

BAB II DASAR TEORI

II.1 Angin

Angin merupakan masa udara yang bergerak akibat adanya suatu perbedaan tekanan. Angin bergerak dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Kecepatan angin merupakan suatu satuan yang mengukur kecepatan aliran udara dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah dan dapat diukur dengan menggunakan alat anemometer atau dapat diklasifikasikan dengan menggunakan skala beaufort yang didasarkan pada pengamatan pengaruh spesifik dari kecepatan angin tertentu (Arifin et al., 2018). Pada tabel 2.1 menunjukkan tingkatan macam angin berdasarkan kecepatan angin terhadap skala beaufort.

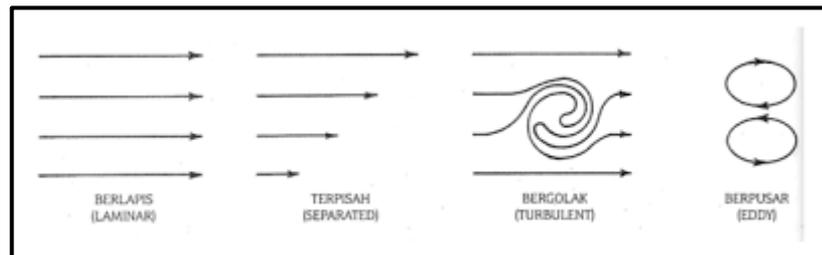
Tabel 2. 1 Skala Beaufort
Sumber: BMK

Skala	Uraian	Kecepatan		Spesifikasi Untuk Menaksir Angin Diatas Daratan
		Knots	Km/Jam	
0	<i>Calm</i>	<1	<1	<i>Calm</i> , asap naik vertical
1	<i>Light air</i> (angin sepoi sangat lemah)	1-3	1.8-5.4	Arah angin dapat dilihat dari condongnya asap
2	<i>Llight breeze</i> (angin sepoi lemah)	4-6	7.2-10.8	Angin terasa pada muka, daun-daun bergoyang, biasanya vane mulai dapat digerakkan oleh angin
3	<i>Gentke breeze</i> (angin sepoi)	7-10	12.6-18	Daun dan ranting-ranting kecil bergerak, angin dapat mengibarkan bendera ringan
4	<i>Moderate breeze</i> (angin sepoi sedang)	11-16	19.8-28.8	Debu dan kertas-kertas berterbangan, cabang-cabang kecil bergerak

Skala	Uraian	Kecepatan		Spesifikasi Untuk Menaksir Angin Diatas Daratan
		Knots	Km/Jam	
5	<i>Fresh breeze</i> (angin sepoi segar)	17-21	30.6-37.8	Pohon-pohon kecil berdaun berayun, terjadi puncak gelombang kecil pada permukaan air
6	<i>Strong breeze</i> (angin sepoi kuat)	22-27	39.6-48.6	Cabang-cabang besar bergerak, terdengar desingan kawat telepon atau yang lain, sukar memakai payung
7	<i>Near gale</i> (angin agak kencang)	28-33	50.4-59.4	Seluruh pohon bergrak, terasa susah berjalan melawan arah angin
8	<i>Gale</i> (angin sangat kuat)	34-40	61.2-72	Cabang-cabang patah dan lepas dari pohon-pohon, biasanya menghalangi gerak maju
9	<i>Strong gale</i> (badai lemah)	41-47	73.8-84.6	Kerusakan-kerusakan ringan atas bangunan (atap berterbangan)
10	<i>Strom</i> (badai sedang)	48-55	86.4-99	Pohon-pohon terbongkar, terjadi kerusakan bangunan
11	<i>Violent strom</i> (badai kuat)	56-63	100.8-113.4	Kerusakan-kerusakan meluas
12	<i>Hurricane</i> (angin topan)	>63	>113.4	Kerusakan hebat

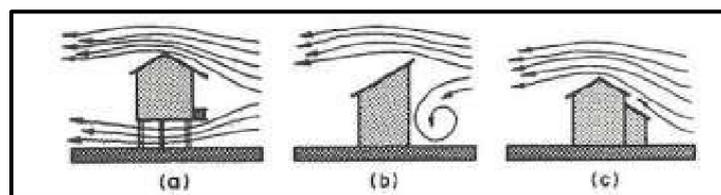
Menurut (Boutet, 1987) dalam (Aliran et al., 2014) , tipe aliran udara memiliki empat tipe pola aliran yaitu:

- Berlapis (*laminar*) : Tipe aliran yang cenderung sejajar dan mudah diprediksi
- Terpisah (*separated*) : Tipe aliran yang kecepatan anginnya berkurang walaupun tetap bergerak sejajar
- Bergolak (*turbulen*) : Tipe aliran yang acak dan susah diprediksi
- Berpusar (*eddy*)



Gambar 2. 1 Jenis tipe pola aliran udara (Aliran et al., 2014).

Menurut (Boutet, 1987) dalam (Aliran et al., 2014), aliran udara pada skala bangunan dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu, bangunan itu sendiri, vegetasi di sekitar bangunan, pagar di sekitar bangunan, dan bangunan disekitarnya. Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pola aliran udara dan kecepatan angin terhadap bangunan itu sendiri, seperti konfigurasi, orientasi, tinggi, bentuk kolong rumah, dan bentuk-bentuk arsitektural lainnya. Pada gambar 2.2 dibawah menunjukkan pola aliran udara pada konfigurasi dan orientasi terhadap jenis bangunan yang berbeda.



Gambar 2. 2 Aliran udara pada konfigurasi dan orientasi bangunan yang berbeda (Aliran et al., 2014).

Anemometer digital merupakan suatu alat untuk mengukur kecepatan angin dalam basis digital, alat ini merupakan alat sederhana dan *portable* untuk dibawa kemana-mana. Anemometer digital dapat digunakan untuk mengukur kecepatan angin, suhu dan angin dingin. Alat ini dapat menyimpan dan

menampilkan informasi untuk metode Skala Beaufort untuk mengukur kecepatan angin.



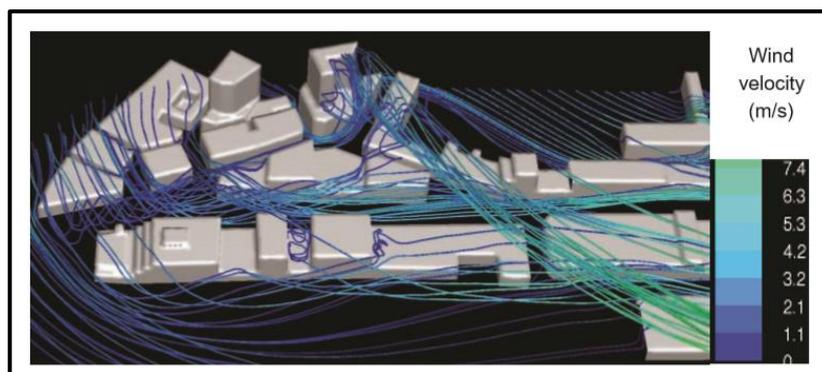
Gambar 2. 3 Anemometer digital
sumber: Alibaba.com

II.2 Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Computational Fluid Dynamics Simulation (CFD) merupakan suatu cabang mekanika fluida yang menggunakan metode numerik untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Saat ini, CFD telah terbukti menjadi faktor pendorong untuk peningkatan performa di berbagai bidang seperti balap Formula 1, arsitektur angkatan laut untuk Piala Amerika, dan pengembangan produk untuk pakaian renang; itu telah tumbuh menjadi industri bernilai sekitar 800 juta dolar setiap tahun (Hanna, 2012). Simulasi CFD memiliki tiga elemen utama yaitu *pra-prosesor*, *prosesor* dan *post-prosesor*. Selain nilai konsentrasi polutan, variabel utama simulasi polutan adalah kecepatan angin, temperatur dan tekanan. Karena mencerminkan kondisi aktual di wilayah studi, sehingga dapat membantu meningkatkan kemampuan memprediksi pergerakan polutan (Ridzuan et al., 2022).

Tabel 2. 2 Penjelasan elemen utama CFD

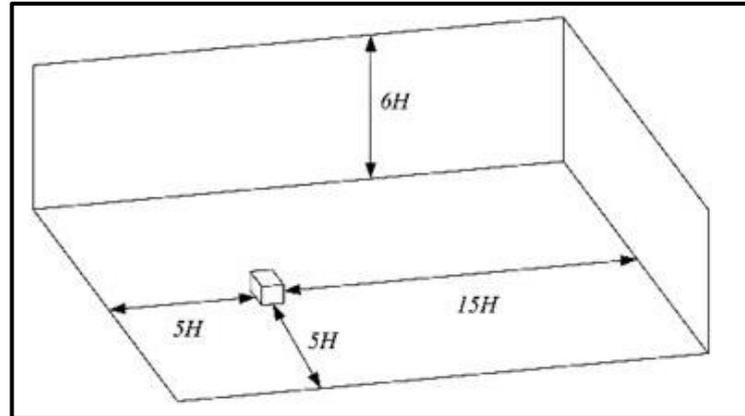
<i>Pre-Processor</i> (Pendefinisian masalah)	<i>Prosesor</i> (Menyelesaikan persamaan numerik)	<i>Post-prosesor</i> (Visualisasi dari hasil simulasi)
Pembangunan geometri/model.	Pengaturan skema diskritisasi (ruang dan waktu).	Analisis data hasil.
Pembangunan grid.	Pengaturan algoritma penyelesaian	Visualisasi data hasil.
Pengaturan properti fluida	Kriteria konvergensi	
Pengaturan kondisi batas.		



Gambar 2. 4 Visualisasi simulasi aliran angin (Billen et al., 2014).

Domain komputasi adalah perluasan udara di sekitar bangunan yang dimodelkan dalam simulasi CFD. Sebelum menjalankan simulasi angin, perlu adanya untuk membuat mesh yang mendiskritisasi ruang di sekitar bangunan tempat aliran udara yang dimodelkan (García-Sánchez et al., 2021). *Blockmesh* dan *hexmesh* adalah suatu tahapan pembuatan wilayah spasial dan mesh geometris yang digunakan sebagai objek simulasi. Konsep dari *blockmesh* dan *hexmesh* adalah membagi sel grid yang dihasilkan dari proses pembuatan grid blok menjadi sel yang lebih kecil yang sesuai untuk permukaan objek geometri input dan memindahkannya ke area grid (Izzaty et al., 2021). Untuk membuat

ukuran domain diperlukan perhitungan, menggunakan $l_u = 5H_{max}$, $l_d = 5H_{max}$, $L = 15H_{max}$ dimana H_{max} merupakan ketinggian bangunan yang lebih tinggi (Revuz et al., 2012).



Gambar 2. 5 ukuran domain (Revuz et al., 2012).

II.3 Pemodelan 3D

Model kota 3D adalah representasi 3D dari lingkungan perkotaan. Menurut (Billen et al., 2014), model kota tiga dimensi (3D) bukan hanya model geometris, tetapi dapat digunakan dengan cara tertentu untuk mempelajari sistem perkotaan. terdapat dua cara untuk membangun model kota 3D melalui akuisisi geometri 3D:

A. Akuisisi geometri 3D

Metode akuisisi data sangat mempengaruhi karakteristik dan kegunaan model. Metode-metode tersebut dapat dikelompokkan ke dalam metode lain berdasarkan fotogrametri, sensor aktif, dan sistem sistem sensor hybrid.

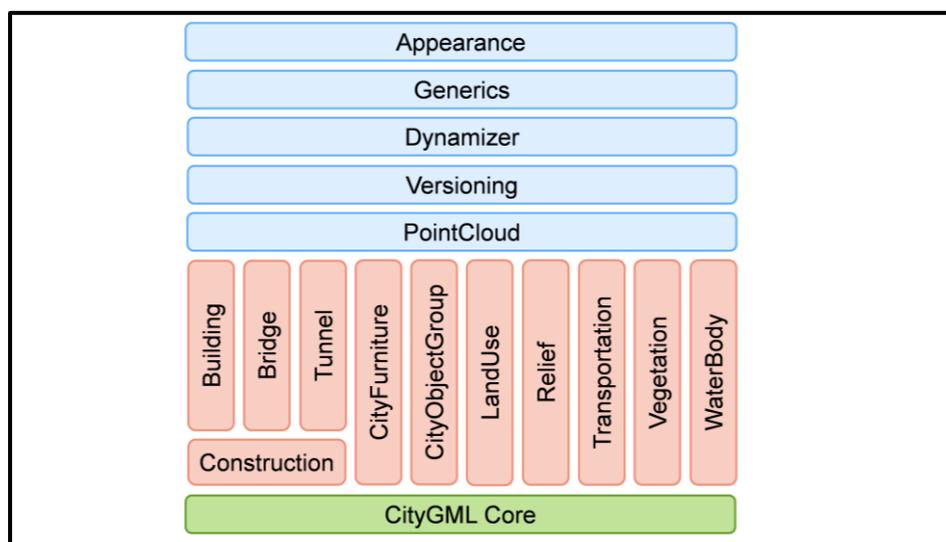
B. Format dan bahasa

Berbagai format dan bahasa untuk mewakili informasi terkait kota. Format dan bahasa dibagi menjadi 2 bagian yaitu BIM (*Building information modelling*) dan 3D c and geovisualization/X3D & KML")

Model kota 3D grafik komputer terdiri dari geometri bangunan 3D dan objek 3D lainnya. Model Kota 3D dapat direpresentasikan dalam CityGML.

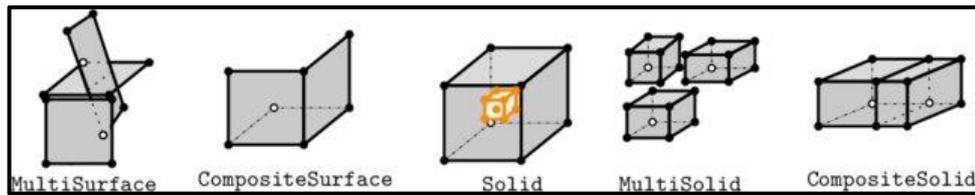
II.3.1 CityGML

City Geography Markup Language (CityGML) adalah standar internasional untuk representasi *interoperable* dan berbagi model lanskap dan kota 3D virtual. CityGML mendefinisikan diagram konseptual untuk unit spasial perkotaan utama seperti bangunan, jalan, rel kereta api, terowongan, jembatan, furnitur jalan, saluran air, vegetasi, dan medan. Semua objek dapat direpresentasikan pada 5 tingkat detail berdasarkan semantik, geometri 3D, topologi dan tampilan 3D (LOD 0-4) (Yao et al., 2018).

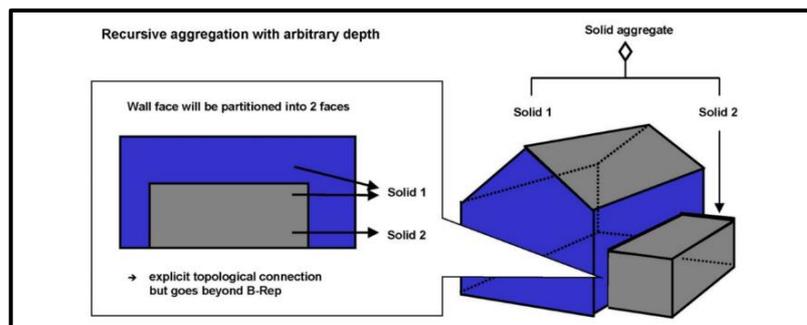


Gambar 2. 6 Modul Overview CityGML (Kolbe et al., 2021).

Geometri pada CityGML harus menggunakan nilai koordinat 3D. Selain geometri primitif seperti titik tunggal, kurva, permukaan, dan padatan, CityGML memanfaatkan berbagai jenis agregasi geometri seperti agregat spasial (*Multi Point*, *Multi curve*, *Multi Surface*, *Multi Solid*) dan komposit (*Composite Curve*). Contoh skema agregasi yaitu, geometri bangunan (*Composite Solid*) tersusun dari geometri rumah (*Composite Solid*) dan geometri garasi (*Solid*), sedangkan geometri rumah didekomposisi lebih lanjut menjadi geometri atap (*Solid*) dan geometri badan rumah (*Solid*) (Kolbe et al., 2021). Pada gambar 2.7 menunjukkan contoh geometri 3d yang digunakan pada CityGML.



Gambar 2. 7 Geometris 3D yang digunakan di CityGML (Borrmann et al., 2018).

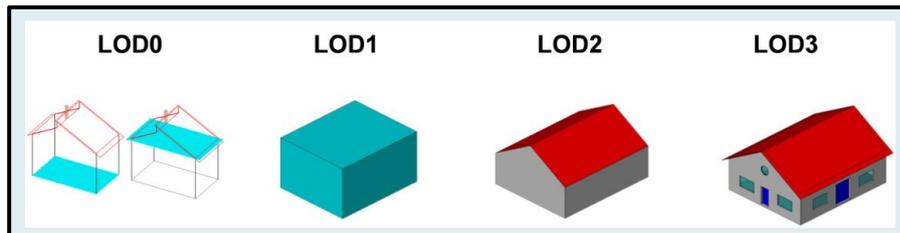


Gambar 2. 8 Agregasi rekursif objek dan geometri di CityGML (Kolbe et al., 2021).

Model konseptual CityGML membedakan empat *Level of Detail* berurutan (LOD 0-3), di mana objek menjadi lebih detail dengan meningkatnya LOD sehubungan dengan geometrinya. Desain CityGML adalah bentuk pemodelan objek semantik yang koheren dan representasi spasialnya. Ruang (*Spaces*) dalam CityGml dapat direpresentasikan secara spasial sebagai *single point* (LoD 0), *multi surfaces* (LoD 0/2/3), solid (loD 1/2/3) dan multicurvase (LoD 2/3) (Kolbe et al., 2021).

II.3.2 Level Of Development (LOD)

Level of development (LOD) merupakan resultan dari *Level of Detail* (LoD) dan *Level Of Information* (LoI) (Plowman Craven, 2017). *Level of Detail* merupakan tingkatan kedetailan model dari aspek grafis, sedangkan LOI merupakan tingkat informasi model dari aspek selain grafis. *Level of detail* (LoD) digunakan untuk meningkatkan kinerja dan kualitas visualisasi tiga dimensi (3D) dalam grafik komputer. Pada bangunan tiga dimensi (3D) *Level of Detail* dapat dibagi menjadi 5 level atau 5 tingkatan.



Gambar 2. 9 Representasi *Level of Detail* (LoD) (Kolbe et al., 2021).

Tabel 2. 3 Penjelasan tingkat *Level of Detail* (Kolbe et al., 2021).

<i>Level of Detail</i>	Deskripsi
LOD 0	Direpresentasikan sebagai Permukaan 3D datar seperti medan atau tapak bangunan
LOD 1	Berisi blok 3D sederhana (tanpa tekstur)
LOD 2	Mewakili fitur topografi dengan tekstur dan struktur atas yang halus dan mewakili bentuk atap
LOD 3	Mode fitur lebih rinci dan termasuk eksternal lainnya
LOD 4	Bangunan termasuk pemodelan instalasi internal

Tabel 2. 4 Penjelasan tingkat *Level of Information* (Plowman Craven, 2017).

<i>Level of Information (LoI)</i>	Deskripsi
LOI 100	Kategori dan Posisi Model (2D)
LOI 200	Kategori Model, Posisi + Ukuran
LOI 300	Kategori Model, Posisi ,Ukuran + Tipe
LOI 400	Kategori Model, Posisi, Ukuran, Tipe + Pengamatan Visual
LOI 500	Kategori Model, Posisi, Ukuran, Jenis, Pengamatan Visual dan/atau Data FM

Tabel 2. 5 Syarat akurasi dari LoD 0-4 berdasarkan Citygml (Gröger et al., 2012).

Aspek	LoD 0	LoD 1	LoD2	LoD3	LoD4
Skala Model	Regional, bentang alam	Kota, regional	Distrik dalam kota	Model arsitektur (eksterior), landmark	Model arsitektur (interior)
Kelas Akurasi	Terendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
Akurasi posisi dan tinggi	Lebih rendah dari LoD 1	5 m	2 m	0.5 m	0.2 m

II.4 Validasi pemodelan 3d

Terdapat dua jenis validasi untuk validasi pemodelan 3D yaitu pertama validasi skema untuk data CityGML untuk memastikan skema masukan konforman dan yang kedua geometris dan semantik validasi kumpulan data (Alam et al., 2013).

a. Validasi poligon

1. *Linear Ring* harus terdiri dari minimal 4 titik.
2. Titik pertama dan terakhir dari *Linear Ring* adalah identik.
3. Semua titik *Linear Ring R* berbeda, kecuali dari titik pertama dan terakhir.
4. Hanya dua sisi yang dapat berpotongan di satu titik awal/akhir.
5. Semua titik poligon harus terletak pada bidang (toleransi kecil diperbolehkan).

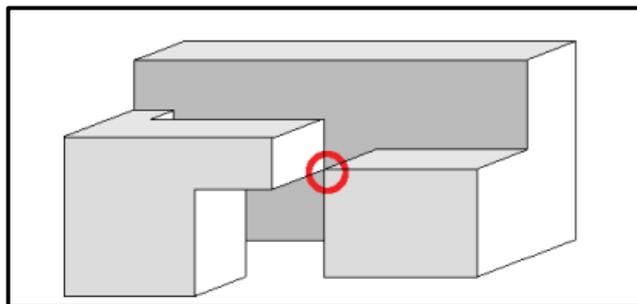
b. Validasi Solid

1. Jumlah minimum n poligon untuk mendefinisikan solid adalah empat.
2. Perpotongan yang valid dari dua poligon yang solid berisi tepi yang sama, titik umum dari garis lurus atau kosong. Tepi dan titik yang sama harus elemen dari kedua poligon.
3. Setiap tepi *Linear Ring* yang mendefinisikan poligon digunakan oleh tepat satu poligon tetangga.

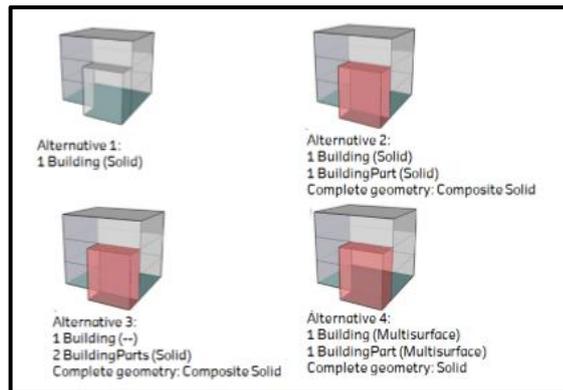
4. Orientasi poligon yang konsisten dari padatan sedemikian rupa tepi umum menurut cek 8 digunakan di arah berlawanan.
5. Vektor normal poligon harus menuju bagian luar padatan.
6. Semua bagian benda padat harus terhubung.
7. Graf $G_S = (V_p, E_p)$ dari poligon dan sisi-sisinya bertemu di titik p_i terhubung untuk semua p . Setiap simpul $v \in V_p$ mewakili tepat satu poligon yang berisi p . Dua buah simpul dihubungkan dengan sebuah sisi $e \in E_p$ jika poligon diwakili oleh simpul ini memiliki sisi yang sama yang dibatasi oleh p .

c. Semantik

1. Orientasi Permukaan Atap, Permukaan Dinding dan Elemen Permukaan Tanah.
2. Diukur tinggi dalam rentang yang sama dengan tinggi bangunan geometri.
3. *Number Of Storeys Above Ground* untuk ketinggian geometri bangunan.
4. *Number Of Storeys Below Ground* untuk ketinggian geometri bawah tanah bangunan.
5. Hubungan gedung dan bangunan bagian.



Gambar 2. 10 Umbrella check (Borrmann et al., 2018).



Gambar 2. 11 Skenario pemodelan alternatif untuk bagian Gedung (Borrmann et al., 2018).

II.5 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan hasil suatu prediksi. Apabila nilai RMSE semakin kecil (mendekati 0), maka hasil dari suatu prediksi akan semakin akurat. RMSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Satria Putra, 2022) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- x = Data Observasi
- y = Data simulasi
- n = Banyak data

II.6 Penelitian Terkait

Tabel 2. 6 Penelitian terkait

Nama, Judul (tahun), Penerbit,	Metode Penelitian	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
Ghalizha Z. Izzaty, Dkk. Peta Tiga Dimensi (3d) Citygml Untuk Simulasi Aliran Angin	<ul style="list-style-type: none"> • Membuat simulasi angin menggunakan openfoam 	<ul style="list-style-type: none"> • pengaruh model 3D LOD1 terhadap aliran angin berupa 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualisasi model 3D Kampus ITB Jatinangor dalam CityGML LOD1.

Nama, Judul (tahun), Penerbit,	Metode Penelitian	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
Menggunakan Openfoam,2020, Majalah Ilmiah Globë.	<ul style="list-style-type: none"> Membuat visualisasi 3D CityGML 	perubahan arah dan kecepatan,	<ul style="list-style-type: none"> simulasi aliran angin menggunakan model LOD1. Disarankan untuk melakukan validasi dengan menggunakan data pengamatan dilapangan.
Nurfairunnajih Ridzuan dkk, <i>Computational Fluid Dynamics of Wind Flow and Air Pollution Modelling: A Review on 3D Building Model Standards</i> ,2022, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.	<ul style="list-style-type: none"> Model bangunan menggunakan tiga standar berbeda: CAD, CityGML, dan BIM. 	<ul style="list-style-type: none"> Simulasi aliran udara dan polutan 	<ul style="list-style-type: none"> LoD dari model yang digunakan adalah model dengan detail LoD 1 saja. CityGML direkomendasikan untuk simulasi CFD polusi angin atau udara di perkotaan, karena dapat mewakili ruang yang lebih luas dan memberikan informasi yang baik dan memadai untuk pemodelan bangunan.
Lestari and Syaiful Muazir , Pengaruh Tata Bangunan dan	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan simulasi Envi-Met. 	<ul style="list-style-type: none"> Membagi 3 segmen untuk simulasi 	<ul style="list-style-type: none"> karakteristik kawasan yang memiliki pengaruh terhadap pergerakan udara

Nama, Judul (tahun), Penerbit,	Metode Penelitian	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
Jalan terhadap Aliran Udara pada Kawasan Perkotaan, 2020, PLANOLOGI UNDIP.	<ul style="list-style-type: none"> • Metode observasi lapangan 	<ul style="list-style-type: none"> • perubahan pergerakan aliran udara dan kecepatannya. 	<p>adalah jarak antar bangunan (ruang terbuka) dan ketinggian bangunan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ketika arah datang angin berlawanan dengan orientasinya, maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan juga semakin menurun
Siti Belinda Amri, Analisis Aliran Angin Pada Atap Miring Melalui Uji Simulasi Flow Design , 2017, Langkau Betang.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>software modeling</i> SketchUp atau AutoCad • simulasi <i>software</i> Flow Design 	<ul style="list-style-type: none"> • bentuk-bentuk atap miring terhadap pola aliran angin. • kecepatan angin <i>wind tunnel</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • posisi tekanan udara yang rendah di permukaan atap berubah-ubah sesuai dengan sudut bangunan. • Semakin besar sudut suatu bangunan berarti semakin tinggi pula ketinggian bangunan yang secara langsung membuat semakin luas bidang yang bersentuhan langsung dengan angin datang