

KAJIAN POLA PERGERAKAN UDARA PADA MASSA BANGUNAN SEKOLAH DAN SEKITARNYA SERTA DESAIN BUKAAN RUANG KELAS DENGAN SIMULASI CFD

(Studi Kasus: Bangunan SD Muhammadiyah Sleman)

Afif Yodha Wursita¹, Etik Mufida², M. Fahd Reyhan Wibowo³

¹Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

¹Surel: 20512054@students.uii.ac.id

ABSTRAK: Indonesia memiliki karakteristik iklim tropis yang sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia di dalamnya. Iklim tropis ini memberikan dampak signifikan pada pola pergerakan dan penghawaan udara di Indonesia. Pola pergerakan dan penghawaan udara ini merupakan salah satu faktor yang berperan dalam kenyamanan termal salah satunya penghawaan alami dalam suatu ruangan atau bangunan. Sehingga dalam bidang arsitektur perlunya desain bangunan yang tepat untuk mencapai kenyamanan termal yang baik dari salah satunya pola pergerakan udara. SD Muhammadiyah Sleman merupakan sekolah swasta yang memiliki bentuk denah bangunan menyerupai huruf "U" dan berlantai tiga. Desain bangunan tersebut pastinya akan sangat memengaruhi pada pola pergerakan udara baik di dalam maupun di luar bangunan terutama ruang kelas. Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan pengaruh massa bangunan sekolah dan sekitarnya serta desain bukaan ruang kelas terhadap pola pergerakan udara di dalamnya. Sedangkan, metode penelitian yang digunakan berupa evaluatif - kuantitatif dengan cara observasi bangunan dan simulasi pergerakan udara pada bangunan dengan aplikasi CFD. Dengan demikian dapat dihasilkan pengaruh massa bangunan sekolah dan sekitarnya serta desain bukaan ruang kelas terhadap pola pergerakan angin.

Kata kunci: bukaan, pergerakan udara, simulasi, sekolah

PENDAHULUAN

Penghawaan udara merupakan salah satu faktor yang berperan dalam kenyamanan termal dalam suatu ruangan atau bangunan. Apabila suatu ruangan atau bangunan ingin memperoleh penghawaan udara yang baik maka perlunya faktor yang harus diperhatikan, antara lain iklim setempat, bukaan bangunan, orientasi massa, dan bentuk bangunan. Penghawaan di Indonesia memiliki rata - rata suhu dan kelembaban udara yang tinggi serta kecepatan angin yang rendah (Simbolon, Hendra. 2017). Hal itu karena Indonesia terletak pada wilayah tropis di bumi. Sehingga pentingnya keberadaan atau penggunaan bukaan dari segi ukuran maupun jenis dan juga pemilihan bentuk atap yang dapat memengaruhi aliran udara masuk ke dalam bangunan.

Pola pergerakan udara atau angin biasanya berbeda - beda di setiap lokasi karena pengaruh dari kondisi geografi dan geomorfologi daerah tertentu. Kondisi geografi dan geomorfologi yang memengaruhi pergerakan udara antara lain, angin darat - laut, keadaan kontur tanah, dan topografi sekitar. Selain itu, terdapat juga kondisi permukaan bumi yang dapat memengaruhi pergerakan aliran udara antara lain, kondisi pola urban (perkotaan), hutan, vegetasi sekitar, area hijau terbuka, area dekat laut, danau, dan sungai (Zahrial Amin, Abdul Rahman. 2021). Pola pergerakan udara ini biasanya digunakan untuk mendesain bangunan tinggi atau bangunan dengan konsep penghawaan alami berdasarkan kecepatan angin daerah sekitar. Sehingga dengan desain bangunan penghawaan alami diharapkan dapat menghemat penggunaan energi untuk sistem penghawaan aktif.

Indonesia sendiri sangat terkenal dengan iklim tropisnya sehingga ketika merancang bangunan harus memperhatikan faktor tersebut sebagai arahan dalam mendesain guna mencapai penghawaan udara yang baik dalam bangunan. Penghawaan udara ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, pola pergerakan udara dan kecepatan udara.

Bangunan SD Muhammadiyah Sleman merupakan salah satu contoh bangunan jenis sekolah dengan denah massa menyerupai bentuk "U". Denah massa ini tentunya memiliki karakteristik pola pergerakan udara sendiri daripada massa dengan bentuk lainnya. Karakteristik yang berbeda ini akan memengaruhi aliran udara yang terdiri dari arah dan kecepatan udara. Selain itu, terdapat bukaan yang dapat memengaruhi pola pergerakan udara dalam ruangan terutama ruang kelas. Hal ini karena ruang kelas pada sekolah merupakan tempat aktivitas utama bangunan berlangsung.

Dari sinilah penulis tertarik dalam penelitian dengan topik penghawaan udara alami bangunan sekolah. Penelitian ini mengamati tentang pola pergerakan udara pada bangunan sekolah SD Muhammadiyah Sleman dengan simulasi CFD. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan pengaruh bentuk massa bangunan sekolah dan sekitarnya serta desain bukaan ruang kelas terhadap pergerakan udara dalam bangunan sekolah.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian:

1. Bagaimana pengaruh bentuk massa bangunan sekolah dan sekitarnya terhadap pergerakan udara dalam bangunan?
2. Bagaimana pengaruh desain eksisting dan alternatif bukaan terhadap pola pergerakan udara dalam ruang kelas sekolah?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian:

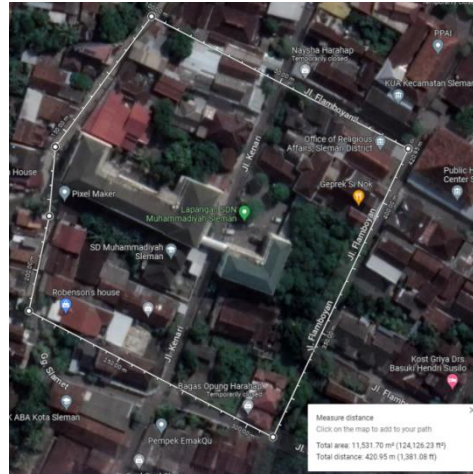
1. Mengetahui pengaruh bentuk massa bangunan sekolah dan sekitarnya terhadap pergerakan udara dalam bangunan.
2. Mengetahui pengaruh desain eksisting dan alternatif bukaan terhadap pola pergerakan udara dalam ruang kelas sekolah.

Manfaat Penelitian

1. Penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan bagi pembaca seputar pola pergerakan aliran udara dalam bangunan dan sekitarnya.
2. Penelitian memberikan wawasan bagi pembaca tentang pengaruh bentuk massa bangunan dan sekitarnya terhadap pola pergerakan angin.
3. Penelitian memberikan wawasan bagi pembaca tentang pengaruh desain bukaan terhadap pola pergerakan udara dalam bangunan.

Batasan Penelitian

Penelitian menekankan pada simulasi pola pergerakan aliran udara di bangunan SD Muhammadiyah Sleman dan sekitarnya. Penelitian dibatasi pada aspek fisik yaitu area sekitar SD Muhammadiyah Sleman yang memiliki batas utara yaitu Jl. Flamboyan I, batas selatan yaitu Jl. Melati, batas timur yaitu Jl. Flamboyan, dan batas barat yaitu Gg. Slamet (skala makro), bangunan SD Muhammadiyah itu sendiri (skala mezo), dan ruang kelas SD Muhammadiyah (skala mikro). Sehingga hasil penelitian dapat berfokus pada pola pergerakan aliran udara dalam dan sekitar objek bangunan penelitian.



Gambar 1 Batasan Penelitian
Sumber: Penulis. 2023

KAJIAN LITERATUR

• Aliran Udara

Definisi dari angin sendiri merupakan perpindahan udara dari lokasi bertekanan tinggi ke lokasi yang bertekanan rendah. Perbedaan tekanan tersebut biasanya disebabkan oleh adanya perbedaan suhu di daerah tertentu. Parameter utama dalam evaluasi udara yaitu arah angin dan kecepatan udara (Zahrial Amin, Abdul Rahman. 2021).

Ketika aliran udara mengalir dari satu lokasi ke lokasi lain, aliran udara tersebut akan mengalami gesekan udara akibat dari pengaruh kelembaban dan perbedaan tekanan udara. Aliran udara tersebut dapat bergesekan dengan berbagai macam pada lintasan yang dilalui, seperti manusia, bangunan, dan pepohonan (Zahrial Amin, Abdul Rahman. 2021). Ketika bergesekan, aliran udara tersebut dapat membentuk berbagai macam pola pergerakan udara seperti:

- ✓ Pola Laminar : pola aliran udara yang berlapis dan sejajar serta dapat diprediksi.
- ✓ Pola Terpisah : pola aliran udara yang dapat mengurangi kecepatan dari aliran udara tersebut.
- ✓ Pola Turbulent : pola aliran udara yang terjadi akibat kecepatan udara yang berubah karena aliran tersebut mengenai objek atau bidang seperti bangunan.
- ✓ Pola Berpusar : pola aliran udara yang berputar pada suatu titik dan biasanya memiliki lapisan.

• Tingkat Kenyamanan Kecepatan Angin

Bagi manusia, angin sangat berguna untuk pendinginan suhu tubuh. Sedangkan, bagi arsitektur, angin berguna untuk pendinginan suhu ruangan yang di mana akan memengaruhi kenyamanan bagi manusia di dalam bangunan/ruangan tersebut (Tuhari, 2014). Namun, tidak semua aliran angin memberi dampak positif karena aliran angin dengan kecepatan tinggi akan bersifat merusak/negatif baik untuk manusia maupun lingkungan. Adapun rentang kecepatan angin yang memengaruhi kenyamanan (Frick, 1985):

Kecepatan Angin Bergerak	Pengaruh Atas Kenyamanan	Efek Penyegaran (pada suhu 30°C)
< 0.25 m/detik	Tidak dapat dirasakan	0°C
0.25-0.5 m/detik	Paling nyaman	0.5-0.7 °c
0.5-1 m/detik	Masih nyaman, tetapi gerakan udara dapat dirasakan	1.0-1.2 °c
1-1.5 m/detik	Kecepatan maksimal	1.7-2.2 °c
1.5-2 m/detik	Kurang nyaman, berangin	2.0-3.3 °c
> 2 m/detik	Kesehatan penghuni terpengaruh oleh kecepatan angin yang tinggi	2.3-4.2 °c

Tabel 1 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Kenyamanan
 Sumber: Hana Mufidah, 2019

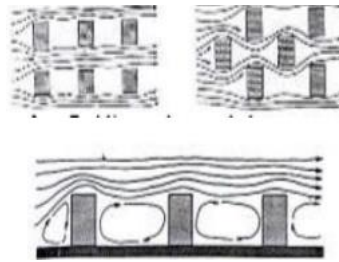
Selain rentang pengaruh kecepatan angin terhadap kenyamanan yang digagas Henry Frick (1985), terdapat juga retang/skala Beaufort gagasan Aronin (1953). Skala Beaufort ini memiliki rentang yang lebih luas dan keterangan dampaknya bagi lingkungan sekitar.

Skala Beaufort	Gambaran Umum	Keterangan	Satuan		
			m/s	feet/meni	mil/ja
0	Calm	Asap naik secara vertikal	<0,3	<88	<1
1	Light Air	Arah angin dapat dilihat dari kecondongan asap	0,6-1,7	88-264	1-3
2	Slight	Angin terasa pada wajah; daun	1,8-3,3	352-614	4-7
3	Gentle Breeze	Daun dan ranting bergerak konstan; bendera berkibar	3,4-5,2	704-968	8-11
4	Moderate Breeze	Debu dan kertas beterbangan; cabang kecil bergerak	5,3-7,4	1056-1408	12-16
5	Fresh Breeze	Pohon kecil mulai berayun	7,5-9,8	1496-	17-22
6	Strong	Cabang besar bergerak	9,9-	2024-	23-27
7	Moderate Gale	Seluruh pohon bergerak	12,5-15,2	2464-2992	28-34
8	Fresh Gale	Ranting patah; gerak maju	15,3-	3080-	35-41
9	Strong Gale	Kerusakan ringan	18,3-	3696-	42-48
10	Whole Gale	Pohon tumbang; kerusakan bangunan yang cukup parah	21,6-25,4	4312-4928	49-56
11	Storm	Jarang terjadi; kerusakan luas	25,5-	5016-	57-67
12	Hurricane		>29,3	>5984	>68

Tabel 2 Skala Beaufort
 Sumber: Jenny, 2014

• **Pengaruh Massa Bangunan dan Vegetasi Sekitar Terhadap Aliran Udara Bangunan Hunian**

Dalam perancangan bangunan ada pentingnya untuk menganalisis bangunan - bangunan sekitar perancangan. Hal ini karena bangunan sekitar dapat memengaruhi aliran udara yang berhembus terutama pada tata letak bangunan itu sendiri. Sehingga tata letak bangunan sekitar yang sesuai akan memberikan dampak positif bagi bangunan yang sedang dirancang (Hana Mufidah, 2019). Ketika aliran udara menabrak suatu bangunan maka terjadi fenomena aliran udara terpecah menjadi dua hingga tiga atau lebih ke arah yang berbeda – beda dan meninggalkan bangunan tersebut. Oleh karena itu, bangunan sekitar site perancangan dapat mengubah karakter aliran udara sebelum mencapai bangunan yang akan/sedang dirancang (Zahrial Amin, Abdul Rahman. 2021).



Gambar 2 Aliran Udara Bangunan
Sumber: Hana Mufidah, 2019

Vegetasi seperti pepohonan dan semak tidak hanya berfungsi sebagai estetika dan penyejuk suhu udara sekitar, tetapi juga berfungsi dan berpengaruh terhadap pola pergerakan aliran udara dalam suatu bangunan. Pola pergerakan udara dapat diatur oleh vegetasi yang dipilih/digunakan dan ditempatkan dalam posisi tertentu sebagai penyaring, refleksi, bimbingan, dan/atau halangan udara pada site perencanaan. Vegetasi dapat mengurangi atau bahkan mempercepat pola pergerakan udara pada site rancangan guna menambah atau mengurangi penggunaan energi bangunan (Zahrial Amin, Abdul Rahman. 2021).

- **SD Muhammadiyah Sleman**



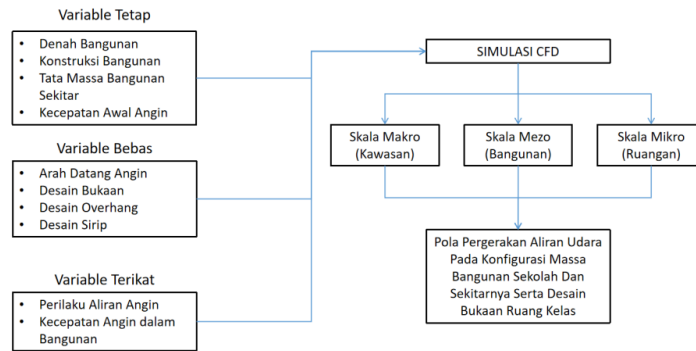
Gambar 3 SD Muhammadiyah Sleman
Sumber: Penulis. 2023

SD Muhammadiyah Sleman merupakan salah satu cabang sekolah dasar swasta (Muhammadiyah) yang terletak di Jalan Kenari No. 10, Srimulyo, Triharjo, Kecamatan Sleman, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. SD Muhammadiyah Sleman memiliki dua bangunan yang letaknya saling berseberangan dan terhubung melalui jembatan kecil. Bangunan utama SD Muhammadiyah Sleman berada di sisi barat dengan bentuk denah bangunan menyerupai huruf “U”. Bangunan utama ini memiliki tiga lantai dengan fasad utama bangunan menghadap arah timur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian evaluatif - kuantitatif. Metode evaluatif digunakan dengan cara mengumpulkan teori - teori yang berhubungan dan mengobservasi bangunan objek penelitian (SD Muhammadiyah Sleman) untuk mengevaluasi pengaruh massa bangunan sekolah dan sekitar terhadap pola pergerakan udara. Metode kuantitatif digunakan dengan melakukan simulasi - simulasi berdasarkan hasil data terkait pola pergerakan udara. Hasil simulasi menggunakan aplikasi CFD kemudian dituliskan dalam bentuk gambar dan grafik dalam tabel lalu dievaluasi. Untuk mendukung kegiatan pengumpulan penelitian maka alat dan bahan yang dibutuhkan dan digunakan pada berupa peneliti sendiri, alat tulis, buku catatan, *smartphone*, laptop, *software* simulasi, dan kamera.

Adapun variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini, antara lain: Variabel tetap yaitu bentuk denah, konstruksi, atap, tata letak bangunan sekitar sekolah, arah datang angin, dan kecepatan awal angin. Variabel bebas yaitu desain bukaan, *overhang*, dan sirip. Variabel terikat yaitu kecepatan udara/angin dan pola pergerakan udara/angin dalam bangunan.



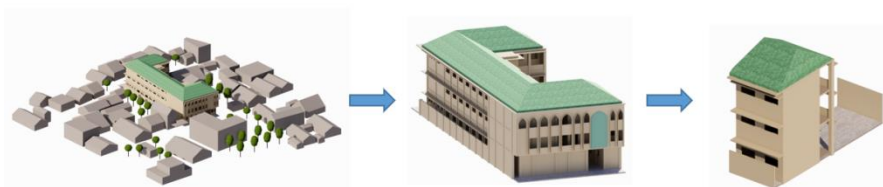
Gambar 4 Skema Variabel Penelitian
Sumber: Penulis. 2023

Dalam penelitian ini terdapat beberapa aplikasi lunak yang digunakan untuk mendukung dan menyelesaikan permasalahan penelitian. Aplikasi lunak tersebut antara lain ArchiCAD, SketchUp, dan Autodesk CFD. Aplikasi ArchiCAD dan SketchUp dalam penelitian ini digunakan untuk merancang bentuk 3D model dan gambar kerja dari bangunan SD Muhammadiyah Sleman serta desain alternatif. Sedangkan, Autodesk CFD digunakan ketika bentuk 3D sudah selesai dan berfungsi untuk mempelajari pola pergerakan udara yang terjadi pada bangunan sekolah dan pengaruh bangunan sekitar.



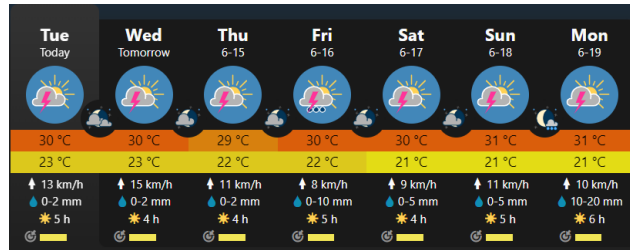
Gambar 5 Denah SD Muhammadiyah Sleman
Sumber: Penulis. 2023

Simulasi CFD dilakukan dengan tiga tahap. Tahap pertama yaitu simulasi skala makro dengan peletakkan massa sekitar sekolah. Tahap dua yaitu simulasi skala mezo dengan hanya terdapat bangunan sekolah saja. Tahap ketiga yaitu skala mikro dengan model kelas eksisting dan desain alternatif. Dengan ketiga tahap tersebut dapat dilihat pengaruh konfigurasi massa bangunan sekolah dan sekitar serta desain bukaan terhadap pola pergerakan udara.



Gambar 6 Model Simulasi Skala Makro - Mezo - Mikro
Sumber: Penulis. 2023

HASIL PENELITIAN
Input Data



Gambar 7 Ramalan Cuaca Meteoblue Selama Satu Minggu
Sumber: Penulis. 2023

Melalui aplikasi Meteoblue didapatkan data arah dan kecepatan pergerakan udara pada lokasi SD Muhammadiyah Sleman. Rata - rata kecepatan udara pada lokasi selama satu minggu sebesar 11 km/jam atau 3,05 m/s yang dapat dibulatkan menjadi 3 m/s saja. Kemudian arah angin selama seminggu semuanya mengarah dari selatan ke utara sehingga arah tersebut akan digunakan dalam simulasi tersebut.

Hasil & Pembahasan Simulasi CFD

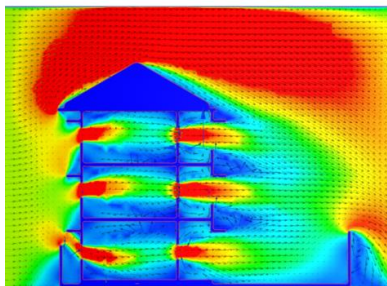
Tabel 3 Hasil dan Pembahasan Simulasi

SKALA MAKRO		
m/s	Hasil Simulasi	Pembahasan
	<p>Gambar 8 Simulasi CFD Skala Makro Sumber: Penulis. 2023</p>	<p>Pada skala makro (kawasan), hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa pola pergerakan udara yang terjadi dan perubahan kecepatan udara. Ketika aliran udara menabrak objek di depannya maka pola pergerakan yang ditimbulkan berupa pola terpisah dan turbulensi. Pola - pola ini akan menghasilkan arah aliran udara yang baru setelah menabrak objek bangunan pertama yang kemudian aliran udara berikutnya juga menabrak objek di depannya dan seterusnya hingga tidak ada objek di depannya. Ketika menabrak objek bangunan, kecepatan udara juga berubah yang semula kecepatan pola laminar 3 m/s menjadi sekitar 1 - 1,8 m/s. Kecepatan aliran udara setelah menabrak objek bangunan di depannya paling cepat terdapat pada sela - sela jarak antar bangunan. Pada dalam sekolah sendiri, kecepatan udara hanya berkisar pada 1 - 1,2 m/s saja. Apabila mengacu pada skala kecepatan dan kenyamanan udara menurut Henry Frick (1985) maka kecepatan udara dalam bangunan sekolah dapat dikategorikan sebagai kecepatan udara nyaman maksimal. Sedangkan, pada Skala menurut Beaufirt (1953) kecepatan udara tersebut dikategorikan sebagai <i>light air</i> atau udara ringan yang hanya membuat asap dari pembakaran terlihat bergerak.</p>
	<p>Gambar 9 Simulasi CFD Skala Mezo Sumber: Penulis. 2023</p>	<p>SKALA MEZO</p> <p>Pada skala mezo (bangunan), hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa pola pergerakan udara yang terjadi dan perubahan kecepatan udara. Ketika aliran udara menabrak objek di depannya maka pola pergerakan yang ditimbulkan berupa pola terpisah dan turbulensi. Pola turbulensi terlihat pada area udara yang menabrak tengah bangunan. Sedangkan, pola terbisah berada pada sudut pinggir bangunan. Ketika menabrak objek bangunan</p>

sekolah, kecepatan udara juga berubah yang semula kecepatan pola laminar 3 m/s menjadi sekitar 0,8 - 2 m/s. Kecepatan aliran udara setelah menabrak objek utamanya pagar sekolah terdapat pada bukaan ruang - ruang kelas. Kecepatan udara berkisar pada 1,4 - 1,6 m/s. Namun, jika di luar kelas kecepatan hanya berkisar pada 0,6 - 1,4. Apabila mengacu pada skala kecepatan dan kenyamanan udara menurut Henry Frick (1985) maka kecepatan udara dalam bangunan sekolah dapat dikategorikan sebagai kecepatan yang kurang nyaman dan berangin pada ruang kelas. Sedangkan, pada Skala menurut Beaufirt (1953) kecepatan udara tersebut dikategorikan sebagai *slight* atau sedikit angin yang hanya terasa pada wajah.

SKALA MIKRO

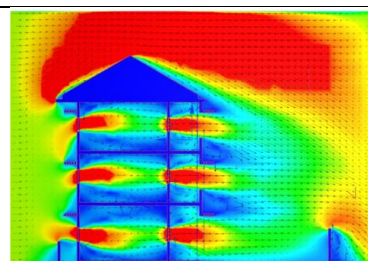
Eksisting



Gambar 10 Simulasi CFD Skala Mikro
Sumber: Penulis. 2023

Terdapat beberapa pola udara dalam ruang kelas. Ketika aliran udara menabrak pagar sekolah maka pola pergerakan yang ditimbulkan berupa pola terpisah dan ketika menabrak dinding sekolah maka pola yang ditimbulkan berupa turbulensi. Ketika menabrak pagar sekolah pola angin seakan - akan dibelokkan ke atas yang kemudian masuk pada bukaan sekolah. Pola yang dihasilkan pada simulasi eksisting ini juga menunjukkan jika dengan adanya *overhang* di atas dapat juga berperan dalam membelokkan udara yang tadinya terpantul ke atas balik ke bawah. Kejadian tersebut dapat terlihat jelas pada lantai satu bangunan. Sementara, pada lantai satu dan dua setelah masuk dan menabrak bukaan, pola udara cenderung melengkung ke atas sehingga kurang efektif mengenai pengguna ruangan. Dari sisi kecepatan udara yang masuk dalam ruang kelas menunjukkan jika setelah udara masuk melalui bukaan, kecepatan udara terlihat sangat cepat yaitu lebih dari 5 m/s. Sedangkan, pada area ruang kelas yang lain kecepatan udara berkisar 1,8 - 2,4 m/s. Jika mengacu pada skala Henry Frick kecepatan tersebut sudah termasuk pada kecepatan kenyamanan udara yang buruk dan kesehatan pengguna terpengaruh oleh kecepatan tersebut. Sedangkan, skala Beaufort kecepatan tersebut dikategorikan dalam kecepatan *gentle breeze* yang memengaruhi daun dan ranting bergerak konstan serta bendera dapat berkibar. Tentunya kecepatan eksisting tersebut sangat tidak direkomendasikan dan perlunya perbaikan supaya kecepatan dalam kondisi nyaman.

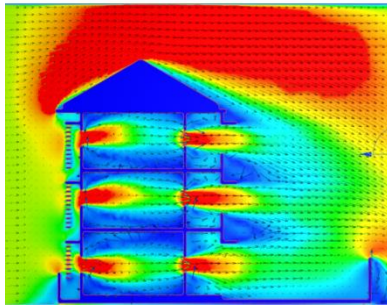
Desain Alternatif



Gambar 11 Simulasi CFD Desain Alternatif 1
Sumber: Penulis. 2023

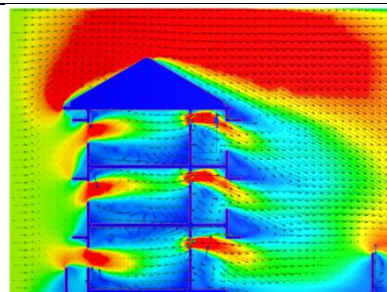
Pada desain alternatif 1 hal baru yang dicoba berupa modifikasi desain *overhang* yang putus - putus dan tinggi pagar yang diturunkan 1 meter dari eksisting. Didapatkan jika dari pola pergerakan udara masih sama dengan eksisting, hanya terdapat perbedaan ketika pola turbulensi yang menabrak dinding sekolah aliran udara yang sebelumnya akan mengenai *overhang* dan cenderung dibalikkan ke bawah menjadi alirannya melewati sela - sela *overhang*. Pola udara dalam kelas juga cenderung masih sama dengan eksisting, hanya saja pada lantai satu pola udara yang sebelumnya melengkung ke bawah

mengenai pengguna sekarang sedikit melengkung ke atas. Untuk kecepatan udara dalam alternatif 1 ini masih serupa dengan eksisting yang kurang nyaman karena setengah dari ruang kelas dalam kecepatan lebih dari 5 m/s.



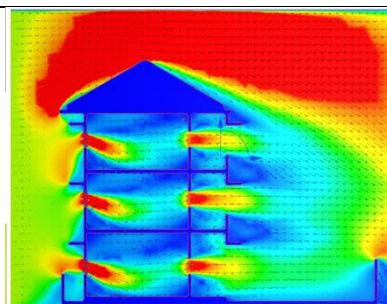
Gambar 12 Simulasi CFD
Desain Alternatif 2
Sumber: Penulis. 2023

Pada desain alternatif 2 hal baru yang dicoba berupa modifikasi sirip - sirip horizontal di depan bukaan dan tinggi pagar yang diturunkan 1 meter dari eksisting. Didapatkan jika dari pola pergerakan udara sama dengan alternatif 1, hanya terdapat sedikit perbedaan ketika pola udara dalam ruangan. Perbedaan pola udara pada tiap lantai yang udaranya cenderung lurus dan sedikit melengkung seperti lantai tiga. Untuk kecepatan udara dalam alternatif 2 ini masih serupa dengan alternatif 1 yang kurang nyaman, tetapi kecepatan udara yang lebih dari 5 m/s panjangnya telah berkurang. Sehingga desain sirip horizontal diketahui dapat mengarahkan aliran udara dan menurunkan kecepatan udara yang masuk.



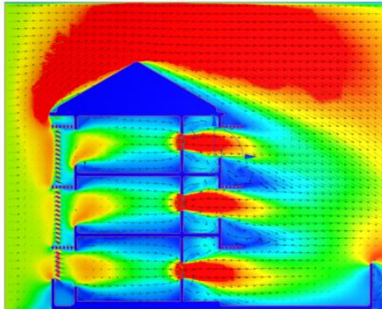
Gambar 13 Simulasi CFD
Desain Alternatif 3
Sumber: Penulis. 2023

Pada desain alternatif 3 hal baru yang dicoba berupa modifikasi letak dan ukuran bukaan serta tinggi pagar yang diturunkan 1 meter dari eksisting. Didapatkan jika dari pola pergerakan udara sangat berubah dari sebelumnya. Pola udara yang semula hanya sedikit melengkung ke atas dalam ruangan, kini pola udara cenderung mengarah ke atas melewati pengguna. Hal tersebut terasa pada lantai dua dan tiga. Sementara, pada lantai satu udara masih mengenai pengguna, tetapi pada area ruang kelas yang belakang angin sangat naik ke atas. Untuk kecepatan udara dalam alternatif 3 pada dasarnya masih sama dengan alternatif 2 yang kurang nyaman, tetapi kecepatan udara yang lebih dari 5 m/s panjangnya telah berkurang dan kecepatan area lain 1,8 - 2,4 m/s turun menjadi 1,4 - 2,2 m/s. Kecepatan tersebut dapat dibidang masih sama apabila mengacu pada skala Herny Frick dan Beaufort. Sehingga desain bukaan yang dimodikasi dapat dikatakan berhasil dalam membelokkan udara dalam kelas secara signifikan, tetapi masih sama dalam hal kecepatan udara layaknya desain alternatif 2.



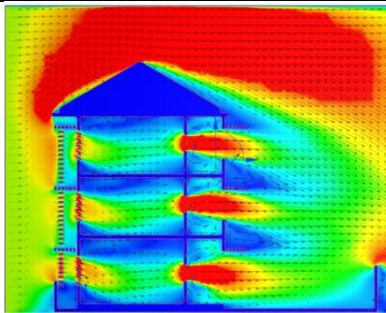
Gambar 14 Simulasi CFD
Desain Alternatif 4
Sumber: Penulis. 2023

Pada desain alternatif 4 hal baru yang dicoba berupa modifikasi sirip - sirip miring ke bawah di tengah bukaan dan tinggi pagar yang diturunkan 1 meter dari eksisting. Didapatkan jika dari pola pergerakan udara berubah signifikan setelah melewati sirip - sirip. Setelah udara melewati sirip - sirip hal yang terjadi yaitu udara dibelokkan ke bawah kemudian akan naik lagi menuju bukaan di sisi lain. Hal ini membuat pola udara berhasil mengenai pengguna di dalamnya. Untuk kecepatan udara dalam alternatif 6 sama dengan alternatif 2 yang kurang nyaman yaitu terdapat panjang area kecepatan lebih dari 5 m/s, tetapi terdapat penurunan panjang area tersebut dari eksisting. Sementara itu, terjadi perubahan pada area kelas yang lain yaitu terdapat penurunan kecepatan yang semula 1,8 -2,4 m/s pada eksisting menjadi 1,4 - 2 m/s. Sehingga desain sirip miring ke bawah di tengah bukaan dapat dikatakan membelokkan udara ke arah bawah menuju lantai dan kemudian dipantulkan lagi ke arah atas menuju bukaan keluar.



Gambar 15 Simulasi CFD
Desain Alternatif Gabungan 1
Sumber: Penulis. 2023

Pada desain alternatif gabungan 1 hal baru yang dicoba berupa modifikasi sirip - sirip miring ke bawah di depan bukaan, ukuran bukaan yang diperbesar, desain *overhang* putus - putus, dan tinggi pagar yang diturunkan 1 meter dari eksisting. Didapatkan jika dari pola pergerakan udara berubah signifikan daripada simulasi eksisting dan alternatif 1 - 4. Pola yang dihasilkan udara dalam ruangan cenderung lurus dan menyebar. Hal ini karena peran dari bukaan yang diperbesar. Sementara itu, desain sirip miring ke bawah juga berperan dalam membelokkan udara pertama menuju bukaan. Desain *overhang* berperan dalam mengurangi pola - pola turbulensi sehingga udara yang menabrak dinding dapat tersebar dan lewat sela - sela *overhang*. Untuk kecepatan udara dalam alternatif gabungan 1 juga berubah signifikan dari yang awalnya terdapat kecepatan lebih dari 5 m/s menjadi hanya 3,4 m/s dan sisanya berkisar pada 1,8 - 2,2 m/s. Kecepatan ini dalam skala Henry Frick dan Beaufort sebenarnya masih dalam kategori yang kurang nyaman, tetapi hasil dari alternatif gabungan ini menunjukkan perbedaan yang signifikan. Sehingga desain alternatif gabungan satu dapat membelokkan udara, meratakan udara, dan mengurangi kecepatan udara.



Gambar 16 Simulasi CFD
Desain Alternatif Gabungan 2
Sumber: Penulis. 2023

Pada desain alternatif gabungan 3 hal baru yang dicoba berupa modifikasi sirip - sirip horizontal di depan bukaan, terdapat sirip - sirip miring ke bawah secara penuh di tengah bukaan, desain *overhang* putus - putus, dan tinggi pagar yang diturunkan 1 meter dari eksisting. Didapatkan jika dari pola pergerakan udara hampir seperti perpaduan antara alternatif 4 dan alternatif gabungan 1. Pola yang dihasilkan udara setelah melewati sirip horizontal cenderung diarahkan lurus menuju bukaan. Kemudian aliran udara dibelokkan menuju arah lantai setelah melewati sirip miring di tengah bukaan. Hal membuat aliran udara dapat mengenai pengguna ruangan dan kecepatannya lebih tinggi daripada alternatif gabungan 1. Untuk desain *overhang* masih sama perannya seperti alternatif gabungan 1. Untuk kecepatan udara dalam alternatif gabungan 3 mirip dengan alternatif gabungan 1. Kecepatan ini dalam skala Henry Frick dan Beaufort tentunya tidak nyaman, tetapi arah dan fokus aliran udara dapat dikontrol. Sehingga desain alternatif gabungan 3 dapat memfokuskan udara lurus menuju bukaan, membelokkan udara ke lantai, dan mengurangi kecepatan udara.

Sumber: Penulis. 2023

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari berbagai simulasi yang telah dilakukan terhadap bangunan SD Muhammadiyah Sleman, telah dicapai kesimpulan berdasarkan pola pergerakan udara dan standar kenyamanan penghawaan alami menurut Henry Frick dan Beaufort. Hasil kesimpulan dari penelitian ini dapat dijabarkan ke dalam beberapa poin sebagai berikut:

1. Pola pergerakan dan kecepatan udara pada skala makro memperlihatkan jika massa sekitar akan terpengaruh. Pada pola udara sangat terlihat jelas pola terpisah dan horizontal yang terjadi. Sedangkan, kecepatan udara akan cenderung menurun setelah

- udara menabrak objek bangunan sehingga pada dalam bangunan sekolah aliran udara dapat menyetuh kategori nyaman.
2. Pola pergerakan dan kecepatan udara pada skala mezo memperlihatkan jika udara bergerak pada setiap ruangan - ruangan sekolah. Pergerakan udara sangat terlihat pada kelas - kelas sisi selatan sekolah dan koridor - koridor sekolah. Karena terdapat pagar sekolah kecepatan udara dapat berkurang sehingga dapat menyetuh kategori nyaman dalam penghawaan alami.
 3. Simulasi alternatif 1-4 dan alternatif gabungan 1-2 menunjukkan jika modifikasi desain yang optimal berupa adanya sirip horizontal di depan bukaan, sirip miring ke bawah di tengah bukaan, dan desain *overhang* putus - putus. Modifikasi - modifikasi tersebut terbukti dapat memfokuskan, membelokkan, dan mengurangi kecepatan udara sehingga dapat mengenai pengguna dalam ruangan dengan nyaman.
 4. Hasil kecepatan udara pada simulasi alternatif 1-4 dan gabungan 1-2 memang terasa cepat dan masuk dalam kategori tidak nyaman. Akan tetapi, hal tersebut karena tidak adanya objek halangan bagi udara di area sekitar sekolah. Apabila terdapat halangan maka kecepatan udara dapat dipastikan menjadi lebih rendah lagi sesuai seperti simulasi skala makro.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dari berbagai simulasi yang dilakukan terdapat rekomendasi dalam merancang bangunan supaya kenyamanan termal utamanya penghawaan alami dapat baik. Pertama yaitu orientasi massa bangunan yang sebaiknya mengarah ke arah datang angin yang mayoritas / sering datang, contohnya pada pulau Jawa arah datang angin mayoritas berasal dari selatan ke utara sehingga massa bangunan dapat di arahkan ke arah selatan. Kedua yaitu penambahan elemen sirip - sirip pada bukaan dapat mengarahkan dan mengurangi kecepatan udara secara signifikan serta desain *overhang* putus - putus yang dapat mengurangi pola turbulensi ketika udara menabrak dinding bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A. (2017). STUDI PENGHAWAAN ALAMI PADA BANGUNAN SEKOLAH DASAR DI PINGGIRAN SUNGAI MUSI PALEMBANG. *Arsir Universitas Muhammadiyah Palembang*.
- Amin, A. (2021). SIMULASI ALIRAN ANGIN PADA GEDUNG YOSEPH, KAMPUS UNIKA MUSI CHARITAS PALEMBANG.
- Amri, S., & Syukur, L. O. (2017). ANALISIS ALIRAN ANGIN PADA ATAP MIRING MELALUI UJI SIMULASI FLOW DESIGN. *Langkau Betang*, 4(2).
- Amri, S., Syukur, L. O., & Amsyar, S. (2017). IDENTIFIKASI POLA ALIRAN ANGIN DAN GAYA HAMBAT PADA ATAP MIRING. *Jurnal UMJ*.
- Cornelia Hildegardis. (2022). EVALUASI ALIRAN UDARA PADA BANGUNAN ASRAMA DIVITRIYA, BERBENTUK "U" DI YOGYAKARTA. *Vitruvian: Jurnal Arsitektur, Bangunan dan Lingkungan*, 11(3), 275. <https://doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i3.009>
- Harianja, B., Prianto, E., & Setiabudi, W. (2016). STUDI CFD DAN IN-SITU TERHADAP GERAKAN UDARA INTERIOR DARI EFEK PILIHAN MODEL JENDELA JUNGKIT. *Jurnal PPKM III*, 286–299.
- Irwanuddin, I. (2018). Investigasi Kinerja Gaya Angin pada Rumah Tradisional Nias. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 7(4), 229–234. <https://doi.org/10.32315/jlbi.7.4.229>

- Jenny, & Talarosha, B. (2014). Pengaruh Orientasi Bangunan Terhadap Kecepatan Angin Pada Massa Bangunan Dengan Layout Berbentuk U. *Arsitektur dan Perkotaan Koridor*, 24–40. <http://isjd.pdii.lipi.go.id/>
- Kusuma, Y., & Kasman, A. (2018). KAJIAN EFEK ANGIN PADA BANGUNAN TINGGI MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS STUDY WIND EFFECT AT HIGH BUILDING USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS. *Jurnal BPPT*.
- Marcella, G., & Nugroho, N. (2019). INFLUENCE OF MASS “U” FORM IN LINE UP FORMATION TOWARDS AIR MOVEMENT ON SUPPORTING THERMAL COMFORT IN OUTSIDE SPACE OF APARTMENT LANDMARK RESIDENCE, BANDUNG. *Jurnal UNPAR*, 03, 398–413. www.journal.unpar.ac.id
- Mufidah, H., & Sugini. (2019). Studi Pengaruh Bentuk Dan Tatahan Massa Bangunan Terhadap Perilaku Angin. *SAKAPARI*.
- Muhammad, M., Sufianto, H., & Sudarmo, B. (2016). EVALUASI PENGHAWAAN ALAMI RUANG KELAS DI SEKOLAH DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK SIMULASI CFD. *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- Muhammad, N. A., & Rito, B. (2020). Evaluasi Persebaran Ventilasi Udara Terhadap Kenyamanan Termal Pada Innercourt Dan Koridor Gedung Perkuliahan Di Gedung Jurusan Transformasi Digital, STMM Yogyakarta. *SAKAPARI*.
- Seputra, J. (2013). Evaluasi Performa Ventilasi Alami pada Desain Bukaannya Ruang Kelas Universitas Atma Jaya Yogyakarta. *Arsitektur Komposisi*.
- Setiati, T. W. (2018). Kondisi Aliran Udara Pada Kawasan Bangunan Tinggi Dengan Pola Radial. *Desiminasi Teknologi*, 164–170. <http://www.cement.org/newsroom/IBS20>
- Simbolon, H., & Nasution, I. (2017). DESAIN RUMAH TINGGAL YANG RAMAH LINGKUNGAN UNTUK IKLIM TROPIS. *Journal Education Building*, 3(1), 2477–4898.