STUDI PERFORMA MODUL BRICK MASONRY KARYA ANDY RAHMAN PADA BANGUNAN TERHADAP PERFORMA PENGHAWAAN ALAMI

Eko Wahyu Nur Lestianto[1], Dyah Hendrawati[2] , dan Kevin Ananda[3]
[1]Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia
[2]Surel: 045120411@uii.ac.id

***ABSTRAK**: Craftsmanship atau budaya ketukangan mulai mengalami kemerosotan dan terdegradasi oleh kemajuan teknologi, khususnya di Indonesia. Permasalahan ini kemudian memicu masyarakat untuk melakukan pergerakan melestarikan kearifan ketukangan lokal dan mengutamakan desain pasif dan material konvensional yang dapat mengurangi konsumsi energi. Salah satu strategi desain yang dapat membantu mencapai tujuan ini adalah dengan menggunakan pasif desain berupa susunan bata berongga pada fasad bangunan sebagai self-shading, penghawaan dan pencahayaan alami. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari modul brick masonry yang dirancang oleh Arsitek Andy Rahman terhadap performa penghawaan di dalam bangunan berdasarkan SNI 03-6575-2001 dan ASHRAE 55-2020. Objek penelitian ini adalah susunan bata pada fasad bangunan dengan modul yang berbeda-beda. Penelitian ini dilakukan dengan metode uji simulasi software Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menguji kinerja penghawaan alami dari variasi susunan bata yang berbeda. Hasil penelitian menunjukan bahwa semua pola susunan bata kurang optimal dalam penghawaan alami di dalam ruangan yang hanya berkisar 0,75 m/s – 0,06 m/s dari target 1.2 m/s.*

***Kata kunci:** computational fluid dynamics, craftmanship, desain pasif, penghawaan alami, susunan bata*

PENDAHULUAN

Budaya ketukangan Nusantara merupakan sebuah warisan budaya yang penting dalam dunia arsitektur tradisional Indonesia. Ketukangan konvensional yang telah ada tentu saja merupakan suatu warisan kebudayaan yang telah terjalin paling tidak selama satu abad ke belakang. (Prahasya & Holil, 2022). Keunikan dari budaya ketukangan Nusantara adalah pada pola ukiran yang rumit, detail dan juga tektonika membangun nya yang hanya memanfaatkan material alami. Ukiran ini terkadang memiliki makna atau simbolisme tersendiri, seperti ukiran yang menggambarkan pola geometri budaya lukis seperti batik. Ketukangan merupakan simpul strategis dalam membuat suatu gagasan itu mewujud. (Prawoto, 2019). Ketukangan Nusantara mencakup pekerjaan dalam skala makro seperti landscape kawasan seperti pada perumahan bali, rumah hunian seperti rumah adat joglo dari Jawa tengah, rumah ibadah seperti candi dan pura, dan juga ruang-ruang publik seperti alun-alun kota. Sedangkan dalam skala yang lebih kecil adalah pada komponen sebuah bangunan seperti pada bukaan pintu dan jendela, atap, tiang -tiang dan juga pada dinding pembatas. Adapun kelebihan dari ketukangan nusantara adalah perkembangan perjalanan nya yang telah mengalami proses dari berbagai penyesuaian dengan kondisi iklim lokal yang ada di Indonesia. Kondisi dan letak geografis Indonesia yang berada digaris khatulistiwa membuatnya menjadi negara tropis yang hanya memiliki dua musim saja. Hal ini berdampak ke kondisi iklim Indonesia yang menyebabkan kelembapan dan suhu yang relatif tinggi. Sehingga untuk mencapai kenyamanan termal tubuh memerlukan pergerakan angin yang cepat agar dapat melakukan proses evaporasi sehingga tubuh dapat beraktivitas secara optimal. (Alfred Aritonang & Yusnita Nugroho, 2022).

Dewasa ini di Indonesia muncul pergerakan-pergerakan untuk melestarikan *craftmanship* dalam merancang dan membangun sebuah bangunan yang dapat bekerja secara pasif merespon kondisi iklim lokal secara efisien. Salah satu arsitek yang cukup konsen saat ini dalam mengambangkan budaya membangun ketukangan yang juga coba mengembangkan

bangunan dengan sistem desain pasif adalah Andy Rahman dengan tektonika nya yang berjudul "NATABATA".

"NATABATA" yang sedang dikembangkan oleh Andy Rahman adalah dengan cara memanfaatkan kearifan ketukangan, teknik konstruksi, dan juga kombinasi material alami dan modern. Andy Rahman memanfaatkan potensi industri material lokal dan juga perkembangan teknologi untuk menciptakan modul material batu-bata yang dapat disesuaikan dengan desain pola *brick masonry* nya. Proses pemakaian bata yang awalnya hanya diplester saja kemudian berubah menjadi ekspos terjadi secara gradual, berangsur-angsur. Dalam mendesain pola yang cukup rumit dan mendetail Andy Rahman melakukan dialog bersama tukang untuk menciptakan solusi yang kreatif dan murah karena sejatinya tukang memiliki keuletan dan memahami betul karakter dan sifat dari material bata itu sendiri. (Andy Rahman, n.d, 2022). Sistem pasif pada bangunan dicapai dengan berbagai cara seperti mengoptimalkan penggunaan bukaan, material bukaan, dimensi bukaan, arah bukaan, dan juga ketebalan bukaan. Semua faktor itu berperan dalam pengkondisian termal dan pencahayaan didalam ruangan. Andy Rahman juga kerap kali menyusun berbagai pola bukaan batu-bata berongga yang terinspirasi dari bentuk geometris dari sebuah motif kerajinan kain.

Rumusan Masalah:

1. Bagaimana performa pola susunan bata itu dalam penghawaan alami?
2. Faktor apa yang mempengaruhi kinerja modul *brick Masonry* dalam mengontrol penghawaan alami?

Tujuan Penelitian:

1. Mengetahui performa modul *brick Masonry* terhadap penghawaan alami
2. Mengetahui faktor apa yang mempengaruhi kinerja modul *brick Masonry* dalam mengontrol penghawaan alami

STUDI PUSTAKA

Prinsip Dasar Pergerakan Angin

Prinsip dasar pergerakan udara didalam ruangan harus dipahami dengan baik agar dapat diidentifikasi dengan benar. Udara bergerak mengikuti hukum-hukum alam tertentu yang berlaku, sehingga pergerakan udara ini relatif teratur dan dapat diprediksi atau diketahui arahnya (terukur). (T. Boutet, 1987). Ada beberapa prinsip dasar pergerakan angin (Aini Qurratul, 2016) menurut Lechner (2007): yaitu *high and low pressure area, reason the flow air, inertia, stack effect, bernoulli effect, cross ventilation, jet flow,* dan *venturi effect*.

Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan salah satu faktor penting dalam mendesain sebuah ventilasi. Menurut Prianto dan Depecker (2001) pada hunian di daerah beriklim tropis dengan kelembapan tinggi, kenyamanan penghuni tidak hanya bergantung pada jumlah udara segar yang masuk ke dalam ruangan, tetapi juga pada kecepatan aliran angin. (Indrani, 2008). Bagi kita yang berada pada daerah beriklim tropis dengan kelembapan tinggi juga akan memiliki parameter berbeda, yakni adanya faktor keringat. Kecepatan angin memungkinkan pemenuhan debit ventilasi udara yang baik untuk kebutuhan pergantian udara segar. Hal ini membantu dalam proses pendinginan struktur bangunan secara konvektif, sehingga meningkatkan kenyamanan termis.(Adindra Maharsi Kusuma Astuti, 2023).Ventilasi memungkinkan pendinginan menggunakan aliran angin alami dengan pendinginan evaporasi. Ketika angin dingin melewati benda hangat, kalor pada benda itu akan berpindah ke udara. Proses yang terjadi itu membuat benda panas tadi menjadi dingin karena kalor nya diangkut oleh hembusan angin tadi atau disebut juga proses evaporasi. Hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Sangkertadi, 2006) minimal nilai kecepatan angin yang paling optimal adalah 0,7 m/s untuk daerah yang memiliki kelembapan 90%

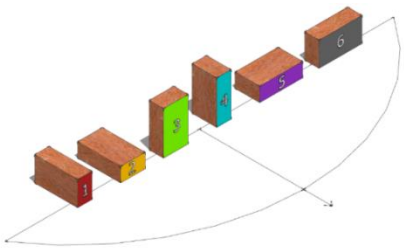
dengan suhu 27° dan 1,3 m/s untuk suhu 28° atau 0,6 m/s untuk setiap kenaikan suhu 1°.

Rasio Bukaan

Berdasarkan laporan penelitian (Wong et al., 2007) di Singapura yang memiliki iklim panas dan lembab, penggunaan penghawaan alami pada bangunan telah ditemukan meningkatkan kenyamanan termal. Penelitian ini menganalisis empat strategi ventilasi yang berbeda dengan menggunakan program TAS untuk analisis termal. Strategi ventilasi melibatkan ventilasi pada malam hari, ventilasi pada siang hari, dan ventilasi penuh dengan bukaan dan tanpa ventilasi. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio bukaan jendela ke dinding sebesar 24% dianggap ideal untuk mencapai kenyamanan termal terbaik pada bangunan. Penelitian lain oleh (Hamzah et al., 2017) juga menunjukkan bahwa luas bukaan sebesar 17,52% - 22,76% memiliki kinerja yang lebih baik. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh (Latif, 2014) yang merekomendasikan luas bukaan minimal sebesar 20% dari luas lantai ruangan.

Jenis Susunan Bata

Batu bata mampu menyerap dan menyimpan panas radiasi matahari, kemudian melepaskannya secara bertahap. Ini memberikan manfaat dalam kenyamanan termal, di mana selama siang hari, material batu bata dapat menurunkan suhu ruang dalam hingga 1,8°C atau lebih dibandingkan suhu luar, membantu menjaga kesejukan ruangan. (Alfred Aritonang & Yusnita Nugroho, 2022). Batu bata memiliki bentuk dan dimensi tertentu yang memiliki 3 macam sisi dalam 6 sisinya. Polanya sendiri bergantung pada peletakan bata satu dengan bata lainnya yang dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 1 Penamaan sisi bata
Sumber : Data peneliti, 2023

1. *Rowlock*: Bata diorientasikan secara horizontal, dengan sisi vertikal yang sempit menghadap ke luar.
2. *Header*: Bata ditempatkan mendatar, dengan bagian lebarnya yang menghadap ke luar.
3. *Sailor*: Bata disusun tegak secara vertikal, memperlihatkan permukaan terluas dari bata tersebut di bagian depan.
4. *Soldier*: Bata disusun secara vertikal dengan sisi memanjang yang menghadap ke luar.
5. *Stretcher*: Bata diletakkan secara horizontal, menonjolkan sisi panjang di bagian depan.
6. *Shiner*: Bata diorientasikan mendatar, dengan permukaan datar terluas yang menghadap ke luar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan evaluatif eksperimental dengan melakukan uji simulasi terhadap empat pola susunan modul bata yang telah didesain oleh Andy Rahman dalam bukunya "NATABATA". Variabel yang akan diujikan telah terlebih dahulu ditetapkan agar semua pola dapat diamati cara kerja dan penurunan nilai variabelnya sehingga dapat ditarik kesimpulan dari hasil pengujiannya. Dalam proses penelitian, akan digunakan (1) Metode pengumpulan data yang akan dilakukan dengan mereview buku berjudul "NATABATA" yang telah ditulis oleh Andy Rahman selaku arsitek dan juga pustaka terpercaya lainnya yang didapat baik secara daring maupun luring. Data yang didapat kemudian di digitalisasi menggunakan (2) *software SketchUp* sebagai alat model 3d dan juga (3) CFD (*Computational*

Fluid Dynamics) sebagai uji fluida, hasil uji simulasi kemudian (4) ditinjau kembali dengan metode komparasi untuk mengetahui pola bata berongga mana yang bekerja paling baik untuk memenuhi variabel penghawaan alami.

Dalam melakukan uji simulasi telah ditentukan terlebih dahulu variebel untuk menentukan parameter yang akan diujikan, yaitu:

a) Variabel kontrol simulasi penghawaan
- **Kecepatan Angin** : 3,5 m/s
- **Kelembapan** : 98%
- **Aktivitas** : Duduk (1,2met),berdiri(1,2met),sholat(1,2 met)
- **Pakaian** : Kemeja & celana panjang *chino* (0,61 clo)
- **Dimensi Ruang** : 4m x 7m x 3,5 m/ 98 m3
- **Orientasi Fasad** : Barat

b) Variabel bebas
- **Modul Batu bata** : Modul batu-bata kustomisasi dengan dimensi dan pola penataan

c) Variabel terikat
- **Fungsi Ruang** : Ruang mushola didalam rumah

d) Target Capaian
- **Kecepatan Udara** :1,2 m/s (*ASHRAE Standard 55-2020*)

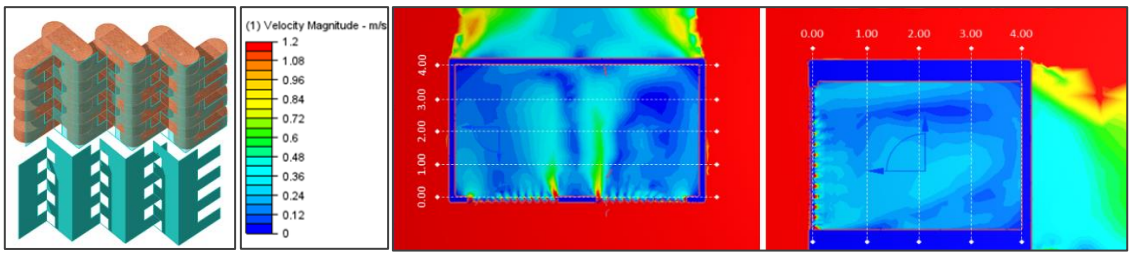
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Susunan A1

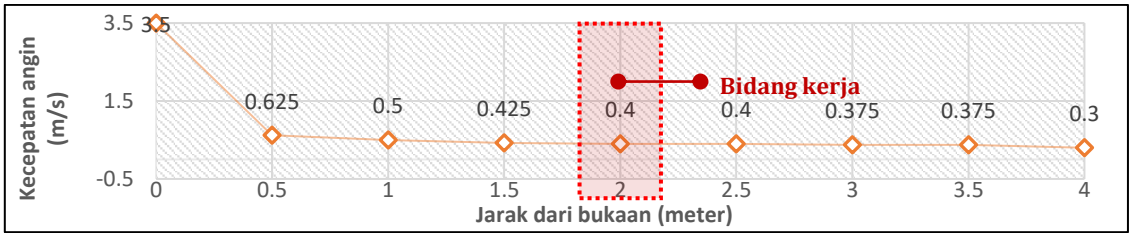
Bekerja sama dengan pengrajin bata lokal Andy rahman mendesain batu bata dengan sudut yang halus. Pola susunan bata kemudian disusun dengan penataan *shiner* yang membentuk pola susunan menyilang.

Gambar 2 Pola susunan bata A1 (1&2), visual pembayangan pukul 12:00 (3) dan pukul 16:00 (4)
Sumber : Data peneliti 2023

Simulasi kecepatan angin diujikan kepada ruangan berukuran 4 m x 7m x 3,5 m (98 m3). Model dari pola bata A1 disederhanakan terlebih dahulu seperti pada **gambar 3** sebelum diuji simulasikan. Pola penyederhanaan diambil dengan membuat bidang pada sisi terluar salah satu sisi bata. Pada dinding susunan batu bata terdapat 672 titik bukaan dengan total luas rongga adalah 7,258 m2 atau sama dengan rasio 25,92%.



Gambar 3 Pola penyederhanaan bata A1 (1) denah simulasi CFD (2) potongan (3)
Sumber : Data peneliti 2023



Gambar 4 Grafik penurunan kecepatan angin berdasarkan jarak bukaan pola A1
Sumber : Data peneliti 2023

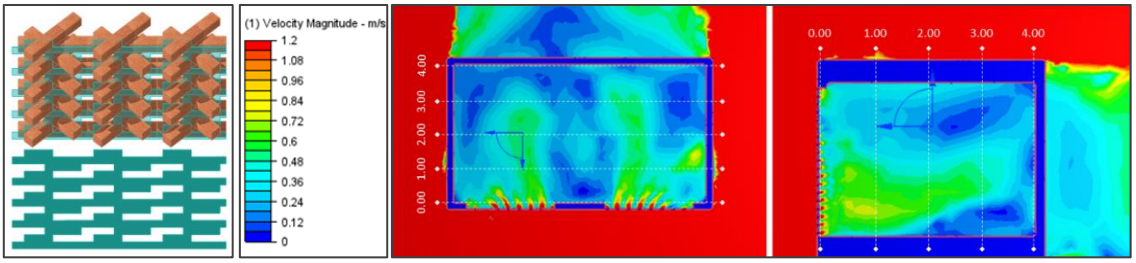
Hasil simulasi CFD menunjukkan adanya fenomena *drag reduction* atau pengurangan kecepatan aliran karena hambatan . Aliran angin yang awalnya bergerak dengan kecepatan 3,5 m/s melambat signifikan menjadi 0,4 m/s setelah melewati susunan bata berongga dengan 672 titik rongga. Fenomena yang paling memengaruhi adalah turbulensi di dalam dan sekitar rongga, di mana aliran mengalami kehilangan energi kinetik karena gesekan dan pembentukan pusaran kecil di sekitar permukaan rongga (Nugroho et al., 2020). Jumlah titik rongga sangat mempengaruhi hasil simulasi, semakin banyak titik rongga maka semakin banyak hambatan yang dihasilkan, yang pada akhirnya memperlambat aliran lebih signifikan. Dalam simulasi pola A1 dengan jumlah titik rongga yang besar dan rasio rongga 25,92% menciptakan efek *drag* yang cukup kuat, menyebabkan penurunan kecepatan angin yang drastis.

Pola Susunan A2

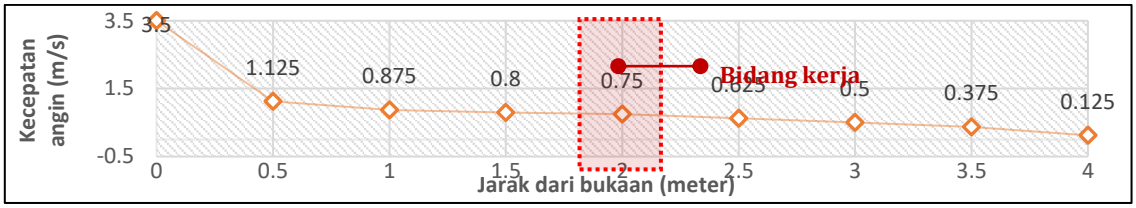
Memanfaatkan limbah roster, pecahan genting, keramik, dan gerabah bakar yang gagal produksi Andy Rahman berkolaborasi dengan pengerajin lokal Purwakarta mencoba mendaur ulang bahan bahan tersebut menjadi bata non bakar yang. Implementasi bata dan pola susunan ini dapat ditemukan pada desain Rumah Malang.

Gambar 5 Pola susunan bata A2 (1&2), visual pembayangan pukul 12:00 (3) dan pukul 16:00 (4)
Sumber : Data peneliti 2023

Simulasi kecepatan angin diujikan kepada ruangan berukuran 4 m x 7m x 3.5 m (98 m3). Model dari pola bata A2 akan disederhanakan terlebih dahulu seperti pada **gambar 6** sebelum diujikan. Pola penyederhanan diambil dengan membuat bidang pada sisi terluar salah satu sisi bata. Terdapat 326 titik bukaan dengan total luas rongga adalah 7,5 m2 atau dengan rasio 26,78%.



Gambar 6 Pola penyederhanaan bata A2 (1) denah simulasi CFD (2) potongan (3)
Sumber : Data peneliti 2023



Gambar 7 Penurunan kecepatan angin berdasarkan jarak bukaan pola A2
Sumber : Data peneliti 2023

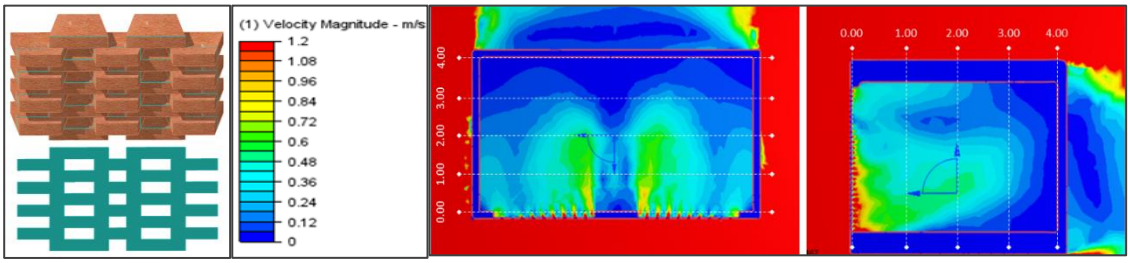
Simulasi CFD pada pola A2 menunjukkan terjadinya fenomena laminarisasi aliran. Dalam hal ini, aliran angin yang awalnya bergerak dengan kecepatan 3,5 m/s melambat menjadi 0,75 m/s setelah melewati rongga dan kecepatan ini lebih merata hingga jarak 3,5 m. Fenomena ini terjadi karena desain rongga yang lebih sedikit (326 titik) dan rasio rongga yang sedikit lebih tinggi (26,78%) menghasilkan aliran yang lebih stabil dan teratur. Berbeda dengan pola A1, di mana kecepatan angin turun drastis menjadi 0,4 m/s dan aliran menjadi sangat turbulen di sekitar rongga, pola A2 lebih mampu mengurangi turbulensi dan memperpanjang jarak di mana kecepatan angin tetap lebih konsisten. (Simscale, 2023). Ini menunjukkan bahwa meskipun A2 memiliki rasio rongga yang mirip dengan A1, distribusi rongga yang lebih sedikit dan lebih merata membantu dalam mendistribusikan kecepatan angin secara lebih efisien dan mengurangi efek turbulensi secara keseluruhan.

Pola Susunan A3

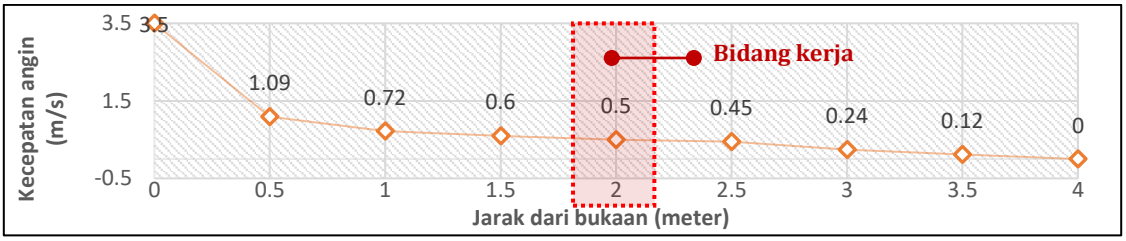
Bata kustom trapesium ini dapat ditemukan pada desain Rumah Trapezioma karya Andy Rahman yang berada di kota Surabaya.

Gambar 8 Pola susunan bata A3 (1&2), visual pembayangan pukul 12:00 (3) dan pukul 16:00 (4)
Sumber : Data peneliti 2023

Simulasi kecepatan angin diujikan kepada ruangan berukuran 4 m x 7m x 3.5 m (98 m3). Model dari pola bata A3 akan disederhanakan terlebih dahulu seperti **gambar 9** sebelum diujikan. Pola penyederhanan diambil dengan membuat bidang pada sisi terluar salah satu sisi bata. Terdapat 1064 titik bukaan dengan total luas rongga adalah 9,28 m2 atau dengan rasio 33,14%.



Gambar 9 Pola penyederhanaan bata A3 (1) denah simulasi CFD (2) potongan (3)
Sumber : Data peneliti 2023

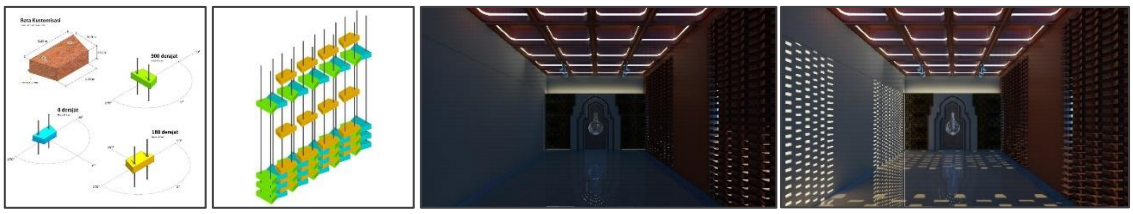


Gambar 10 Penurunan kecepatan angin berdasarkan jarak bukaan pola A3
Sumber: Data peneliti 2023

Fenomena yang ada pada pola susunan bata A3 adalah *energy dissipation* atau disipasi energi. Dengan jumlah titik rongga yang sangat tinggi, 1064 titik, dan rasio rongga 33,14%, aliran angin mengalami perlambatan signifikan dari 3,5 m/s menjadi 0,5 m/s pada jarak 2 meter setelah melewati rongga, dan kecepatan ini tersebar lebih merata hingga jarak maksimal 2 meter. Fenomena ini terjadi karena jumlah titik rongga yang besar menyebabkan pembentukan vorteks kecil di setiap rongga, yang secara kumulatif menghambat aliran dan menghilangkan energi kinetik lebih cepat, sehingga menurunkan kecepatan angin secara merata. (Kundu, Pijush K, 2024). Dibandingkan dengan pola A1, yang juga memperlambat angin menjadi 0,4 m/s namun dengan lebih banyak turbulensi, dan pola A2, yang menjaga kecepatan lebih stabil dan merata hingga jarak 3,5 meter, pola A3 menunjukkan bahwa jumlah titik rongga yang sangat tinggi menyebabkan disipasi energi yang lebih cepat, mengurangi jarak distribusi kecepatan angin. Pola A3 optimal untuk kondisi di mana diperlukan pengurangan kecepatan angin secara cepat dan merata dalam jarak yang pendek.

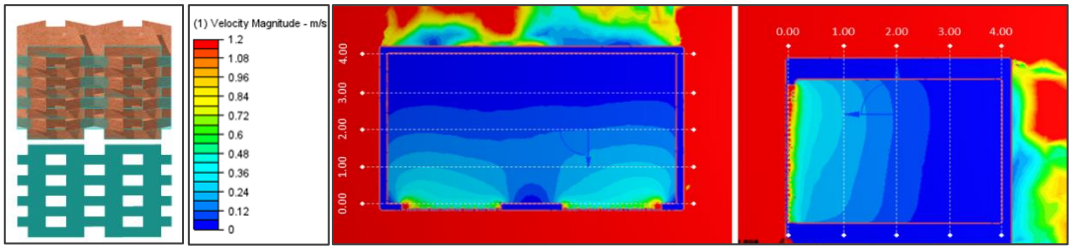
Pola Susunan A4

Pola susunan ini muncul pada studi tektonika saat pekerjaan pembangunan rumah Trapezioma sedang berlangsung. Pola sedikit berbeda daripada pola A3 sebelumnya. Pola bata A4 ini memiliki penataan bata dengan 3 arah yang berbeda.

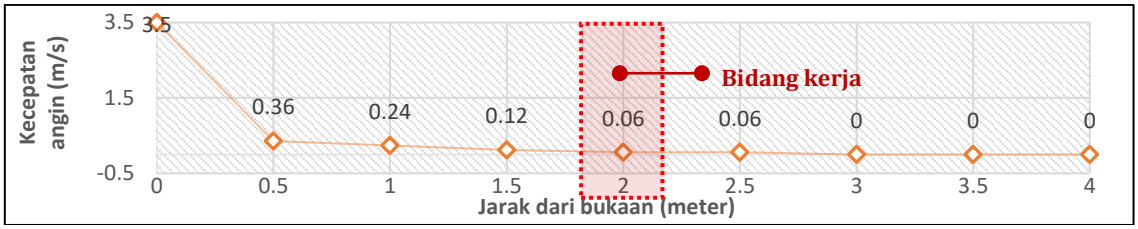


Gambar 11 Pola susunan bata A4 (1&2), visual pembayangan pukul 12:00 (3) dan pukul 16:00 (4)
Sumber : Data peneliti 2023

Simulasi kecepatan angin diujikan kepada ruangan berukuran 4 m x 7m x 3.5 m (98 m3). Model dari pola bata A4 akan disederhanakan terlebih dahulu seperti **gambar 12** di bawah sebelum diujikan. Pola penyederhanan diambil dengan membuat bidang pada sisi terluar salah satu sisi bata. Terdapat 954 titik bukaan dengan total luas rongga adalah 7,4 m2 atau dengan rasio 26,42%.



Gambar 12 Pola penyederhanaan bata A4 (1) denah simulasi CFD (2) potongan (3)
Sumber : Data peneliti 2023



Gambar 13 Penurunan kecepatan angin berdasarkan jarak bukaan pola A4
Sumber : Data peneliti 2023

Fenomena yang terjadi pada pola susunan bata 4 (A4) adalah extreme flow resistance atau resistensi aliran yang sangat tinggi. Dengan 954 titik rongga dan rasio rongga 26,42%, aliran angin melambat secara drastis dari 3,5 m/s menjadi 0,06 m/s pada jarak 2 meter setelah melewati rongga, dengan kecepatan yang hampir berhenti dan sangat merata. Fenomena ini terjadi karena kombinasi jumlah rongga yang tinggi dan distribusi yang menyebabkan interaksi aliran yang intens di dalam dan di sekitar rongga, mengakibatkan penurunan kecepatan yang ekstrim. (Kundu, Pijush K, 2024). Dibandingkan dengan pola A1 yang menghasilkan penurunan kecepatan menjadi 0,4 m/s dengan turbulensi, A2 yang menjaga kecepatan lebih merata pada 0,75 m/s, dan A3 yang menyebabkan disipasi energi hingga kecepatan 0,5 m/s, pola A4 menunjukkan bahwa resistensi yang diciptakan oleh susunan rongga yang lebih kompleks dan padat dapat secara drastis mengurangi aliran angin hingga hampir berhenti. Ini membuat pola A4 paling efektif dalam menciptakan hambatan angin maksimum.

ANALISIS FENOMENA HASIL SIMULASI CFD

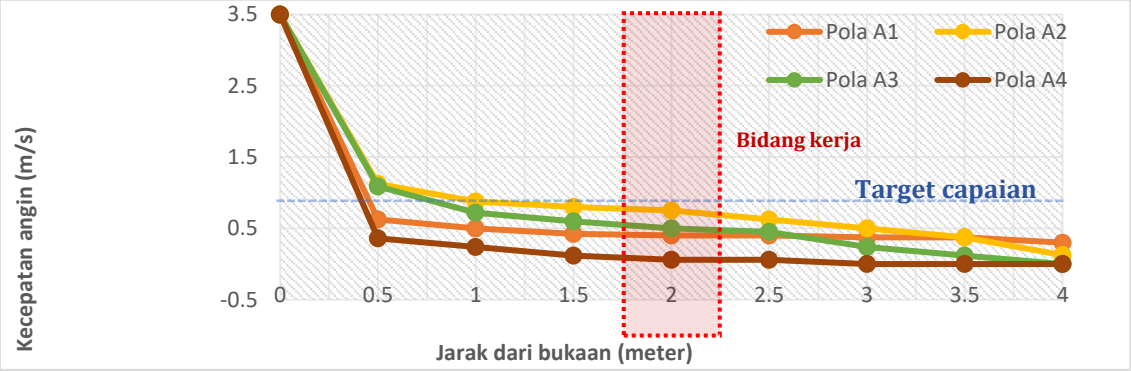
- *Drag Reduction* dan *Inertia*: Fenomena *drag reduction* yang terjadi pada pola A1 dan A2, serta pengurangan aliran yang ekstrem pada pola A4, berhubungan erat dengan prinsip *Reason the Flow* Air dan *Inertia*. Karena udara mempunyai beberapa massa, pergerakannya akan cenderung berada di jalur yang lurus. (L. Sahabuddin, 2023). Pada pola A1, drag reduction disebabkan oleh hambatan rongga yang mengurangi kecepatan angin dari 3,5 m/s menjadi 0,4 m/s. Hambatan ini mempengaruhi aliran udara dengan mengubah arah dan kecepatan angin melalui rongga. Prinsip *inertia* berperan ketika aliran angin yang memiliki momentum tinggi harus beradaptasi dengan hambatan yang menyebabkan perlambatan. Fenomena serupa terjadi pada pola A2 dan A4, di mana hambatan rongga yang meningkat memperlambat aliran lebih lanjut, dengan pola A4 menunjukkan pengurangan kecepatan yang drastis akibat resistensi ekstrem.
- Turbulensi dan *Bernoulli Effect*: Turbulensi yang terjadi pada pola A1, di mana pembentukan vorteks dan gangguan aliran mengakibatkan ketidakstabilan aliran, dapat dijelaskan dengan prinsip *Inertia* dan *Bernoulli Effect*. Ketika aliran angin bertemu dengan rongga, perubahan arah dan kecepatan menghasilkan turbulensi. (Teachy, 2023). Prinsip *Bernoulli* juga berperan, di mana percepatan aliran melalui rongga yang lebih sempit mengakibatkan penurunan tekanan, memperburuk turbulensi. Turbulensi yang dihasilkan oleh rongga dalam pola A1 menyebabkan ketidakmerataan kecepatan aliran, berkontribusi pada perlambatan yang signifikan.
- *Energy Dissipation* dan *Stack Effect*: Pada pola A3 dan A4, fenomena *energy dissipation* sangat dominan. *Energy dissipation* terjadi ketika energi kinetik dari angin diubah menjadi energi internal karena bergesekan dengan rongga. Energi internal adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena pergerakan molekul-molekulnya. Pada proses dissipasi, energi kinetik diubah menjadi energi internal melalui interaksi molekuler. (Soberanis et al., 2016). Ini berhubungan dengan prinsip *Reason the Flow Air* dan *Inertia*, di mana aliran angin yang melambat mengalami kehilangan energi. Pada pola A3, dengan jumlah rongga yang tinggi, disipasi energi terjadi dengan cepat, menyebabkan penurunan kecepatan angin menjadi 0,5 m/s dalam jarak pendek. Pola A4 menunjukkan

disipasi energi ekstrem dengan penurunan kecepatan yang hampir berhenti, menunjukkan dampak signifikan dari resistensi tinggi terhadap aliran udara.

- *Venturi Effect* dan *Stack Effect*: Pada pola A4, fenomena *extreme flow resistance* berkaitan dengan prinsip *Venturi Effect* dan *Stack Effect*. Prinsip Venturi Effect menjelaskan bagaimana aliran udara mempercepat saat melewati rongga yang menyempit.(R.N. Akhsanu Takwim, 2018). Tetapi pada pola A4, rongga yang sangat padat menciptakan resistensi ekstrem, menyebabkan penurunan kecepatan yang drastis hingga 0,06 m/s. *Stack Effect* juga berperan, di mana perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh ventilasi mengoptimalkan aliran udara melalui rongga. Pola A4 secara efektif menggunakan prinsip-prinsip ini untuk mengontrol aliran udara dengan resistensi yang sangat tinggi, mendemonstrasikan bagaimana desain rongga dapat mempengaruhi aliran angin secara signifikan.

PERBANDINGAN PERFORMA POLA SUSUNAN BATA

Dalam simulasi CFD yang dilakukan, pola susunan bata A1, A2, A3, dan A4 masing-masing menunjukkan fenomena aliran yang berbeda. Pada pola A1, terjadi *drag reduction* di mana aliran angin mengalami perlambatan signifikan dari 3,5 m/s menjadi 0,4 m/s akibat turbulensi yang dihasilkan oleh 672 titik rongga. Turbulensi yang terjadi cukup besar, menyebabkan penurunan kecepatan drastis namun dengan aliran yang tidak merata. Pada pola A2, fenomena yang terjadi adalah laminarisasi aliran, di mana aliran angin melambat menjadi 0,75 m/s dengan distribusi yang lebih merata hingga jarak 3,5 meter. Ini dihasilkan dari jumlah titik rongga yang lebih sedikit (326 titik), yang memungkinkan aliran lebih stabil dengan turbulensi yang lebih rendah. Pada pola A3, fenomena *energy dissipation* terjadi karena jumlah titik rongga yang sangat tinggi (1064 titik) dan rasio rongga yang besar (33,14%). Ini menyebabkan aliran melambat menjadi 0,5 m/s dengan penyebaran yang lebih merata namun hanya dalam jarak pendek (2 meter). Terakhir, pada pola A4, terjadi *extreme flow resistance* di mana aliran angin melambat secara ekstrem menjadi 0,06 m/s akibat resistensi aliran yang sangat tinggi dari 954 titik rongga, dengan penyebaran kecepatan yang sangat lambat dan merata.



Gambar 14 Komparasi penurunan kecepatan angin berdasarkan jarak bukaan dari empat pola

Sumber : Data peneliti 2023

Perbandingan dari fenomena-fenomena tersebut menunjukkan bahwa pola A1 menghasilkan perlambatan terbesar dalam aliran namun dengan aliran yang lebih turbulen dan tidak merata. Pola A2 memberikan aliran yang lebih stabil dan merata, ideal untuk kondisi di mana distribusi kecepatan yang konsisten dibutuhkan pada jarak yang lebih panjang. Pola A3 menghasilkan disipasi energi yang cepat, cocok untuk mengurangi kecepatan angin dalam jarak yang lebih pendek. Sementara itu, pola A4 menunjukkan resistensi aliran yang ekstrem, hampir menghentikan aliran angin sepenuhnya dalam jarak

yang pendek, menjadikannya efektif untuk situasi di mana penghalang angin yang sangat kuat diperlukan.

KESIMPULAN

Semua pola susunan pola yang telah diujikan menunjukkan performa yang kurang baik dalam mengontrol penghawaan alami didalam ruangan, tidak ada satu pun yang dapat mencapai target capaian yang telah ditentukan sebelumnya. analisis CFD dari pola susunan bata A1, A2, A3, dan A4 menunjukkan berbagai fenomena aliran angin yang berbeda. Meskipun keempat pola susunan bata memiliki rasio rongga di atas 24%, sebagaimana yang dianjurkan oleh beberapa penelitian terdahulu mengenai kenyamanan termal di iklim yang lembab, hasil simulasi menunjukkan bahwa pola pola batu bata berongga karya Andy Rahman masih belum memenuhi standar kecepatan angin yang optimal untuk penghawaan alami. Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya rasio bukaan yang penting dalam menentukan efektivitas penghawaan alami, tetapi juga konfigurasi dan distribusi rongga serta interaksi dengan dinamika aliran udara. Pola-pola dengan rasio rongga yang tinggi (seperti A3 dan A4) menunjukkan penurunan kecepatan angin yang signifikan, yang berarti resistensi aliran udara terlalu besar, sehingga menghambat aliran udara yang diperlukan untuk mencapai kenyamanan termal. Di sisi lain, pola dengan rasio yang lebih kecil (seperti A1 dan A2) juga tidak mampu mencapai kecepatan yang memadai, menunjukkan bahwa peningkatan rasio bukaan tidak selalu linier dengan peningkatan kecepatan angin. Oleh karena itu, desain rongga yang efektif harus mempertimbangkan kombinasi antara ukuran, jumlah, dan distribusi rongga untuk memastikan bahwa aliran udara dapat mencapai kecepatan yang diperlukan untuk mendukung ventilasi alami yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Buku (monograf)

Andy Rahman, Anas. H. 2022. NATABATA. *AKSSA PUBLISHER*

Kundu, Pijush K. 2024. *Fluid Mechanics, 7th Edition. Academic Press*

Norbert, M. Lechner. 2007. *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Strategies Towards Net Zero Architecture. Wiley; 5th edition*

Sahabudddin Latif. 2023. STRATEGI PENGALIRAN UDARA UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DENGAN METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD). *CV. Mitra Ilmu Publisher*

T. Boutet. 1987. *Controlling air movement: A manual for architects and builders: New York: McGraw-Hill Book Company*

Artikel Jurnal

Adindra Maharsi Kusuma Astuti, S. Y. A. (2023). Pengaruh Kecepatan dan Persebaran Angin terhadap Kenyamanan Termal Aktivitas Berjalan Santai di Kawasan Taman Sari.

Aini Qurratul, N. N. (2016). KINERJA VENTILASI PADA INTERNAL BANGUNAN MELALUI PERTIMBANGAN. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Lingkungan II.

Alfred Aritonang, D., & Yusnita Nugroho, N. (2022). PENGARUH DESAIN DINDING SUSUNAN BATA BERONGGA SEBAGAI SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP KENYAMANAN TERMAL RUANG KELAS SEKOLAH ALFA OMEGA TANGERANG. www.journal.unpar.ac.id

Hamzah, B., Rahim, M. R., Ishak, M. taufik, & Sahabuddin, S. (2017). Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah. Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia, 6(1), 51–58. https://doi.org/10.32315/jlbi.6.1.51

Indrani, H. C. (2008). KINERJA VENTILASI PADA HUNIAN RUMAH SUSUN DUPAK BANGUNREJO SURABAYA.

Latif, S. (2014). PENGALIRAN UDARA UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG KELAS DENGAN METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (Vol. 14, Issue 2).

Nugroho, G. D., Widiharsa, F. A., & Ma'ruf, M. (2020). DISTRIBUSI ALIRAN BERBAGAI BENTUK DRAG MODEL DENGAN VARIASI KECEPATAN FLUIDA MENGGUNAKAN SOFTWARE FLUENT FLOWIZARD 2.0.4. TRANSMISI, 16(1). https://doi.org/10.26905/jtmt.v16i1.4494

Prahasya, M. B. radhitya, & Holil, M. (2022). Ketukangan di Jawa Awal Abad Ke-20 dalam Teks Serat Seserepan Katukangan Sawetawis. Jumantara: Jurnal Manuskrip Nusantara, 13(1), 37–58. https://doi.org/10.37014/jumantara.v13i1.1484

Prawoto, E. (2019). Merawat dan mengembangkan Nilai Rasa dalam Ketukangan.

R.N. Akhsanu Takwim, K. W. (2018). ANALISIS UNJUK KERJA VENTURI VAKUM DENGAN VARIASI DIMENSI DAN VISKOSITAS FLUIDA.

Sangkertadi. (2006). 113472-peran-kecepatan-angin-terhadap-peningkat-4fa4059f. J. MANUSIA DAN LINGKUNGAN, 13(2).

Soberanis, M. A. E., Bassam, A., & Mérida, W. (2016). Analysis of energy dissipation and turbulence kinetic energy using high frequency data for wind energy applications. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 151, 137–145. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.02.004

Wong, N. H., Liping, W., & Hien, W. N. (2007). Applying Natural Ventilation for Thermal Comfort in Residential Buildings in Singapore. www.arch.usyd.edu.au/asr

Situs Web

Simscale. 2023. What is Laminar Flow?. CFD | Computational Fluid Dynamics. https://www.simscale.com/docs/simwiki/cfd-computational-fluid-dynamics/what-is-laminar-flow/ (*accessed August 15, 2024*).

Teachy. 2023. Bab buku tentang Hidrodinamika: Prinsip Bernoulli. https://www.teachy.app/id_ID/buku/pendidikan-menengah-atas/kelas-10-sma/fisika/menjelajahi-prinsip-bernoulli-dari-teori-ke-praktik-1f7b/ (*accessed September 16, 2024*).