya kawasan Indonesia;
3. Untuk membuat data iklim (*wheater loads*) harus memasukkan variabel data-data iklim lengkap dengan skrip;
4. Beberapa variabel tidak mudah dihitung dan diprediksi pada kondisi eksisting sehingga sulit untuk diperoleh;
5. Belum banyak tersedia material bangunan khusus Indonesia, sehingga harus diimput terlebih dahulu;
6. Keterbatasan mengimport langsung 3D model dari beberapa *software* arsitektur seperti AutoCad, SkecthUp, dll;
7. Vertek 3D model yang di *import* dari *software* lain akan terbaca sangat banyak, karena Ecotect masih berbasis modeling wiring, sehingga perlu penggambaran ulang untuk akurasi yang presisi;

8. Simulasi pencahayaan Ecotect khususnya interior hanya merata-ratakan dalam satu tahun, sehingga sangat sulit untuk mendapatkan simulasi yang tepat;
9. Diperlukan Plug-in tambahan dalam menganalisis pencahayaan interior menggunakan *Radiance Simulation*.

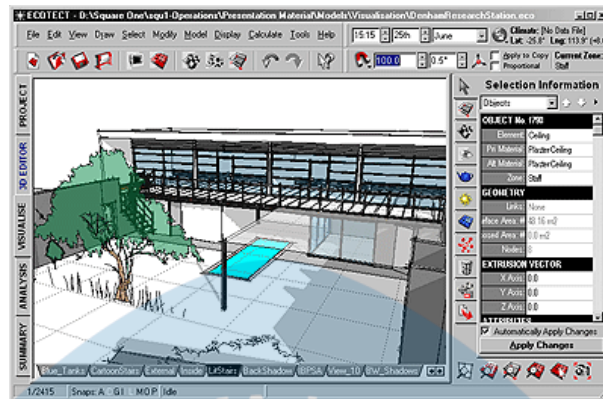
Ecotect dapat digunakan pada perangkat lunak seperti Windows dan Mac. Berikut ini system requirements *software* Ecotect:



Gambar 2.4 Requirement Software Ecotect

Sumber : Ecotect Helps

Dalam menjalankan *software* Ecotect akan menampilkan tampilan awal dan toolbar yang dapat dilihat oleh pengguna. Berikut ini adalah user interface dan toolbar pada Ecotect:

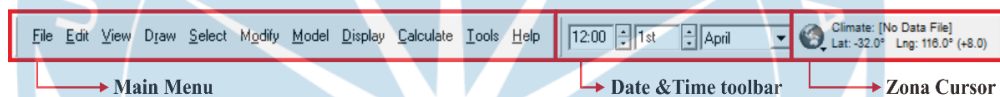


Gambar 2.5 User Interface dan Toolbar pada Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

Tampilan bawaan pertama *software* Ecotect yang dilihat oleh pengguna terdiri dari lima jendela kotak dialog utama, yakni diantaranya sebagai berikut:

1. Main Menu



Gambar 2.6 Main Menu Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

- a. *Main menu*, ini berisi sebagian besar perintah yang akan di gunakan dalam mengoperasikan program dengan mengklik langsung pada item untuk masuk ke dalam menu popupnya.
- b. *Date and time Toolbar* dan *Zona Cursor*, ini berfungsi untuk dapat mengubah waktu dan tanggal untuk bayangan maupun perhitungan simulasi yang berbasis waktu, maupun untuk memasukkan data iklim lokasi yang sudah dibuat atau diperoleh untuk kebutuhan simulasi.

2. Main Toolbar



Gambar 2.7 Main Toolbar Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

- a. *Main Toolbar*, *Additional*, *Modelling and View Toolbars*, ini merupakan menu yang mempengaruhi objek pengoperasian model ketika ingin

membuka file yang sudah ada, menyimpannya, mengatur preferensi, menejemen zona pada model, mengatur material, membuat schedule maupun untuk undo dan reundo model saat dalam kanvas editor pembuatan model 3D.

- b. *Snap setting toolbar and Origin*, ini berfungsi saat membuat maupun memanipulasi objek permodelan, ukuran grid dengan akurat. Digunakan untuk memasukkan koordinat absolut dan melihat jarak pada model, melakukan duplikat serta untuk menentukan letak dan posisi dari bidang yang akan dibuat. Sangat penting membuat desain akurat pada Ecotect karena pada akhirnya perhitungan hanya seakurat model itu sendiri

3. Page Selector

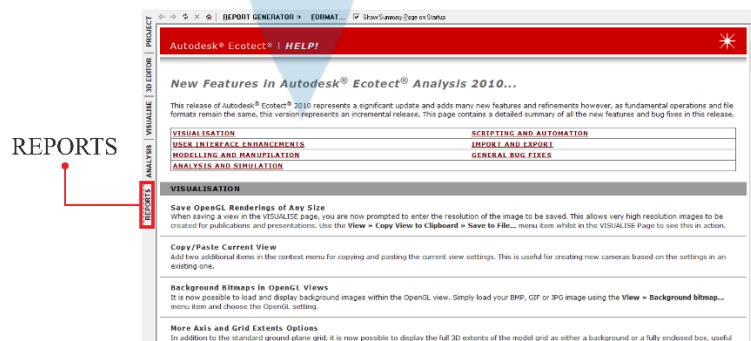
Terdapat lima jendela yang masing-masing berfungsi untuk menjalankan Sebagian besar pekerjaan membuat *modeling*, hasil simulasi, hasil analisis maupun *project setting zone*, mata angin dan *site*.



Gambar 2.8 Page Selector Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

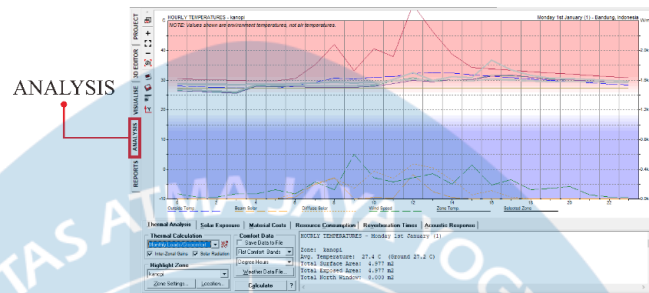
- a. *Reports atau Summary Page*, merupakan tampilan halaman browser berformat HTML yang tersedia pada perangkat lunak dan memiliki sejumlah kegunaan seperti ringkasan bantuan penggunaan *software* yang disematkan pada *software*.



Gambar 2.9 Reports atau Summary Page Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

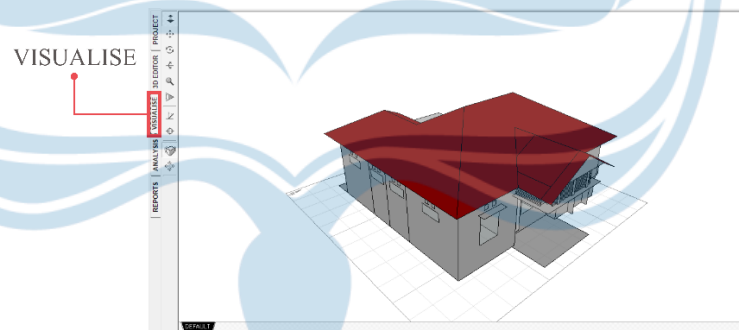
- b. *Analysis*, merupakan halaman yang dapat menampilkan berbagai analisis grafis yang dilakukan mulai dari, Thermal analysis, solar exposure, Material cost, Resource Consumption, Reverberation Times maupun Acoustic Response.



Gambar 2.10 Analysis Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

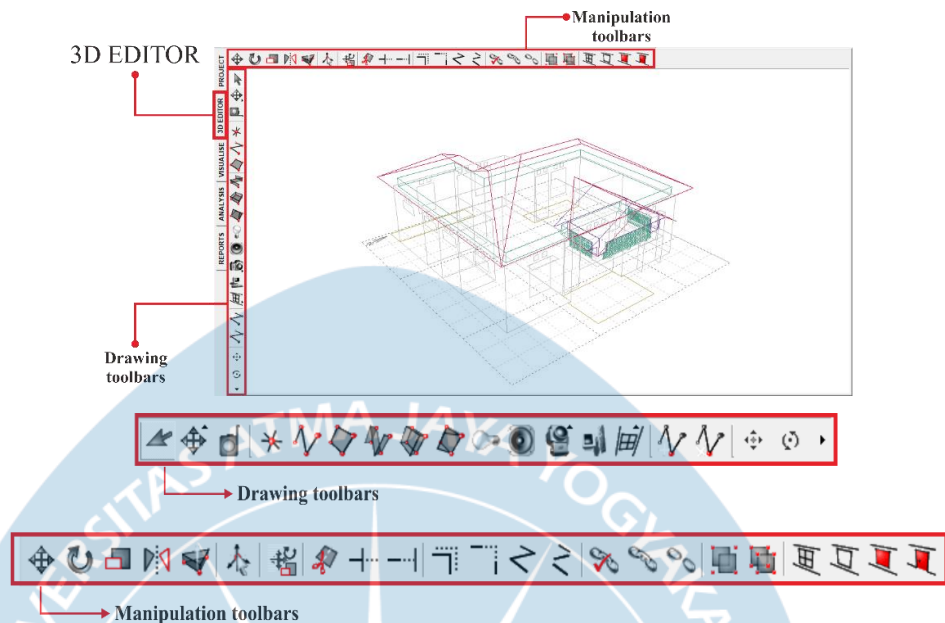
- c. *Visualise*, merupakan tampilan dari gambar desain yang dibuat pada kanvas 3D editor, sehingga lebih jelas dilihat sesuai dengan elemen analisis spasial, penggunaan material dan warna menggunakan model OpenGL render maupun setting camera view.



Gambar 2.11 Visualise Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

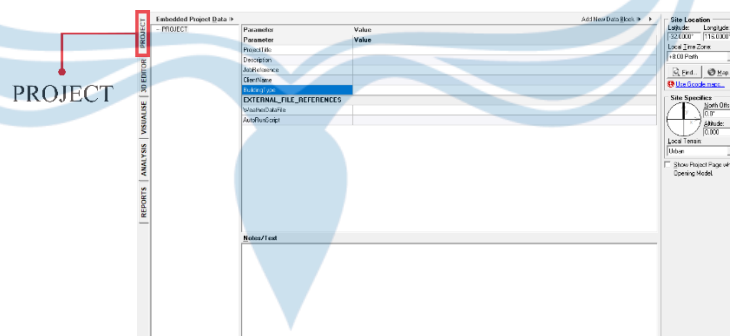
- d. *3D Editor*, berfungsi sebagai tempat mengolah pemodelan 3D atau drawing yang dapat diedit, menambahkan, modifikasi maupun menghapus elemen bangunan, dengan menggunakan drawing toolbar disamping kiri area gambar dan manipulation tools terletak di atas area gambar.



Gambar 2.12 3D Editor Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

- e. *Project*, berfungsi untuk menambahkan informasi tekstual dan konteks karakteristik yang berkaitan dengan proyek maupun lokasi yang nantinya akan termuat dalam simulasi, print out, ataupun pada saat di ekspor ke *software* lain.



Gambar 2.13 Project Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

4. *Penel Selector*

Untuk membuat manipulasi parameter model lebih interaktif, Ecotect menampilkan kontrol disisi kanan jendela aplikasi utama dalam serangkaian panel. Setiap panel berisi grup kontrol terkait. Ada sejumlah besar panel yang tersedia, seperti yang ditunjukkan berikut ini:



Gambar 2.14 *Panel Selector Ecotect*

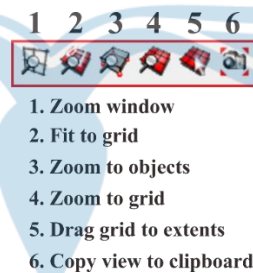
Sumber: Analisis Penulis

- a. *Selection information*, panel kontrol ini menampilkan informasi tentang set pilihan saat ini. Informasi yang ditampilkan tergantung pada apa yang dipilih seperti setting suatu objek, node atau zone.
- b. *Zona management*, berfungsi untuk melihat atau menghilangkan daftar zona yang dibuat seperti kamar, ruang tamu, dapur dan lainnya. Serta mengatur termal zona saat simulasi.
- c. *Material assignment*, berfungsi menampilkan informasi tentang jenis elemen material pada objek model yang dipilih atau yang akan digunakan.
- d. *Display setting*, berfungsi untuk fasilitas untuk mengatur tampilan 3D model pada layar analisis. Memudahkan untuk beralih tampilan antara denah, tampak, proyeksi ortografis maupun perspektif.
- e. *Visualization setting*, mengatur pengaturan tampilan rendering OpenGL pada layar visualize.
- f. *Shadow setting*, mengatur dan mengontrol tampilan sunpath diagram dan shading di editor 3d maupun halaman visualisasi OpenGL.
- g. *Analysis grid*, mengatur posisi letak dan kalkulasi analisis grid pada model. Analisis Grid pada dasarnya adalah grid titik-titik ortogonal dalam model di mana cahaya, insolasi matahari, kenyamanan termal dan berbagai nilai lainnya dapat dihitung dan ditampilkan. Kisi dapat berupa bidang titik datar 2D, permukaan berkontur bergelombang, atau kisi volumetrik 3D.

- h. *Ray and perticles*, untuk melihat, mengontrol statistik rays, animasi partikel, animasi rays dan melihat acoustic respon. Melihat bagaimana gelombang suara merambat, di mana refleksi terjadi dan tingkat suara sinar yang datang. Informasi semacam ini sering kali menjadi yang paling penting saat menyempurnakan geometri desain.
- i. *Script and wizard*, untuk mengontrol pembuatan model yang lebih kompleks, tampilan serta scripts dan wizard yang lebih kompleks berdasarkan numerik, seperti atap, silinder, kerucut dan lainnya.
- j. *Objeck transformation*, memungkinkan untuk mengubah objek, orientasi, simpul x, y, z yang dipilih pada editor 3D.
- k. *Eksport manager*, berfungsi untuk mengekspor model ke *software* lain yang mendukung, seperti untuk analisis pencahayan menggunakan RADIANCE, perhitungan ESP-r, EnergyPlus, WinAir CFD, POV-Ray dan lainnya.

5. *View Toolbar*

View Toolbar terletak di sudut kanan bawah jendela *software* dan berisi lima tombol yang memungkinkan untuk memanipulasi dan mengubah ukuran tampilan visualisasi dan satu tombol untuk screenshot.

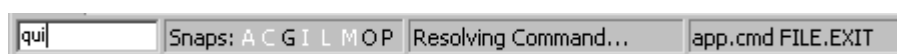


Gambar 2.15 *View Toolbar* Ecotect

Sumber: Analisis Penulis

6. *Status Bar*

Status bar terdiri dari sejumlah sub-panel yang menampilkan informasi tentang status operasional program.



Gambar 2.16 *Status Bar* Ecotect

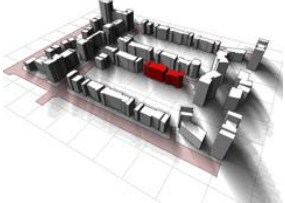
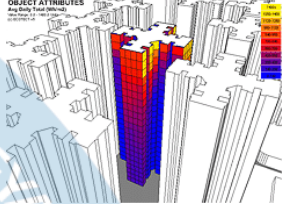
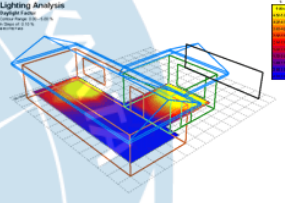
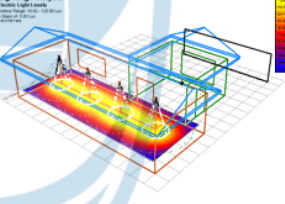

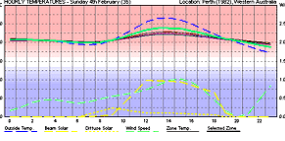
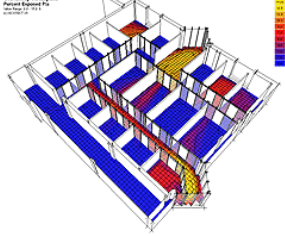
Sumber: Analisis Penulis

Adanya *software* Ecotect sebenarnya sudah sangat bagus untuk proses analisis simulasi desain ditahap awal yang komprehensif dan menghasilkan informasi kinerja vital sebelum bangunan dikembangkan lebih lanjut. Pengguna dapat menganalisis iklim terperinci untuk menghitung potensi efektifitas berbagai teknik desain pasif dan aktif. Mengoptimalkan sumber daya matahari, cahaya dan angin yang tersedia didalam *software* dengan menguji ide-ide model sederhana secara bertahap.

Tersedia *website* <http://Squ1.com/> dan <http://Ecotect.com/> yang dapat dikunjungi untuk berbagai informasi lebih lanjut, meskipun *website* tersebut sudah tidak dapat diakses lagi saat ini. Terdapat blok pribadi <http://andrewmarsh.com/> yang memuat banyak informasi mengenai eksperimen, Web Development, Computer Programming, EnergyPlus weather data analysis dan Analysis web simulasi lainnya yang dapat digunakan hanya dengan menggunakan *website*.

Diperlukan beberapa latar belakang pengetahuan untuk sepenuhnya memanfaatkan berbagai pilihan analisis yang tersedia di Ecotect. Tidak hanya arsitektur yang dituju, *software* juga dapat digunakan oleh desain lingkungan, ilmu fisika, teknik mesin dan berbagai cabang ilmu, tergantung pencapaian apa yang ingin diketahui. Berikut ini beberapa hasil simulasi dan visual dari *software* Autodesk Ecotect.

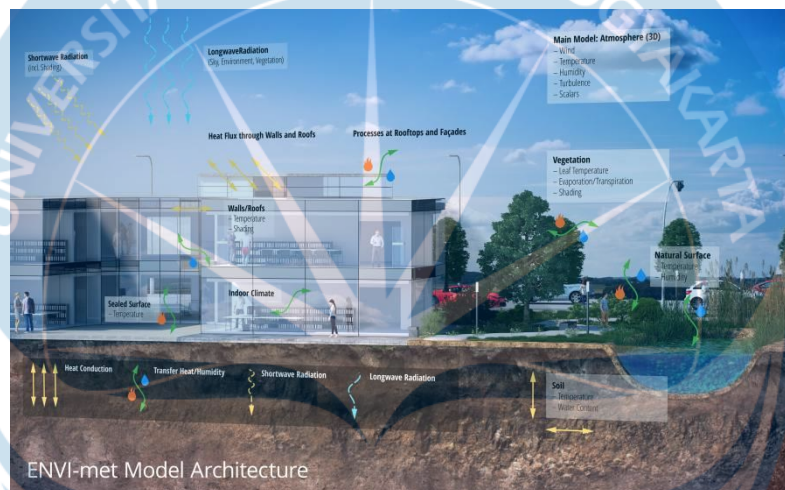
Tabel 2.2 Hasil Simulasi dan Visual Dari *Software* Autodesk Ecotect

Jenis Simulasi	Hasil Simulasi
<i>Shadows Overview-Shadows Accumulated Over A Time Range</i>	
<i>Solar Radiation- Insolation Values Displayed On Model Geometry</i>	
<i>Lighting Analysis- Natural Lighting or Daylighting Analysis</i>	
<i>Artificial lighting Analysis</i>	
<i>Acoustick Analysis- Sprayed Acoustic Rays & Particles</i>	
<i>Thermal Performance- Hourly Temperature Graphs Display</i>	
<i>Visual Access- Access To Views Outside From A Partitioned Office Floor</i>	

Sumber: Analisis Penulis

2.4.2 Envimet

ENVI-met adalah aplikasi perangkat lunak simulasi iklim mikro yang sangat baik dengan kemampuan untuk mengintegrasikan berbagai elemen alam termasuk angin, radiasi, tutupan awan, tanaman, tanah dan polutan. Sejak dirilis pada tahun 1998, Envi-met terus berkembang dan banyak membantu penelitian baik dalam bidang arsitektur hingga berbagai cabang ilmu lainnya. Envi-met adalah model non-hidrostatik tiga dimensi holistik untuk simulasi jenis bidang permukaan, tanaman, dan interaksi udara. Envi-met juga sering digunakan untuk mensimulasikan lingkungan perkotaan dan menilai efek dari visi arsitektur hijau.

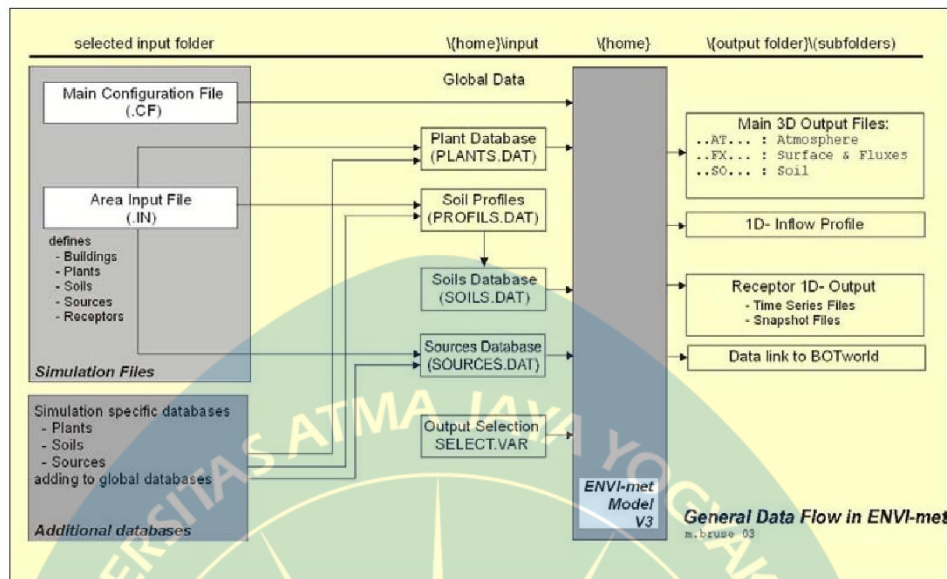


Gambar 2.17 Envi-Met *Model Architecture*

Sumber: envi-met.info

Envi-met dirancang untuk skala mikro dengan resolusi khas horizontal yang mampu menghitung dan mensimulasikan iklim di daerah perkotaan dengan resolusi grid khas 0,5 hingga 10 meter dalam ruang dan 10 detik dalam waktu. Hal ini untuk menghitung dinamika iklim mikro selama siklus diurnal (24 hingga 48 jam) menggunakan hukum dasar dinamika fluida dan dinamika termal. Resolusi ini memungkinkan untuk menganalisis interaksi skala kecil antara bangunan individu, permukaan dan tanaman.

Variabel *prognostic* utama dari program ini adalah kecepatan dan arah angin, suhu dan kelembaban udara, turbulensi, fluks radiasi, bioklimatologi dan dispersi gas dan partikel. Struktur, data dasar ENVI-met direpresentasikan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.18 Basic Data Structure Of Envi-Met

Sumber: I. Ozkeresteci., K., Crewe., J. Brazel A., M. Bruse., (2003).

Software Envi-met memungkinkan pengguna untuk menciptakan kondisi keberlanjutan kehidupan dilingkungan yang terus berubah. Beberapa simulasi yang dapat dilakukan oleh *software* Envi-met:

1. Polusi Udara

Dapat mensimulasikan proses pelepasan, penyebaran dan pengendapan polutan pada skenario desain maupun perencanaan perkotaan yang berbeda guna memandu upaya mitigas menggunakan solusi infrastruktur hijau.

2. Kenyamanan Termal

Dapat mensimulasikan dampak dari desain pada lingkungan disekitar, spesifikasi bidang tanah, bahan bangunan dan penggunaan vegetasi dinding fasad atau atap bangunan, sehingga konfigurasi dari desain dapat dipikirkan lebih baik untuk membantu mengurangi factor tekanan panas perkotaan atau lingkungan sekitar.

3. Arus Aliran Angin

Simulasi untuk menganalisis dan memecahkan masalah yang melibatkan aliran angin pada lingkungan kompleks pada lingkungan kompleks, program dalam Envi-met menggunakan computasi fluida dinamika (CFD) yang diintergrasikan

pada model 3d didalam *software* sehingga dapat mudah melihat pergerakan angin melewati maupun menabrak bangunan.

4. Radiasi Sinar Matahari

Radiasi sinar matahari merupakan komponen dengan variasi spasial dan temporal paling tinggi diperkotaan dari seluruh elemen iklim mikro lainnya. Analisis radiasi matahari dengan cepat dan komprehensif pada semua selubung bangunan dengan mempertimbangan lingkungan maupun vegetasi disekitarnya. Envi-met menyediakan hasil simulasi analisis tahunan jangka panjang dari parameter iklim. Dapat menghitung dan melacak distribusi radiasi matahari langsung, diffuse, serta pantulan gelombang pendek dilingkungan luar ruangan dengan resolusi spasial maupun temporal yang tinggi.

5. *Connecting Inside & Outside*

Dalam perangkat Envi-met, pendekatan holistic dan resolusi tinggi memungkinkan simulasi metabolisme untuk skala mikro perkotaan sebagai sistem kompleks dan aliran energi pada elemen dari fasad setiap individu bangunan. Hal ini untuk dapat memperhitungkan kerangka simulasi yang terintegrasi. Juga untuk memahami kontribusi dari setiap bangunan terhadap sistem iklim mikro perkotaan dari nilai pertukaran energi antara interior bangunan dengan iklim diluarnya.

6. Fisik Bangunan

Program Envi-met dapat menganalisis kinerja energi setiap bangunan dalam domain model secara paralel dengan menghitung kondisi iklim mikro luar ruangan. Matahari dan angin merupakan factor utama yang mengendalikan termodinamika permukaan dan distribusi panas.

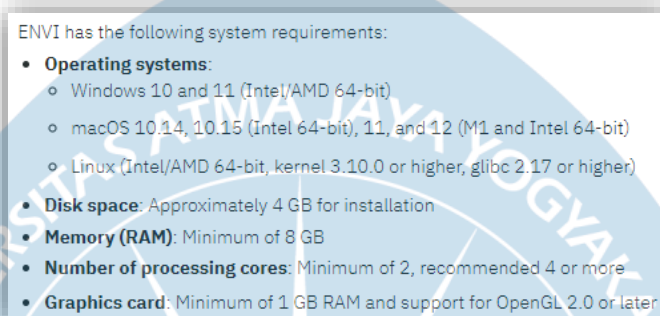
Model bangunan yang dibuat akan secara langsung digabungkan dengan model dinamika fluida luar bangunan yang menyediakan data angin terperinci setiap detik pada hari itu untuk setiap segmen dinding, fasad dan selubung bangunan.

7. Arsitektur Lanskap Berkelanjutan

Menggunakan *software* Envi-met memungkinkan untuk melakukan simulasi berfokus pada pengolahan desain vegetasi pada rancangan perkotaan yang berhubungan dengan tekanan angin beresiko badai. Envi-met dapat menghitung

secara individual suhu setiap bentuk model dengan mempertimbangkan perkembangan laju fotosintesis, ketersediaan air pada tanah dan perkembangan evapotranspirasi.

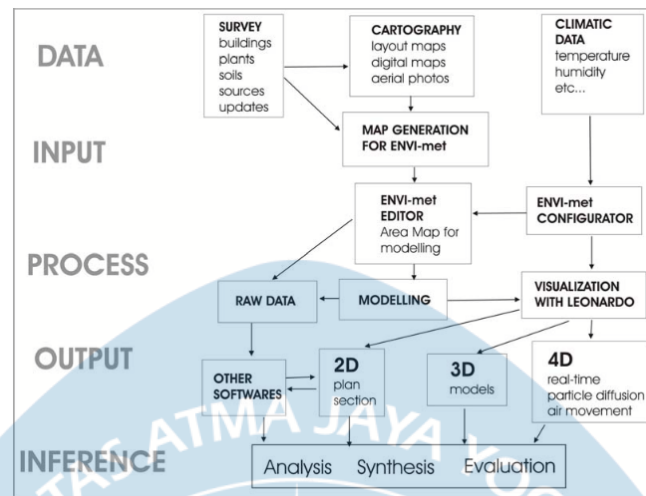
Envi-met dapat digunakan pada perangkat lunak seperti Windows dan Mac. Berikut ini system requirements *software* Envi-met:



Gambar 2.19 Sistem Requirements Envi-met

Sumber: https://www.13harrisgeospatial.com/docs/using_envi_platformsupporttable.html

Penggunaan *software* Envi-met sangat baik untuk mengevaluasi iklim mikro seperti masalah termal karena mempertimbangkan pengaruh vegetasi, hal ini banyak diabaikan *software* lain yang membuat Envi-met unggul untuk iklim mikro perkotaan. Envi-met juga menggabungkan banyak kompleksitas perkotaan seperti vegetasi dari varietas yang berbeda, jalan, bahan bangunan, jenis tanah, konsentrasi polutan dan sebagainya. Envi-met memiliki banyak kemampuan untuk memproses citra satelit, tetapi yang terbaik adalah membandingkan hasilnya dengan hasil perangkat lunak lain dalam penilaian lingkungan.



Gambar 2.20 *Process of Working with the Model in the Research*

Sumber: I. Ozkeresteci., K., Crewe., J. Brazel A., M. Bruse., (2003)

Envi-met memiliki beberapa kemampuan fungsi penggunaannya yaitu sebagai berikut:

1. Analisis Matahari
 - a. Mengetahui waktu terik dan pembayangan matahari;
 - b. Menganalisis cahaya yang masuk melalui kaca;
 - c. Analisis bayangan;
 - d. Mengetahui energi matahari.
2. *Green & Blue Technologies*
 - a. Manfaat fasad dan penghijauan atap;
 - b. Dampak ruang hijau dan resapan air;
 - c. Simulasi dinding hidup;
 - d. Pendinginan udara melalui pancaran air.
3. Fisik Bangunan
 - a. Suhu fasad dan atap bangunan;
 - b. Proses pertukaran dengan dinding bervegetasi;
 - c. Interaksi iklim mikro luar ruangan dengan iklim dalam ruangan;
 - d. Keseimbangan air dan energi sistem dinding hidup.
4. Lintas pohon
 - a. Analisis kondisi pertumbuhan tanaman;
 - b. Simulasi tekanan angin dan kerusakan pohon;

- c. Simulasi penggunaan air;
 - d. Tersedia model representasi 3D jenis vegetasi.
5. Aliran Angin (penghawaan)
- a. Pola angin dilingkungan yang kompleks;
 - b. Kecepatan angin disekitar gedung dan pepohonan;
 - c. Kenyamanan angin;
 - d. Suhu udara.
6. Kenyamanan termal luar ruangan
- a. Temperatur udara;
 - b. Temperatur radiasi dari permukaan sekitarnya;
 - c. Pergerakan udara disekitar tubuh;
 - d. Kelembapan relatif lingkungan.
7. Penyebaran Polutan Udara
- a. Emisi, transportasi partikel dan gas;
 - b. Reaksi kimia gas inert dan gas reaktif antara siklus NO_x, Ozon dan (B) VOC
 - c. Lingkungan sedimentasi/pengendapan dan deposisi pada tumbuhan maupun permukaan;
 - d. Alat terintegrasi untuk menghitung profil emisi lalu lintas;
 - e. Perhitungan indeks biometeorologi seperti suhu radiasi rata-rata, PMV/PPD, PET atau UTCI melalui BioMet.
8. Konektifitas
- a. Mendukung proses import model dari *software* AutoCad;
 - b. Mendukung import file dari citra satelit maupun dari ArchGIS;
 - c. Tersedia plugin Envi-met yang kompetibel dengan *software* Sketchup;
 - d. Tersedia plugin yang kompetibel dengan *software* Grasshopper dari Rhinoceros 6 dan Dynamo untuk Revit.

Selain itu Envi-met juga memiliki beberapa keterbatasan diantaranya sebagai berikut:

1. Pembuatan model pada *software* akan sangat merepotkan karena tidak bisa melewati bentuk bangunan yang rumit atau jalan yang miring, semua garis harus lurus dan tegak lurus;

2. Cukup sulit dan susah saat pembuatan model dengan bentuk yang tidak sederhana seperti atap, permainan maju mundur masa dan bidang fasad, dll;
3. Pembuatan material baru didalam *software*, harus memasukkan beberapa data koefisien material, dimana untuk pemula cukup sulit mendapatkan serta memasukkan data tersebut;
4. Membutuhkan kemampuan perangkat komputer yang bagus untuk dapat melakukan simulasi waktu bulanan dan satu tahun penuh;
5. Dengan pembuatan model yang menggunakan grid area yang sangat luas, simulasi membutuhkan waktu, dalam kasus mencapai 48 jam;
6. Penggunaa *software* Envi-met dengan versi dibawah V3.1 dan V4.0 yang dirilis tahun 2016, akan menemukan batasan model pada perhitungan penyimpanan panas di dinding diabaikan. Itu berarti model tidak dapat menghitung pelepasan panas dari dinding pada malam hari yang berdampak pada peningkatan suhu udara pada malam hari, sehingga meningkatkan intensitas panas perkotaan dijalan lembah/ngarai;
7. Area simulasi pada *software* versi *basic (trial)* terbatas pada sel grid $100 \times 100 \times 40$ dan tidak dapat melakukan simulasi area besar dengan resolusi halus menggunakan sel grid 100×100 terbatas ini.
8. Penggunaan grid maksimum yang tersedia, hanya $250 \times 250 \times 30$. Karena *software* ini sendiri membutuhkan spek komputer yang berkualitas tinggi. Yang harus dapat dilakukan adalah mengubah ukurannya, tidak lebih dari $250 \times 250 \times 30$, pastikan ketinggiannya maksimal 25m (grid itu sendiri membutuhkan ruang untuk menghitung aspek atmosfer).
9. Pembuatan model dan simulasi bisa sangat lama maupun cepat, tergantung pada penggunaan banyaknya sel grid dan luas area permukaan lingkungan yang ingin diteliti;
10. Masalah stabilitas saat mensimulasikan ngarai perkotaan yang berkelok-kelok atau lingkungan yang berbatasan;
11. Kelemahan umum bahwa kelembaban relatif tidak bersifat prognostik, sehingga setiap kali mencoba mensimulasikan perkotaan pada wilayah lembab (RH

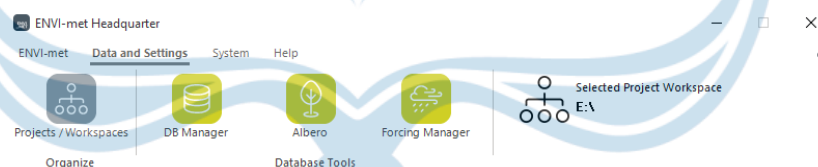
diatas 50%), hasilnya akan mendapatkan output RH yang salah diatas 100%. Hal ini lebih tampak pada musim dingin.

12. Meskipun simulasi Envi-met mempertimbangkan varabel vegetasi, fakta lain dimana efek vegetasi pada fluks radiasi gelombang panjang tampaknya diabaikan.

Dalam menjalankan *software* Envi-met akan menampilkan tampilan awal dan toolbar yang dapat dilihat oleh pengguna. Berikut ini adalah *user interface* dan toolbar pada Envi-met.

1. *Data and Settings*

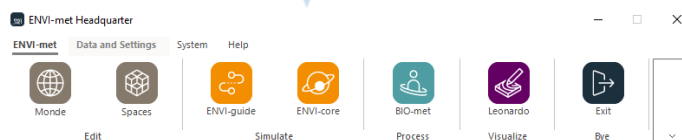
Data and setting adalah *tools* untuk membuat dan mengelola proyek yang ingin disimulasikan dengan mengisi proyek deskripsi, lokasi folder penyimpanan dari proyek yang dibuat pada perangkat komputer, dan mengedit input peta digital tata letak domain. Oleh karena itu pengguna harus mengetahui data dasar dari sistem informasi geografis lain dan/atau harus menghasilkan data itu sendiri dalam format kartografi Envi-met. Tahap ini bisa sangat kompleks tergantung pada domain lingkungan yang dipilih untuk bekerja. Berikut ini adalah tampilan *user interface* Envi-met.



Gambar 2.21 *Data and setting* Envi-met

Sumber: Analisis Penulis (2022)

2. *Workspace Envi-met*

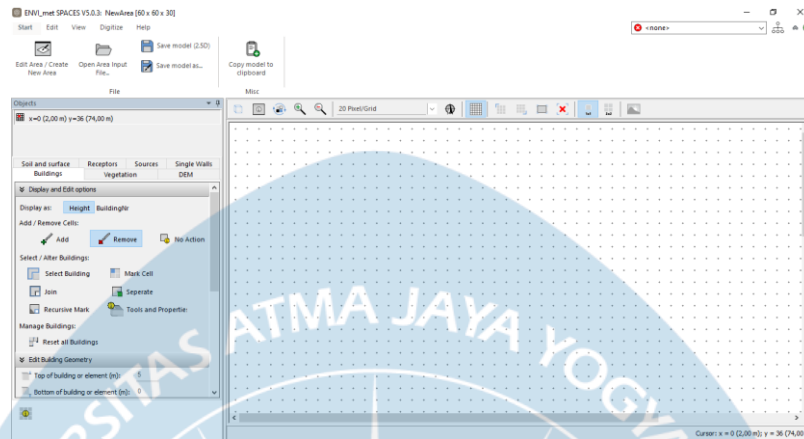


Gambar 2.22 *Tools Workspace* Envi-met

Sumber: Analisis Penulis (2022)

Tampilan *workspace* pada Envi-met akan muncul seperti gambar diatas saat memilih “Space”. *User* dapat langsung memasukkan file 3D dengan format .IN atau dapat langsung membuat pada area grid yang tersedia. Envimet dapat

memasukan gambar (*siteplan*/situasi lingkungan) dengan format .bmp sebagai referensi tata letak massa bangunan pada kawasan.



Gambar 2.23 *User Interface Envi-met*

Sumber: Analisis Penulis (2022)



Figure 2. Digital Map.



Figure 3. ENVI-met Interpretation.

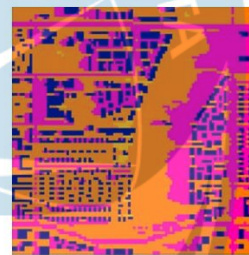


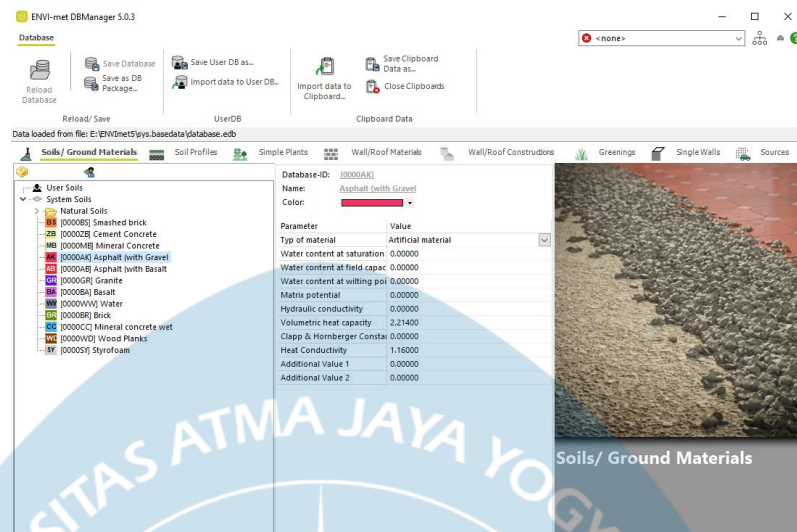
Figure 4. Output.

Gambar 2.24 Hasil *Map Tracing* Envi-met

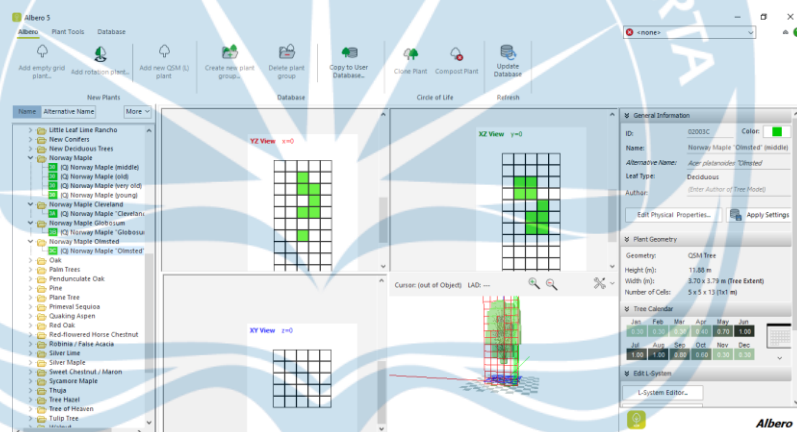
Sumber: I. Ozkeresteci., K., Crewe., J. Brazel A., M. Bruse., (2003)

3. *Building and Vegetation Edit*

Building and vegetation edit merupakan *tools* yang berfungsi untuk menambahkan *data base* objek bangunan, ketinggian, vegetasi, kelembaban, suhu, jenis perkerasan, permukaan jalan yang sesuai dengan karakteristik pembentukkannya. Saat melakukan *tracing* massa pada tata kawasan sesuai dengan gambar referensi yang telah dimasukkan.



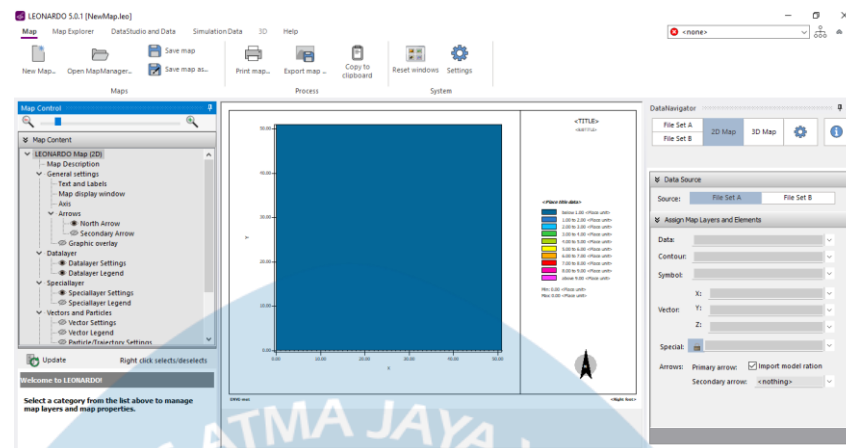
Gambar 2.25 User Interface Building and Vegetation Envi-met
Sumber: Analisis Penulis (2022)



Gambar 2.26 User Interface Modeling Envi-met
Sumber: Analisis Penulis (2022)

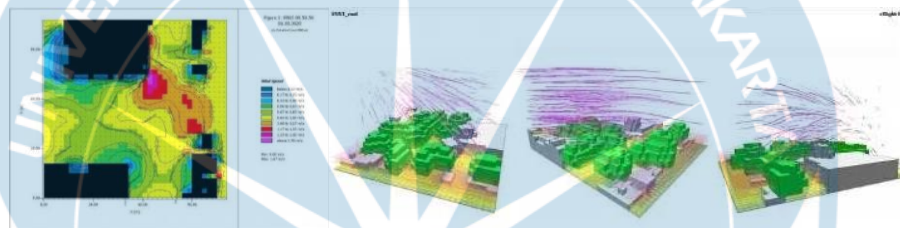
4. Visualisasi

Data keluaran dapat diinterpretasikan dan divisualisasikan dalam LEONARDO. Selain itu dimungkinkan untuk mengedit data ke program lain karena struktur program bersifat publik.



Gambar 2.27 User Interface LEONARDO

Sumber: Analisis Penulis (2022)



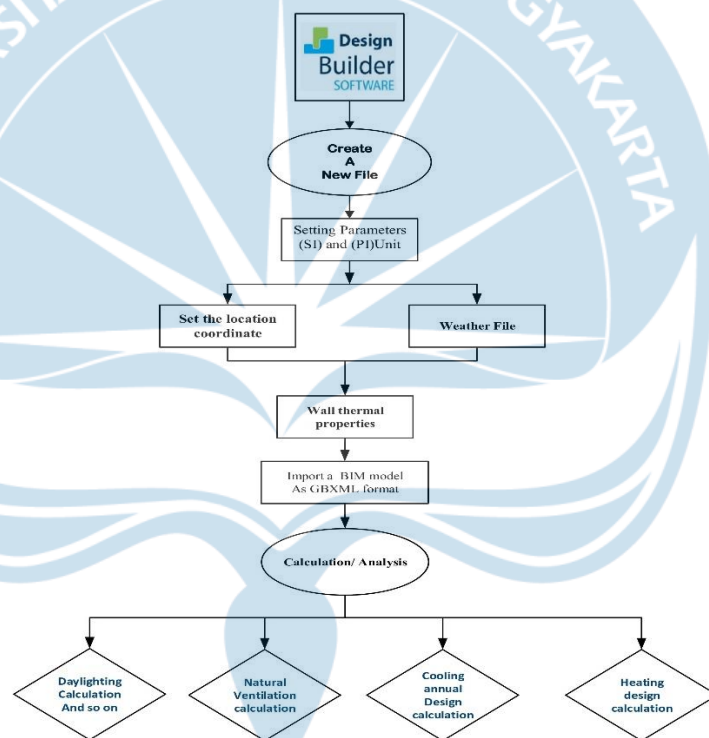
Gambar 2.28 Hasil Simulasi Visual dengan LEONARDO

Sumber: Analisis Penulis (2022)

Envi-met dapat mensimulasikan banyak jenis iklim mikro dan memiliki kemampuan visualisasi yang cukup baik, sehingga menjadikannya perangkat lunak simulasi iklim mikro paling populer saat ini. Maka dari itu banyak digunakan oleh para sarjana dan praktisi dalam perencanaan kota dan arsitektur lansekap untuk meningkatkan kualitas udara (Wang et al, 2018) dan mengurangi efek pulau panas (Wang et al, 2016; Berardi dan Graham, 2020; Berardi et al, 2020). Oleh karena itu, sebagian besar peneliti menggunakan Envi-met untuk simulasi dan prediksi, yang memiliki banyak aplikasi untuk pemodelan efek pohon jalanan (Taleghani et al, 2016), taman atap (Ng et al, 2012), bentuk arsitektur (Umberto dan Wang, 2016), dan bahan termal dengan albedo yang berbeda (Bonggeun dan Kyunghun, 2015). Perangkat lunak ini telah menjadi alat penting untuk mempelajari masalah yang terkait dengan UHI.

2.4.3 Design Builder

Design Builder adalah perangkat lunak berbasis EnergyPlus yang digunakan untuk pengukuran, kontrol energi, karbon, pencahayaan, dan kenyamanan. Design Builder dikembangkan untuk memudahkan proses simulasi pada bangunan yang kompleks dengan cepat bahkan oleh pengguna non-ahli. Design Builder dikembangkan untuk digunakan oleh berbagai pengguna profesional seperti arsitek, insinyur, pekerja jasa bangunan, konsultan energi dan departemen universitas terkait. Design Builder menggunakan mesin simulasi termal dinamis EnergyPlus untuk menghitung kinerja energi bangunan.



Gambar 2.29 *Illustrating the Design-Builder Sequence of Simulation*

Sumber: Maimagani, S. S., Majid R. A., Chung, L. P., (2022)

Design Builder menggunakan mesin simulasi EnergyPlus yang dikembangkan diatas fitur kemampuan paling populer yaitu BLAST dan DOE-2, tetapi pada saat yang sama ia memiliki banyak fitur inovatif seperti waktu simulasi kurang dari satu jam, simulasi zona berbasis keseimbangan perpindahan panas, sistem pendingin udara multi-zona, kenyamanan termal dan sistem fotovoltaik. Beberapa simulasi yang dapat dilakukan oleh *software* DesignBuilder:

1. Simulasi Evaluasi Opsi Fasad

Simulasi ini untuk mengevaluasi opsi fasad dalam hal panas berlebih, konsumsi energi, dan parameter pelingkup/naungan.

2. Simulasi Analisis Pencahayaan Alami

Evaluasi pencahayaan disiang hari yang paling optimal. Hal ini untuk mengontrol desain dengan sistem pencahayaan dan menentukan tingkat penghematan listrik yang sesuai.

3. Simulasi Visualisasi 3d Model *Site Plan* dan Pelingkup Bangunan

Memvisualisasikan tata letak bangunan pada *site* maupun *layout* didalamnya yang menampilkan visual bayangan dari desain pelingkup matahari.

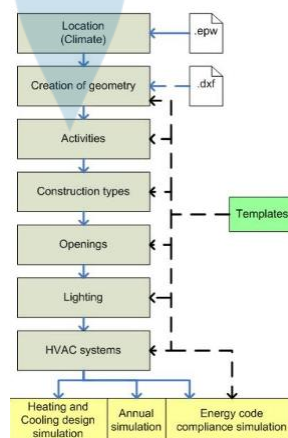
4. Simulasi Termal Ventilasi Alami

Simulasi ini untuk menganalisis kenyamanan termal yang terjadi pada bangunan yang didesain dengan ventilasi buatan maupun alami.

5. Simulasi Ukuran Peralatan dan Sistem HVAC

Simulasi ini untuk menentukan kapasitas peralatan pemanas dan pendingin untuk memasukkan skenario untuk membantu desain HVAC

Fitur yang paling menarik dari *software* ini yaitu *window information tools help* yang memberikan tips dan panduan maupun menyertakan video tutorial singkat yang akan memandu pengguna melalui pembuatan model termal. Hal ini berguna bagi pemula memahami konsep permodelan termal. Beberapa antarmuka *software* lain tidak memiliki fungsi ini.



Gambar 2.30 Alur Kerja DesignBuilder

Sumber: Maile, T., Bazjanac, V., Fischer, M. A., (2007)

Beberapa fungsi dan tujuan penggunaan yang dapat dilakukan oleh DesignBuilder:

1. DesignBuilder mendukung proses pertukaran data dengan mengimpor 2D file DXF kedalamnya sebagai panduan bentuk atau footprint desain bangunan;
2. Memungkinkan untuk impor data model arsitektur 3D yang dibuat di Revit, ArchiCAD atau sistem CAD 3D lain yang mendukung dxf dan format file gbXML;
3. Dapat digunakan sebagai alat visual desain model yang sekaligus dapat menganalisa dan simulasi;
4. Pembuatan data iklim (*wheater data*) dapat langsung bisa dibuat didalam *software*, selama *user* memperoleh data yang dibutuhkan;
5. Dapat menghitung konsumsi energi tahunan;
6. Ketika menginstal *software* Design Builder, mesin EnergyPlus sudah termasuk didalamnya;
7. Memberikan data kinerja dari ukuran komponen HVAC dan suhu musim panas yang maksimum;
8. Design builder memfasilitasi user untuk dapat langsung melakukan setting manual, material konstruksi, aktifitas perzona, pencahayaan, HVAC sampai CFD dengan parameter yang lebih detail.

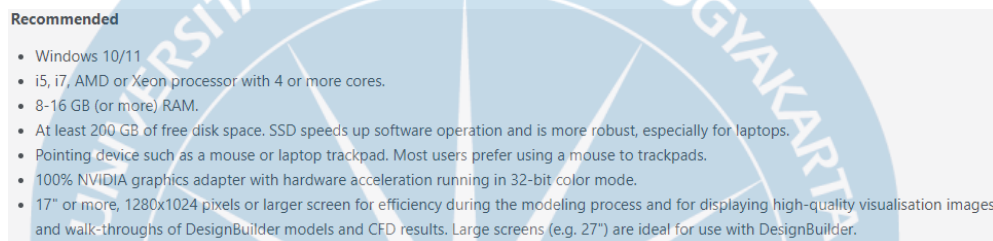
Beberapa keterbatasan dari *software* Envi-met:

1. Meskipun simulasi dan opsi input parameter yang cukup detail pada Design Builder sangat bagus, akan tetapi hasil dari simulasi pencahayaan dan parameter lain, kebanyakan hanya berupa grafik dan tidak ada visualisasinya;
2. Hasil simulasi CFD berupa grafik, tabel, grid *airflow* dan tidak terdapat visualisasi layaknya Autodesk CFD;
3. Design Builder tidak mendukung pertukaran data 3D geometri, karena tidak ada fungsi tersebut diantarmukanya;
4. Tidak dapat mengimport file input EnergyPlus dari bangunan yang ada;
5. Belum tersedia dengan bebas ditemukan data iklim khususnya kawasan Indonesia;
6. Design Builder tidak sepenuhnya mendukung semua fungsi EnergyPlus, terutama dalam mengimplementasikan “kompleks”. HVAC memberikan

definisi sederhana dan ringkas dari sistem HVAC, tetapi tidak menyertakan informasi rinci tentang komponen dan topologinya. Dalam hal ini definisi berbasis komponen adalah salah satu kekuatan utama EnergyPlus karena memberi pengguna fleksibilitas dalam pemodelan;

7. Ketidakmampuan untuk mengimpor file input EnergyPlus, membatasi kegunaan program dan memaksa pengguna untuk membuat ulang model geometri 3D untuk analisis energi.

Design Builder dapat digunakan pada perangkat lunak seperti Windows dan Mac. Berikut ini system requirements *software* Design Builder:

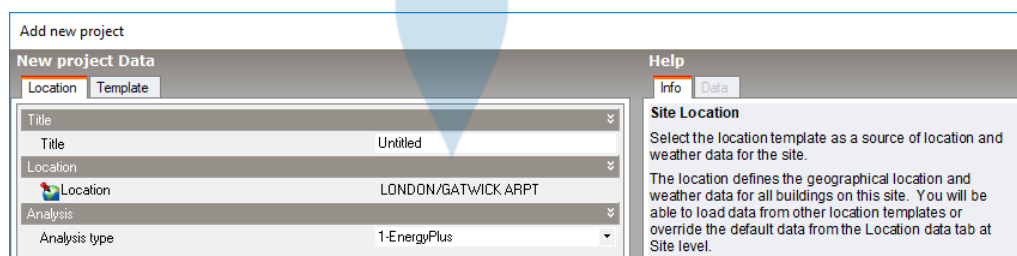


Gambar 2.31 *System Requirements Software* Design Builder

Sumber: <https://support.designbuilder.co.uk/index.php?/Knowledgebase/Article/View/25/0/hardware-requirements&Itemid=100>

Dalam menjalankan *software* Ecotect akan menampilkan tampilan awal dan toolbar yang dapat dilihat oleh pengguna. Berikut ini adalah user interface dan toolbar pada Design Builder:

1. *Setup – Determining Location & WEA*

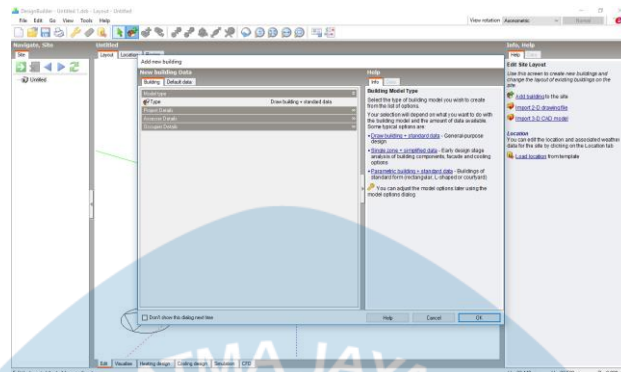


Gambar 2.32 *Determining Location & WEA* Design Builder

Sumber: Analisis Penulis (2022)

Tampilan muka pengguna awal, dimana untuk menjalankan *software* berserta simulasi, pengguna harus memasukkan beberapa data yang diperlukan seperti nama proyek, peruntukan penggunaan bangunan, data cuaca lokasi dan lainnya.

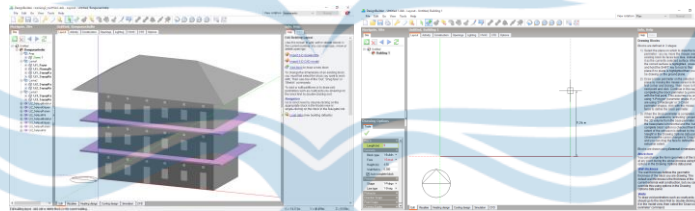
2. Building Model - Draw Plan, Axonometric



Gambar 2.33 Workspace Draw Plan, Axonometric Design Builder

Sumber: Analisis Penulis (2022)

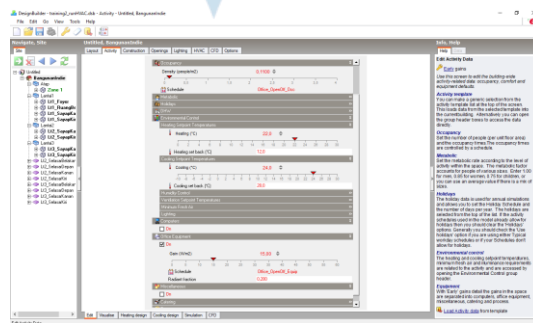
Tampilan antara muka saat melakukan proses permodelan dengan 2D maupun 3D axonometric untuk lebih leluasa menampilkan visual desain. Terdapat Drawing Option pada jendela sebelah kiri untuk mengatur ketinggian dinding, ketebalan, jenis garis dan lainnya. Juga terdapat susunan layer dan zona dari bangunan masing-masing massa ataupun lantai yang dibuat untuk mempermudah pengecekan dan pengeditan.



Gambar 2.34 User Interface 3D Model and Draw Plan Design Builder

Sumber: Analisis Penulis (2022)

3. Setting Up – Activity, Construction, Openings, Lightings, Hvac (nat vent)



Gambar 2.35 Activity, Construction, Openings, Lightings, Hvac (nat vent)

Sumber: Analisis Penulis (2022)

Setelah proses permodelan, tampilan selanjutnya adalah menu untuk melakukan penyesuaian aktifitas penggunaan bangunan, material yang digunakan pada model, bukaan, penggunaan pencahayaan maupun HVAC. Hal ini bertujuan untuk mendeskripsikan apa yang hendak ingin diskenariokan pada bangunan sebelum disimulasikan.

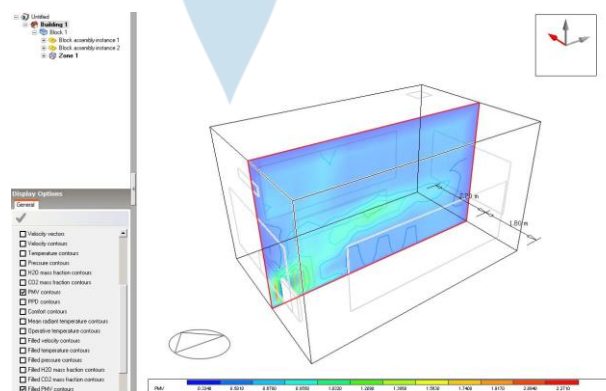
4. Visualise, Simulation & Results



Gambar 2.36 Visualise, Simulation & Results Design Builder

Sumber: Analisis Penulis (2022)

Tampilan halaman hasil dari simulasi Design Builder yang dapat dilihat analisis kesesuaiannya dengan standar bangunan yang berlaku. Tampilan yang dimunculkan merupakan grafik maupun tabel bukan merupakan visual yang terjadi pada objek 3D model. Design Builder tidak mendukung visualisasi pada permodelan, tetapi pengguna dapat menggunakan tool CFD untuk dapat melihat beberapa visual pergerakan angin, HVAC dan lainnya.



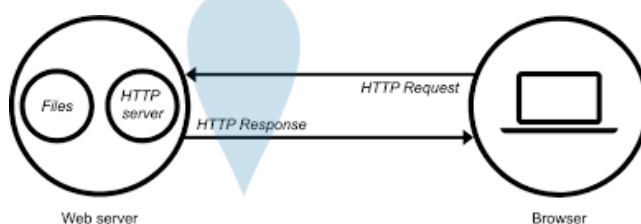
Gambar 2.37 Visualise Simulation CFD

Sumber: Analisis Penulis (2022)

2.5 Website

Menurut Prayitno, A., Safitri, Y., (2015) bahwa *website* merupakan tampilan seluruh halaman web yang terdapat dalam sebuah domain mengandung informasi. *Website* merupakan halaman informasi yang di tersedia melalui jalur internet dan dapat di akses diseluruh dunia selama terhubung atau terkoneksi dengan jalur internet yang berisi kumpulan komponen yang terdiri dari teks, gambar, suara dan animasi yang menarik untuk di kunjungi sebagai media informasi. Halaman sebuah *website* melibatkan HTML (Hypertext Mark up Language). Menurut Prasetio, A. (2010) bahwa HTML merupakan Bahasa pemograman yang fungsinya mendesain sebuah halaman. Semua pengguna di seluruh dunia dapat memiliki akses untuk menggunakan maupun mengembangkan halaman *website*. Proses cara menjalankan halaman *website* pada browser sebagai berikut:

1. Mengisi alamat web pada browser pendukung yang di gunakan (Google, Chrome, Safari, Brave, Firefox, Safari dll).
2. Browser mengirim permintaan pengguna ke web server melalui jaringan internet.
3. Server merespon dengan memunculkan halaman yang di request dalam bentuk teks kode HTML.
4. Browser yang di gunakan akan membaca lalu menerjemahkannya.
5. Browser menampilkan hasil dari permintaan.



Gambar 2.38 Web Server and Browser System

Sumber: <https://www.niagahoster.co.id/blog/web-server-adalah/>

(diakses 12 maret 2022, pukul 21.00WIB)

Menurut Hidayat, R. (2010) bahwa saat ini ada banyak *website* yang berkembang, dan jenisnya di kelompokkan berdasarkan fungsi, sifat, style maupun bahasa pemograman yang digunakan. Jenis *website* berdasarkan fungsinya:

1. *Personal website*;
2. *Commercial website*;
3. *Government website*;
4. *Non-profit organization website*.

Jenis *website* berdasarkan sifatnya:

1. *Website* dinamis;
2. *Website* statis.

Jenis *website* berdasarkan bahasa pemrogramannya:

1. *Server side*;
2. *Client side*.

Ada beberapa hal yang perlu di perhatikan dalam membangun sebuah *website*. Kegunaan situs, tujuan *intrinsic situs*, dan estetika yang membentuk tiga pilar yang perlu di perhatikan dalam mendesain *website*.



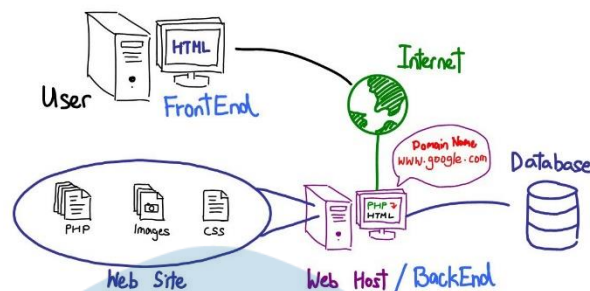
Gambar 2.39 Tiga Pilar *Design* Situs Web

Sumber: Lawrence, D., Tavakol, S. (2007)

Hal-hal yang perlu di persiapkan saat hendak membangun desain sebuah *website* sebagai berikut.

1. Nama domain (*domain name/ URL(Uniform Resource Locator)*);
2. Rumah *website* (*website hosting*);
3. *Content management system* (CMS).

Hal lain yang perlu di perhatikan selain dari desain web dalam membuat *website* yang berfungsi sebagai tempat pembuatan model dan simulasi yakni administrator, *cloud computing* dan *user* yang ketiga hal ini diatur dalam kategori *front-end* dan *back-end*.



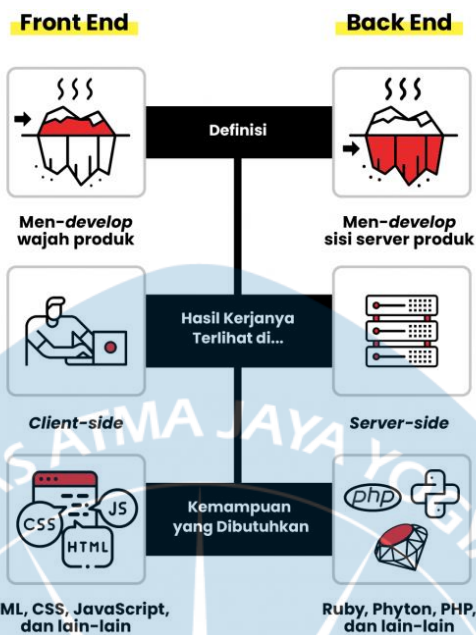
A Web Development Roadmap

Gambar 2.40 Web Development Roadmap

Sumber: <https://codeburst.io/the-ultimate-2019-web-developer-roadmap-7d024cbe973a> (diakses 12 Maret 2022, pukul 21.00WIB)

2.5.1 Front-End

Front-end (Client-side) merupakan apa yang dilihat pada tampilan depan sebuah situs web oleh pengguna (*user*) dan menghubungkannya dengan sistem *back-end*. *User interface* yang digunakan oleh pengguna web untuk berinteraksi (Arhandi, P. P. 2016). Sistem kerja *Front-end developer* bertanggung jawab atas komposisi yang di tampilkan pada sebuah situs *website* maupun aplikasi. Isi konten, warna, jenis font, ukuran, gambar maupun tombol-tombol harus membuat pengguna nyaman ketika menggunakan dan berinteraksi didalamnya. Biasanya tidak sepenuhnya dalam merancang desain dari sebuah web di lakukan oleh front-end, tetapi dilakukan juga oleh UI designer. Kemudian front-end memasukkan desain dari UI designer kedalam bentuk yang lebih interaktif terhadap pengguna dan menghidupkan desain tersebut. Bahasa pemrograman dan kemampuan yang harus dimiliki seperti CSS (*Cascading Style Sheets*), HTML (*Hypertext Markup Language*), dan Javascript.



Gambar 2.41 Sistem *Front End* dan *Back End*

Sumber: <https://glints.com/id/lowongan/perbedaan-front-end-dan-back-end/#.Yiy6nHpBzDc> (diakses 12 Maret 2022, pukul 23.00 WIB)

2.5.2 *Back-End*

Menurut *Back-end (server-side)* merupakan tempat berlangsungnya proses editing oleh sistem dan tidak dapat di gunakan langsung oleh *user*. Sistem di balik layar yang mengolah *database* dan juga server. Menurut Wijaya, I. G. A. (2020) bahwa *back-end* berfungsi mengupdate tampilan halaman *front-end* dengan menampilkan informasi data yang ada pada *database* menggunakan grafik atau semacamnya. Sistem kerja *back-end developer* bertanggung jawab agar *website* berjalan maksimal dengan melakukan kontrol dari sisi server, sistem, dan *database*. Menurut Firdiansyah, A., (2020) bahasa pemrograman yang biasanya digunakan adalah PHP, Ruby, Python dan ilmu yang perlu di kuasai yaitu *software* seperti MySQL, Oracle dan SQL Server, hal ini penting karena berguna dalam pengembangan berbasis *database*.



Gambar 2.42 Bahasa Pemrograman untuk *Back End*

Sumber: https://www.kuasateknologi.com/2018/01/pengertian-front-end-back-end-full_18.html (diakses 12 Maret 2022, pukul 22.00WIB)

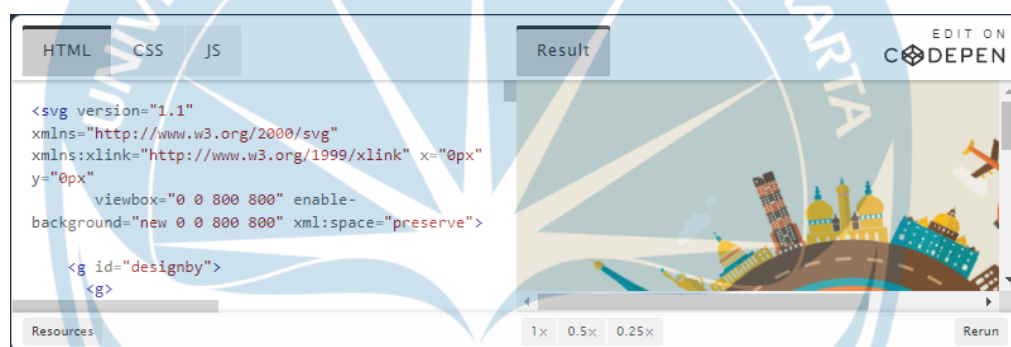
2.5.3 WebGL Grafik 2D dan 3D untuk Web

WebGL (*Web Graphics Library*) adalah API JavaScript untuk merender grafik 3D dan 2D interaktif berkinerja tinggi dalam browser *website* apapun yang kompatibel tanpa menggunakan plug-in. WebGL Publisher digunakan untuk menerbitkan data geometris dalam lingkup 3D untuk web. WebGL dapat mengimport berbagai format geometri dan dapat memodifikasikan tampilannya dengan mengubah warna, transparansi, menambahkan tekstur dll. Kemudian geometri dapat diekspor ke dalam representasi HTML dan dipublikasikan didalam *website*. Dukungan untuk WebGL tersedia di Firefox, Google Chrome, Opera, Safari, Internet Explorer dan Microsoft Edge, namun perangkat pengguna juga harus memiliki perangkat keras yang dapat mendukung fitur tersebut. Format import yang didukung oleh WebGL yakni Geometri DXF (lines, arcs), Step, IGES, Wavefront (.Obj), 3D Studio (.3ds), STL (.stl) dan CADMAI CAD models (.cmi).

2.5.4 SVG (*Scalable Vector Graphic*)

SVG adalah bahasa untuk menggambarkan grafik dua dimensi dalam XML. Grafik ini dapat terdiri dari jalur, gambar, dan / atau teks, merupakan format gambar yang dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan *website* diinternet. Kelebihan SVG yakni kualitas gambar tetap terjaga tidak blur ataupun pecah meskipun sudah dizoom dan perbesar dengan resolusi maksimal (*Scalable*). SVG saat ini sudah banyak digunakan para Web developer untuk kebutuhan *website* dan rata-rata web browser modern sudah didukung bisa membuka gambar dalam format SVG, seperti Chrome, Firefox, Edge, Safari, Opera, dll.

SVG bisa digunakan untuk membuat ilustrasi vector, infografis, chart, map, dll untuk kebutuhan *website*. Dengan keunggulan SVG dapat otomatis menyesuaikan resolusi layer penggunaan perangkat gadget dan device yang bermacam-macam saat ini. Hal ini mempermudah pekerjaan seorang web designer dengan cukup membuat satu buah file SVG saja dapat digunakan diberbagai perangkat. SVG dapat dikombinasikan dengan web terkini seperti HTML5, CSS3, JavaScript, DOM, ataupun SMIL dan dapat membuat animasi interaktif tanpa membebankan page load *website* secara signifikan. Gambar SVG memiliki file size yang cenderung lebih kecil dibandingkan gambar berbasis raster semaca JPEG, GIF maupun PNG. Dibawah ini adalah contoh animasi berbasis web menggunakan file SVG:



Gambar 2.43 Gambar Animasi Berbasis Web File SVG

Sumber: <https://teknologi.com/svg/>