

Pemodelan Simulasi Aliran Udara Terhadap Bangunan 3D Berbasis CityGML dan Computational Fluid Dynamics (Studi Kasus: Kampus 1 ITN Malang)

Aprillia Rahmi Utami¹, Ketut Tomy Suhari², Muhammad Uznir Ujang³, Martinus Edwin Tjahjadi⁴

utamiprilliarahmi@gmail.com , ksuhari@lecturer.itn.ac.id , mduznir@utm.my,
edwin.tjahjadi@gmail.com

^{1,2,4} Teknik Geodesi , Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan , Institut Teknologi Nasional Malang

³ 3D GIS Lab Research, Universiti Teknologi Malaysia

Informasi Artikel	Abstrak
Diterima : 30 Okt 2023 Direview : 2 Nov 2023 Disetujui : 1 Des 2023	Lingkungan di wilayah kota Malang mengalami pertumbuhan permukiman yang semakin padat serta tata kota semakin tak teratur, sehingga menyebabkan suhu menjadi panas dan warga menjadi tidak nyaman. Angin adalah pergerakan udara yang terjadi karena adanya tekanan udara dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Untuk mengetahui pergerakan aliran udara tersebut, pada penelitian ini dibuat suatu bentuk pemodelan simulasi aliran udara CFD dengan menggunakan Ansys dan bentuk pemodelan 3D CityGML pada LoD 2. Pembuatan simulasi aliran udara ini menggunakan data angin yang diperoleh dari BMKG dan dianalisa untuk membandingkan nilai RMSE dengan data observasi lapangan yang didapatkan dengan menggunakan 2 alat hand anemometer digital dengan titik point yang berbeda . Hasil simulasi aliran udara menunjukkan pengaruh model 3D LOD2 terhadap aliran angin berupa perubahan arah dan kecepatan. Perbandingan hasil RMSE menunjukkan bahwa RMSE pada saat angin berada didepan gedung sebesar 0.661258 m/s dan saat angin setelah melewati gedung sebesar 0.615862m/s .
Kata Kunci	
CITYGML, CFD, Pemodelan 3D, LoD 2	

Keywords	Abstract
CITYGML, CFD, 3D MODELING , LOD 2	<i>The environment in the city of Malang is experiencing increasingly dense residential growth and urban planning is increasingly disorganized, causing temperatures to become hot and residents to become uncomfortable. Wind is the movement of air that occurs due to air pressure from high pressure to low pressure. To find out the movement of the airflow, in this study a form of CFD airflow simulation modeling was made using Ansys and a form of 3D CityGML modeling on LoD 2. The making of this airflow simulation uses wind data obtained from BMKG and is analyzed to compare the RMSE value with field observation data obtained using 2 digital hand anemometers. The results of the airflow simulation show the effect of the LOD2 3D model on wind flow in the form of changes in direction and speed. The RMSE result comparison shows that the RMSE when the wind is in front of the building is 0.661258 m/s and when the wind after passing the building is 0.615862m/s.</i>

A. Pendahuluan

Malang merupakan kota terbesar kedua di Jawa Timur setelah kota Surabaya. Iklim di Kota Malang mengikuti perubahan iklim yang ada di Indonesia yaitu musim hujan, dan musim kemarau. Dari hasil pengamatan Stasiun Klimatologi Karangploso kecepatan angin maksimum terjadi di bulan Mei, September, dan Juli [1]. Angin merupakan pergerakan udara secara horizontal yang diakibatkan adanya perbedaan tekanan udara di suatu kawasan. Lingkungan di wilayah kota Malang mengalami pertumbuhan permukiman yang semakin padat serta tata kota semakin tak teratur, sehingga menyebabkan suhu menjadi panas dan warga menjadi tidak nyaman [2].

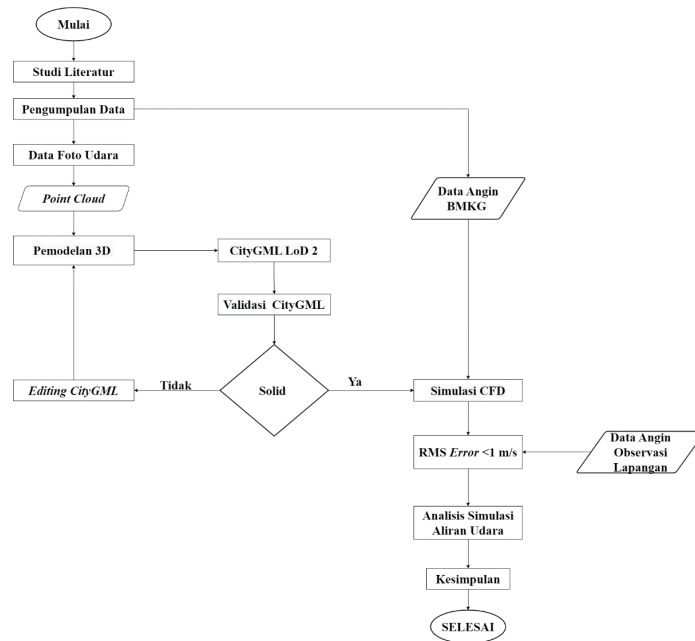
Kampus 1 ITN Malang merupakan kawasan pendidikan yang memiliki karakteristik dengan ketinggian bangunan yang berbeda-beda dan beberapa bangunan yang sangat berdekatan antara satu sama lain, juga terdapat aktivitas yang sangat ramai di sekitar area kampus, baik kendaraan maupun pejalan kaki. Melalui simulasi pemodelan aliran udara menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) terkait penempatan massa bangunan pada kawasan dapat memberikan informasi penting sehingga dapat digunakan dalam pembangunan kawasan. Informasi simulasi pemodelan pola aliran udara sangat berguna bagi perancang sebagai dasar perancangan. Para perancang dapat menggunakan data simulasi aliran udara sebagai dasar untuk merancang dan mengembangkan suatu area.

Dalam penelitian [3], Membuat model bangunan 3D untuk menghasilkan representasi geometri yang optimal, dapat digunakan pemodelan bangunan yang tidak terlalu rumit dengan informasi yang lebih sedikit, yaitu pemodelan dalam standar CityGML. Standar CityGML ini sangat mendukung proses rendering geometris di lingkungan CFD. 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. Menurut Lestari [4], karakteristik kawasan yang memiliki pengaruh terhadap pergerakan udara adalah jarak antar bangunan (ruang terbuka) dan ketinggian bangunan. ketika arah datang angin berlawanan dengan orientasinya, maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan juga semakin menurun.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi terkait bentuk visualisasi pemodelan 3D menggunakan CityGML LOD 2 dan menganalisis simulasi aliran udara disekitar kampus 1 ITN Malang. Sehingga dapat dimanfaatkan perancang ataupun masyarakat untuk mendesain dan menata bangunan disekitar sehingga pengguna dapat merasa nyaman.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data *point cloud* yang didapatkan dari proses pengolahan data foto udara kampus 1 ITN Malang dengan menggunakan Agisoft Methasape, kecepatan angin Maksimal dari BMKG, dan observasi lapangan. Adapun data observasi lapangan diambil dengan menggunakan *Hand Anemometer Digital*.



Gambar 1. Diagram Alir

1. Angin

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 [5]

Tabel 1. Skala Beaufort

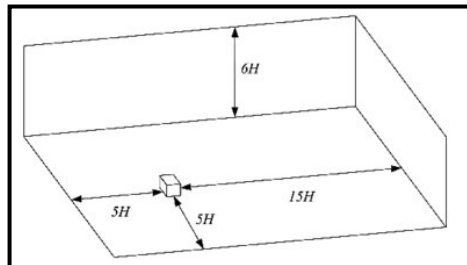
Skala	Uraian	Kecepatan		Spesifikasi Untuk Menaksir Angin Diatas Daratan
		Knots	Km/Jam	
0	<i>Calm</i>	<1	<1	<i>Calm</i> , asap naik vertical
1	<i>Light air</i> (angin sepoi sangat lemah)	1-3	1.8-5.4	Arah angin dapat dilihat dari condongnya asap
2	<i>Llight breeze</i> (angin sepoi lemah)	4-6	7.2-10.8	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
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

Skala	Uraian	Kecepatan		Spesifikasi Untuk Menaksir Angin Diatas Daratan
		Knots	Km/Jam	
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

2. CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Simulasi CFD memiliki tiga elemen utama yaitu *pra-prosesor*, *prosesor* dan *post-prosesor*. 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 [6]. Untuk membuat ukuran domain diperlukan perhitungan, menggunakan $l_u = 5H_{max}$, $l_d = 5H_{max}$, $L = 15 H_{max}$ dimana H_{max} merupakan

ketinggian bangunan yang lebih tinggi [7].



Gambar 2. Ukuran Domain [7]

3. Pemodelan 3D

Model kota 3D adalah representasi 3D dari lingkungan perkotaan. pemodelan Kota 3D dapat direpresentasikan dalam CityGML. *City Geography Markup Language* (CityGML) adalah standar internasional untuk representasi *interoperable* dan berbagi model lanskap dan kota 3D virtual. Pada bangunan tiga dimensi (3D) *Level of Detail* dapat dibagi menjadi 5 *level* atau 5 tingkatan.

- CityGML

City Geography Markup Language (CityGML) adalah standar internasional untuk representasi *interoperable* dan berbagi model lanskap dan kota 3D virtual. 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) [8].

- LOD (*Level Of Detail*)

Level of Detail merupakan tingkatan kedetailan model dari aspek 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

Tabel 2. Syarat akurasi dari LoD 0-4 berdasarkan Citygml [9]

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

4. RMSE (*Root Mean Square Error*)

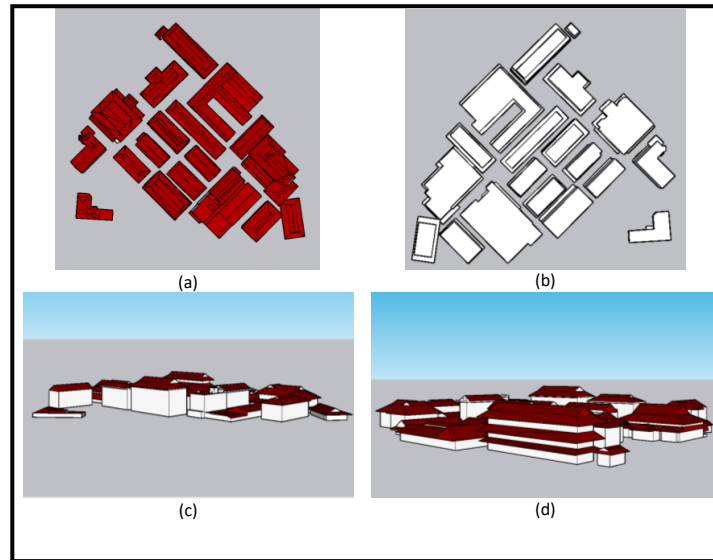
Root Mean Square Error (RMSE) digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan hasil suatu prediksi. Apabila nilai RMSE semakin kecil (mendekati 0), maka hasil dari suatu prediksi akan semakin akurat. RMSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [10] :

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

C. Hasil dan Pembahasan

1. Pemodelan 3D

Dalam pembuatan model tiga dimensi pada *Level of Detail* (LOD 2) terdiri dari pembuatan *ground surface*, *wall surface*, dan *roof surface*, dimana semakin tinggi tingkatan LoD yang digunakan maka semakin detail model bangunan yang dibuat. Pada **Gambar 3** merupakan hasil visualisasi pemodelan tiga dimensi terhadap LoD 2 pada Kampus 1 ITN Malang.



Gambar 3. Visualisasi pemodelan 3D

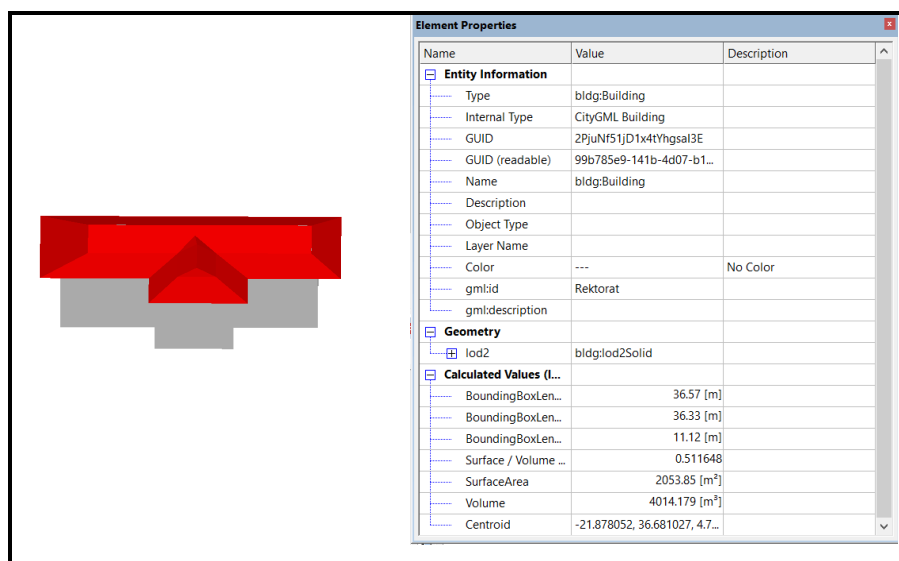
2. Visualisasi pemodelan 3D CityGML LoD2

Pada proses pembuatan script CityGML model bangunan yang dibuat harus dalam keadaan solid dan tidak adanya “error” pada setiap bangunan yang dibuat. Untuk mengetahui kesolidan model bangunan dapat dilakukan dengan mengecek menggunakan *solid inspectore*. Script CityGML didapatkan dari proses pengklasifikasian jenis LoD, *Ground surfaces*, *Wall surfaces*, dan *Roof surfaces* dengan menggunakan Geo-res CityGML. Hasil script yang telah dibuat dapat dilihat visualisasi model 3D pada CityGML dengan menggunakan FzkViewer Pada **Tabel 3** menunjukkan komponen hasil dari script CityGML serta pada **Gambar 4** merupakan contoh hasil dari visualisasi CityGML serta informasi yang terdapat pada bangunan.

Tabel 3. Komponen Script CityGML

No	Kode	Keterangan
1	<bldg:boundedBy>	Merupakan koding untuk memulai dan mengakhiri dalam satu id.
2	<bldg:Building gml:id="Rektorat">	Merupakan koding yang menunjukkan id pada bangunan.
3	<bldg:WallSurface gml:id="UUID_WallSurface_44_648162_422511">	Merupakan koding yang menunjukkan id pada <i>wall surface</i> .
4	<bldg:GroundSurface gml:id="UUID_GroundSurface_1761_751991_351106">	Merupakan koding yang menunjukkan id pada <i>Ground surface</i> .
5	<bldg:RoofSurface gml:id="UUID_RoofSurface_144_118511_398176">	Merupakan koding yang menunjukkan id pada <i>Roof surface</i> .

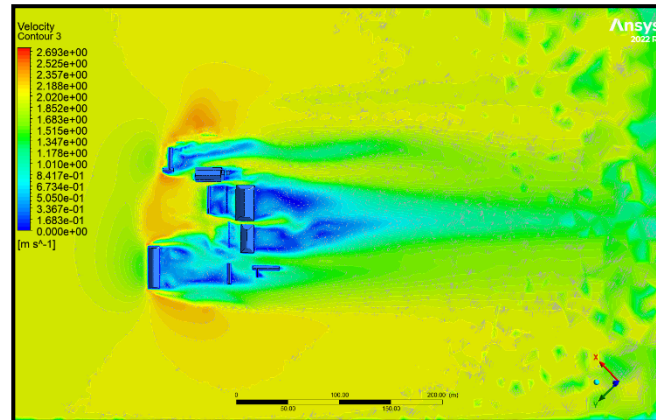
No	Kode	Keterangan
6	<bldg:lod2Solid>	Merupakan koding yang menunjukkan bahwa bangunan tersebut jenis lod2 solid.
7	<gml:Solid>	Menunjukkan bahwa bangunan tersebut solid.
8	<gml:CompositeSurface>	Menunjukkan komposit yang terdapat pada bangunan.
9	</gml:Polygon>	Menunjukkan bahwa bangunan berbentuk polygon.



Gambar 4. Visualisasi pemodelan 3D visualisai CityGML

3. Simulasi CFD

pada gambar dibawah menunjukkan hasil pemodelan simulasi aliran udara bahwa kecepatan angin saat mulai mendekati bangunan akan mengalami kenaikan kecepatan dan saat angin setelah melewati bangunan mengalami penurunan kecepatan .



Gambar 5. Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics)

4. perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*)

perhitungan RMSE dilakukan untuk membandingkan hasil simulasi aliran udara CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan data observasi lapangan yang diambil menggunakan alat Hand Anemometer Digital. Dari hasil perbandingan yang dilakukan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari simulasi aliran udara CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pada bangunan yaitu:

1. Ketinggian bangunan saat pengambilan data kecepatan angin maksimal dengan menggunakan hand anemometer digital sangat mempengaruhi nilai kecepatan yang dihasilkan
2. Ketinggian *plane* yang dibuat pada simulasi sangat mempengaruhi nilai kecepatan angin yang didapatkan.
3. Semakin rapat suatu bangunan maka angin yang melewati semakin menurun.
4. Angin yang melewati sebelum dan sesudah gedung memiliki nilai kecepatan yang berbeda.

D. Simpulan

1. Hasil visualisasi pemodelan 3D pada *Level of Detail* (LOD2) terdiri dari *ground surface*, *wall surface* dan *roof surface*. Setiap bangunan memiliki id yang berbeda untuk visualisasi terhadap CityGML
2. Pada proses pembuatan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) memiliki beberapa tahapan diantara lain yaitu uji cek geometri, pembuatan domain, meshing, dan hasil. Pada saat proses uji cek Geometri setiap bangunan harus dinyatakan solid agar dapat dilakukan proses cek geometri. Proses ini dilakukan pada masing-masing model bangunan yang telah dibuat untuk mengetahui kesalahan pada model geometri bangunan. Ukuran mesh pada domain dan bangunan dibuat tergantung besarnya area bangunan dan sekitar bangunan, ukuran mesh sangat mempengaruhi nilai residual yang dihasilkan Adapun ukuran domain yang digunakan yaitu $lu = 112\text{ m}$, $ld = 112\text{ m}$, $L = 336\text{ m}$, $h = 134.4\text{ m}$, $H_{max} = 22.4\text{ m}$. Hasil simulasi aliran udara dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin setelah melewati bangunan yang lebih tinggi memiliki nilai kecepatan angin paling kecil, dan kecepatan angin saat melewati bangunan yang memiliki kerapatan sulit untuk masuk, dikarenakan semakin rapat suatu bangunan maka semakin sulit untuk angin melewati.
3. Nilai RMSE yang didapatkan dari hasil perbandingan simulasi aliran udara CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan hasil observasi lapangan menggunakan *Hand Anemometer Digital* pada titik point sampel secara random. Dimana hasil nilai

RMSE pada saat angin berada didepan gedung sebesar **0.661258 m/s** dan saat angin setelah melewati gedung sebesar **0.615862m/s**.

E. Referensi

- [1] Pemerintah Kota Malang, "Geografis kota Malang," *Pemerintah kota malang*, 2022. <https://malangkota.go.id/geografis/>
- [2] J. Hantoro, "Kota Malang Sudah Tak Nyaman Lagi," *Tempo.co*, Sep. 2013. [Online]. Available: <https://metro.tempo.co/read/1712624/ribuan-ikan-mati-di-sungai-cileungsi-diduga-akibat-pencemaran-limbah>
- [3] N. Ridzuan, U. Ujang, S. Azri, and I. M. Yusoff, "Computational Fluid Dynamics of Wind Flow and Air Pollution Modelling: A Review on 3D Building Model Standards," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1064, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1064/1/012051.
- [4] L. Lestari and S. Muazir, "Pengaruh Tata Bangunan dan Jalan Terhadap Aliran Udara Pada Kawasan Perkotaan," *Tataloka*, vol. 23, no. 1, pp. 95–104, 2021, doi: 10.14710/tataloka.23.1.95-104.
- [5] Z. Arifin, H. Suyanto, and H. Aziz, "ANALISIS KELAYAKAN TURBIN ANGIN KECEPATAN RENDAH TIPE NT1000W DI WILAYAH TERPENCIL," *J. ENERGI KELISTRIKAN*, vol. 10, pp. 84–93, 2018.
- [6] C. García-Sánchez, S. Vitalis, I. Paden, and J. Stoter, "THE IMPACT of LEVEL of DETAIL in 3D CITY MODELS for CFD-BASED WIND FLOW SIMULATIONS," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 46, no. 4/W4-2021, pp. 67–72, 2021, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W4-2021-67-2021.
- [7] J. Revuz, D. M. Hargreaves, and J. S. Owen, "On the domain size for the steady-state CFD modelling of a tall building," *Wind Struct. An Int. J.*, vol. 15, no. 4, pp. 313–329, 2012, doi: 10.12989/was.2012.15.4.313.
- [8] T. H. Kolbe, T. Kutzner, C. S. Smyth, C. Nagel, C. Roensdorf, and C. Heazel, "Ogc ® Document: 20-010 Ogc City Geography Markup Language (Citygml) Part 1: Conceptual Model Standard Standard Approved," 2021, [Online]. Available: http://portal.opengeospatial.org/public_ogc/change_request.php
- [9] G. Gröger, T. H. Kolbe, C. Nagel, and K.-H. Häfele, "OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 2.0.0," *OGC Doc. No. 12-019*, p. 344, 2012, [Online]. Available: https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842
- [10] Y. Satria Putra, "Studi Aliran Air dalam Pipa Penstock pada Sistem Mikrohidro dengan Pendekatan Computational Fluid Dynamics," *Prism. Fis.*, vol. 10, no. 3, pp. 304–314, 2022.