

OP-002

**KINERJA VENTILASI PADA INTERNAL BANGUNAN MELALUI PERTIMBANGAN
POSISI BUKAAN YANG DIPENGARUHI OLEH PERBEDAAN ORIENTASI
BANGUNAN DI LINGKUNGAN PERBUKITAN**

Qurratul Aini, Nanda Nadia

Program Studi Teknik Arsitektur Universitas Muhammadiyah Aceh

Email: iqr_ennie@yahoo.com; email: nda02ars@yahoo.com

ABSTRAK

Isu pemanasan global yang semakin mengkhawatirkan mempengaruhi ketidakmenentuan cuaca, meningkatnya temperatur dan berbagai fenomena alam lainnya. Kondisi tersebut menuntut penerapan desain yang tanggap terhadap lingkungan dan mampu beradaptasi dengan kondisi iklim. Salah satunya melalui pemanfaatan ventilasi alami sebagai passive cooling, yaitu dengan memaksimalkan aliran udara di lingkungan serta mempertimbangkan kondisi iklim, bentuk lahan (landform) dan bentuk bangunan (builtform), sehingga mampu beradaptasi maksimal dengan lingkungan. Profil perbukitan berpengaruh terhadap kondisi angin, sehingga diperlukan kombinasi desain yang tepat dalam menanggapi perilaku angin. Penerapan desain seperti posisi bukaan yang tepat dengan pertimbangan kondisi topografi dan orientasi bangunan, dapat mengoptimalkan pemanfaatan aliran udara sebagai penyegaran ke dalam bangunan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja ventilasi pada perumahan yang berbeda orientasi di daerah perbukitan tropis lembab. Subjek penelitian adalah salah satu perumahan berpola grid dengan tiga kelompok orientasi berbeda di perbukitan Aceh Besar, yaitu Kampung Jacky Chan di Neuheun. Metode penelitian menggunakan simulasi komputer dengan Computational Fluids Dynamics (CFD) Fluent sebagai alat dalam menganalisa data. Hasil yang diperoleh adalah orientasi mempengaruhi kinerja ventilasi, dimana mempengaruhi pola aliran udara di dalam ruangan. Semua orientasi bangunan di perumahan Jacky Chan menciptakan ventilasi silang yang baik dengan arah dan kecepatan angin berbeda di setiap orientasinya.

Kata Kunci: aliran udara, orientasi, perbukitan, ventilasi, iklim panas lembab

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi cuaca yang tidak menentu, temperatur udara yang semakin meningkat dan berbagai bentuk bencana alam di beberapa daerah di wilayah Indonesia, merupakan pengaruh yang dirasakan akibat terjadinya perubahan iklim, sehingga berpengaruh terhadap perkembangan pembangunan dan keberlanjutan hidup, terkait ketersediaan energi. Konsumsi energi banyak terserap pada rumah tinggal, dimana rumah tinggal mengkonsumsi energi terbesar yaitu 28,8% dari seluruh konsumsi energi di sektor pembangunan (Hegger, et. al, 2007).

Konsumsi energi berlebih dapat diatasi melalui adaptasi desain terhadap kondisi iklim. Salah satu bentuk adaptasi desain dilakukan dengan memanfaatkan aliran udara melalui penerapan sistem penghawaan alami. Bentuk bangunan (*builtform*) terkait denah dan konfigurasinya merupakan salah satu adaptasi terhadap lingkungan fisik yang dapat dipertimbangkan (Krishan, et. al, 2001).

Penerapan sistem penghawaan alami pada bangunan merupakan bentuk kontrol pasif yang dapat dipilih sebelum memilih penggunaan sistem aktif, dimana Hegger, dkk (2007) mengungkapkan bahwa sistem pasif pada rumah tinggal merupakan salah satu solusi yang berpotensi meminimalisir penggunaan energi (*saving energy*). Kondisi permukaan tanah berpengaruh besar terhadap posisi bangunan dalam menentukan

konfigurasi bangunan dan mengubah perilaku aliran udara (*air movement*), dimana dapat mempercepat bahkan memperlambat aliran udara (Boutet, 1987).

Faktor utama yang sangat menentukan tata letak bangunan adalah radiasi matahari, angin dan topografi, dimana akan berpengaruh pada pertimbangan orientasi bangunan terkait perlindungannya terhadap panas matahari, pemanfaatan ventilasi silang dan peletakkannya di lingkungan (Lippsmeier, 1997). Dalam penelitiannya Al-Tamimi, dkk (2011) mengemukakan bahwa pada daerah panas lembab dengan sinar matahari sepanjang tahun, bangunan harus berorientasi dengan meminimalkan radiasi matahari dan memaksimalkan ventilasi alami. Jamala (2003) juga mengemukakan tentang pengaruh orientasi bangunan terhadap temperatur ruang, bahwa perbedaan temperatur pada masing-masing orientasi bangunan disebabkan oleh adanya perbedaan laju perpindahan panas, kecepatan angin dan temperatur udara. Berdasarkan beberapa teori di atas, orientasi berpengaruh terhadap optimalisasi penyegaran udara dalam mengatasi panas yang berlebih, dimana pada lokasi penelitian dijumpai kelompok massa bangunan yang memiliki perbedaan orientasi kelompok massa.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja ventilasi pada internal bangunan dengan pertimbangan posisi bukaan yang dipengaruhi oleh perbedaan orientasi bangunan di lingkungan perbukitan melalui

pengamatan lapangan dan simulasi komputer. Penelitian ini dilakukan pada perumahan di daerah berbukit di kawasan Aceh Besar, yang memiliki tiga kelompok orientasi yang berbeda. Penelitian ini didasari pada penelitian yang dilakukan Aini (2013) yang dilakukan pada lokasi yang sama, dimana orientasi bangunan yang berada di daerah perbukitan sangat mempengaruhi terhadap besarnya kecepatan udara di lingkungan perumahan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja ventilasi pada internal bangunan dengan pertimbangan posisi bukaan yang dipengaruhi oleh perbedaan orientasi bangunan di lingkungan perbukitan.

1.3 Tinjauan Pustaka

Menurut Aynsley (1977), Moore (1993) dan Lechner (2000) Secara umum prinsip pergerakan angin terdiri dari:

1. *Reason the flow air*, dimana udara selalu bergerak dari tempat dengan tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah (terjadi karena adanya perbedaan suhu atau tekanan).
2. *Inertia*, dimana udara memiliki massa atau momentum dan akan mengikuti arah yang dapat dibelokkan apabila ada penghalang tanpa dipengaruhi sudut tertentu.
3. *High and low pressure area*, dimana angin dapat berbelok karena dihalangi oleh vegetasi dan bangunan yang akan menciptakan tekanan positif dan tekanan negatif.
4. *Bernoulli effect*, yang disebabkan oleh penurunan tekanan ketika akselerasi angin dibutuhkan untuk melingkupi suatu bentuk.
5. *Ventury effect*, yang disebabkan oleh aliran akselerasi angin yang dibutuhkan untuk melewati bukaan ketika melewati aliran laminar terbatas.
6. *Stack effect*, pertukaran udara dengan cara konveksi alami, yang disebabkan karena indoor memiliki temperatur tinggi dibandingkan outdoor, dimana aliran udara di dalam ruang akan keluar melewati bukaan di bagian atas bangunan.
7. *Cross ventilation* memiliki prasyarat bukaan *outlet* sebaik bukaan *inlet*, sehingga terjadi aliran angin

Strategi pendingin pasif dapat membantu meminimalkan penyerapan energi yang dikonsumsi akibat penggunaan penghawaan mekanik. Salahsatu strategi pendinginan pasif adalah melalui penerapan sistem penghawaan alami, karena selain lebih efisien, juga memberikan kontribusi yang positif terhadap keberlanjutan lingkungan (Aynsley, 1977 dan Rafail, 2006 dalam Al-Tamimi, dkk, 2011).

Allard (1998) mengungkapkan bahwa, penghawaan alami adalah strategi yang tepat dalam mencapai kualitas udara di dalam ruangan. Szokolay (2004) juga menjelaskan selain berfungsi untuk menyalurkan udara segar ke dalam ruangan, ventilasi juga dapat membantu melepaskan panas (bahang) yang tidak diinginkan serta memberi efek pendinginan fisiologis. Berdasarkan teori

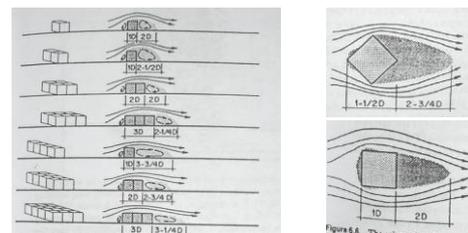
tersebut, penghawaan alami merupakan salah satu strategi dalam pemanfaatan udara secara optimal untuk mencapai pendinginan, sehingga dapat mempengaruhi temperatur udara di lingkungan dalam memperoleh kenyamanan.

Krishan, dkk (2001) dan Allard (1998) menerangkan hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam memilih dan mendesain tapak untuk mengoptimalkan ventilasi alami, yaitu:

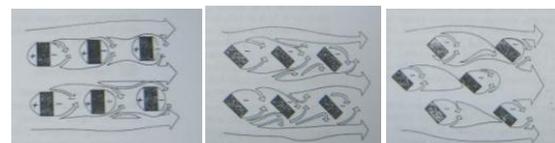
1. Memanfaatkan pola aliran udara terkait topografi dan bangunan sekitar, sehingga dapat meningkatkan potensi ventilasi ke dalam bangunan
2. Mengkondisikan kenyamanan untuk musim panas dan musim dingin
3. Menghindari angin yang tidak diinginkan secara permanen dengan sebuah perlindungan tertentu
4. Menghindari ketidaknyamanan terkait kondisi luar atau yang disebabkan oleh kecepatan angin yang tinggi
5. Menghindari jalur angin yang menyebabkan debu dan polusi

Perilaku pergerakan angin ditandai oleh tiga variabel, yaitu; velositas atau kecepatan, arah, dan turbulensi (Lechner, 2000). Boutet (1987) dan Lechner (2000) menerangkan, pergerakan udara terjadi karena pengaruh kondisi permukaan yang dapat membelokkan angin, sehingga membentuk pola aliran *freestream (laminar)*, *shear layer (separated)* dan *wake flow (turbulent)*.

Konfigurasi bangunan berupa orientasi, ketinggian, *overhangs*, serta bentuk atap dapat menyebabkan terjadinya pembelokan dan perubahan kecepatan udara di lingkungan (Boutet, 1987).



Gambar 1. Lebar area tenang karena pengaruh pola massa dan orientasi (Boutet, 1987)



Gambar 2. Pola Massa (tegak lurus, menyudut, jigsaw) yang Mempengaruhi Pergerakan Angin (Meir dalam Krishan, et. al, 2001)

Boutet (1987: 83) menerangkan bahwa, kecepatan dan pola aliran udara dipengaruhi oleh posisi bangunan yang bervariasi. Meir (dalam Krishan, 2001: 87) dan Olgyay (1992: 100) menjelaskan ketika sekelompok bangunan pada lahan yang datar diposisikan paralel (sejajar) terhadap arah angin yang berpengaruh di

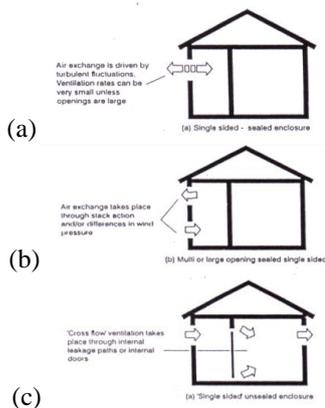
lingkungan, bangunan akan mendapatkan sedikit penghawaan, namun orientasi bangunan yang disusun menyudut (diagonal) dan linier terhadap arah angin, akan menghasilkan pola aliran udara yang relatif sama di sekelilingnya, sehingga akan menciptakan kondisi ventilasi yang lebih baik, tanpa memperhatikan posisi relatif bangunan dalam area terbangun.

Boutet (1987) menjelaskan bahwa, posisi bangunan akan menyebabkan kecepatan dan pola aliran udara khusus yang berbelok di lingkungan sekitarnya, dimana sudut bangunan terhadap aliran udara dapat mengurangi kecepatan udara hingga 50%-60%.

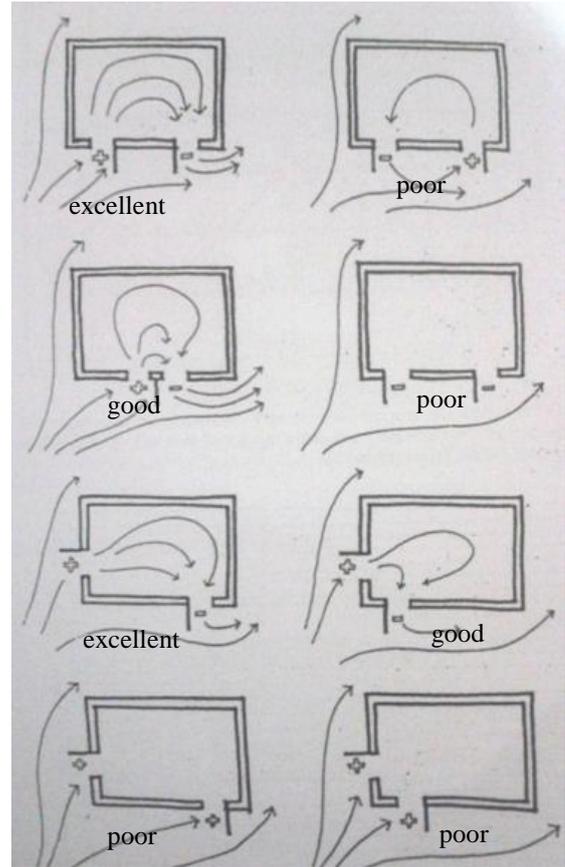
Pada lahan berkontur, Aini (2013) menjelaskan bahwa bangunan yang berpola grid baik yang tersusun linier maupun menyudut terhadap arah angin, akan menciptakan aliran udara yang lebih baik dibandingkan pada lahan datar. Kondisi tersebut kemungkinan akan menciptakan aliran udara yang lebih baik pada bangunan.

Terdapat dua jenis utama dari ventilasi alami, yaitu: *cross ventilation* dan *single-sided ventilation*. Dalam hal ini, fokus penelitian adalah sistem *single-sided ventilation*. Nilai ventilasi tergantung pada kekuatan dan arah dari perlawanan aliran yang dilewati. Kompleksnya proses fisik sebuah bangunan mengakibatkan kesulitan dalam memprediksi ventilasi. Kebanyakan desain *single-sided ventilation* fokus pada pengaruh kekuatan hembusan dan aliran. Dalam kenyataannya, kombinasi pengaruh antara angin dan kekuatan apung (*bouyancy*) masih kurang dilihat pada *single-sided ventilation*, sehingga penting untuk diteliti untuk memperoleh desain yang lebih efektif.

Menurut Liddament (1996), bahwa *single side ventilation* adalah bukaan yang posisinya hanya terdapat di satu sisi ruangan, dimana dorongannya dapat melalui bukaan kecil berdasarkan fluktuasi turbulensi secara acak, dan merupakan jenis ventilasi yang tidak direkomendasikan (3.a).



Gambar 3. (a) bukaan kecil di satu sisi bukaan (sealed enclosure) (b) multi opening sealed single side (c) single side unsealed enclosure



Gambar 4. Pola Aliran Udara yang dipengaruhi Penghalang (Moore, 1993)

Gambar (3.b) menjelaskan pertukaran udara terjadi melalui efek cerobong (*stack effect*) dan/atau adanya perbedaan pada tekanan angin (*wind pressure*). Ventilasi silang yang terjadi akibat adanya celah internal atau pintu dari satu sisi ke sisi lainnya (gambar (3.c)).

Gambar 4 menunjukkan lokasi dan orientasi dari sebuah penghalang dapat mempengaruhi kecepatan dan arah aliran udara di dalam bangunan. penghalang yang paralel terhadap arah, akan mempengaruhi pembelokan arah aliran udara (Moore, 1993).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi . Program simulasi CFD Fluent digunakan untuk melihat pengaruh perbedaan ketinggian kontur dan orientasi bangunan terhadap aliran udara di dalam bangunan.



Gambar 5. Eksisting Perumahan Jacky Chan dengan orientasi (1) Barat Laut-Tenggara, (2) Barat-Timur dan (3) Barat Daya-Timur Laut (Google Earth, 2011 dan Dokumentasi, 2012)

Lokasi penelitian merupakan perumahan yang berkembang Pasca Tsunami 2004 dan berada di kawasan Aceh Besar, Provinsi Aceh, yaitu 3 perumahan Jacky Chan yang tersusun dengan pola grid dengan tiga orientasi kelompok massa. Model yang disimulasi adalah perwakilan unit rumah pada setiap orientasi. Setiap unit rumah memiliki luasan yang sama yaitu seluas 45 m². Unit hunian yang disimulasikan adalah hunian yang menghadap langsung ke arah datangnya angin.

Data yang diumpulkan berupa data iklim terkait kecepatan dan arah angin serta data karakteristik fisik perumahan terkait denah bangunan, posisi bukaan dan orientasi bangunan. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran langsung kondisi iklim mikro dan pengukuran serta dokumentasi kondisi fisik bangunan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pola penataan bangunan pada lereng bukit terhadap kinerja ventilasi pada perumahan Jacky Chan. Analisa yang akan dilakukan berkaitan dengan:

- a. Analisa kecepatan angin yang terjadi di dalam bangunan akibat pengaruh perbedaan orientasi terhadap arah angin. Analisa kecepatan angin yang tercipta di dalam ruangan didasari pada data kecepatan angin rata-rata yang terjadi di lingkungan bangunan akibat pengaruh kontur dan orientasi massa dari hasil penelitian Aini, et.al (2013). Kecepatan angin yang digunakan untuk menganalisa adalah:
 - 1) Orientasi Barat kecepatan rata-rata di lingkungan adalah 0,65 m/s
 - 2) Orientasi Barat Daya dan Barat Laut memiliki kecepatan rata-rata di lingkungan sebesar 0,75 m/s
- b. Analisis Kinerja Ventilasi, dilakukan untuk mengetahui tingkat aliran udara di ruang dalam rumah akibat posisi bukaan yang dipengaruhi orientasi massa yang berbeda terhadap arah dan kecepatan angin di lingkungannya.

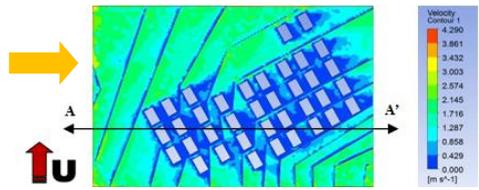
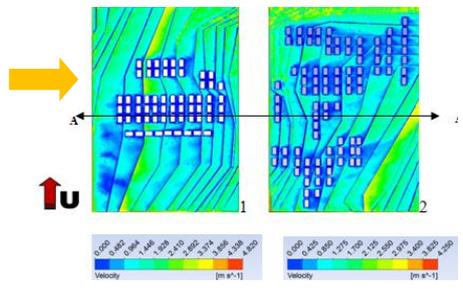
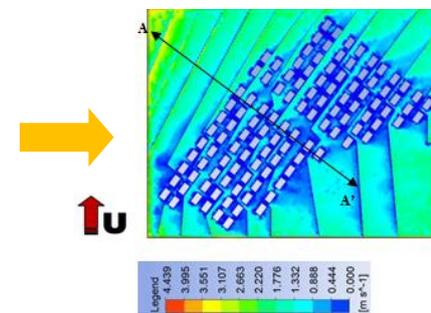
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kecepatan Angin di Sekitar Bangunan

Tabel 2 menunjukkan kondisi kecepatan angin di lingkungan berdasarkan prosentase daerah yang terbayangi angin (*wind shadow*) dan yang tidak terbayangi (*non-wind shadow*) yang terlihat berdasarkan gambar pada tabel 1. Kecepatan angin pada daerah yang terbayangi angin (*wind shadow*) di ketiga orientasi kelompok massa untuk dua kondisi arah angin adalah sebesar 0,2 m/s, dimana tidak terdapat perbedaan kecepatan angin yang signifikan dan angin cenderung tidak terasa (Aynsley, dkk, 1977). Untuk area yang tidak terbayangi (*non-wind shadow*),

kecepatan angin rata-rata mencapai 0,75 m/s yang tercipta pada orientasi kelompok massa Barat Daya-Timur Laut dan Barat Laut-Tenggara. Kecepatan angin tersebut digunakan untuk data dalam melakukan simulasi dalam menilai kinerja ventilasi.

Tabel 1. Hasil simulasi di lingkungan perumahan Jacky Chan

No	Hasil Simulasi
1	Barat Daya-Timur Laut 
2	Barat-Timur 
3	Barat Laut-Tenggara 

Sumber: Aini, et.al (2013)

Tabel 2. Kecepatan Angin pada Tiga Orientasi Kelompok Massa

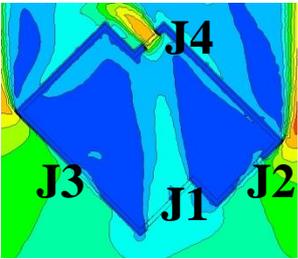
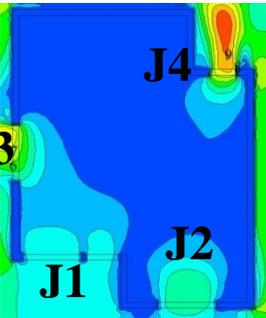
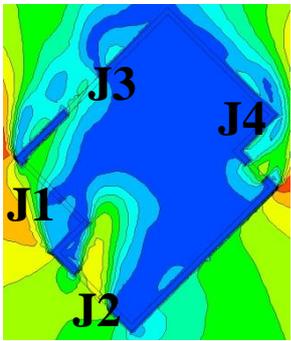
Orientasi Kelompok Massa	Barat Daya-Timur Laut	Barat-Timur	Barat Laut-Tenggara
Arah Angin	Barat	Barat	Barat
% Wind shadow	47%	54%	46%
V (m/s)	0,2	0,2	0,2
% Non-Wind shadow	23%	16%	24%
V (m/s)	0,75	0,65	0,75

Sumber: Aini, et.al (2013)

3.2 Analisa Kecepatan Angin yang Terjadi di Dalam Bangunan Akibat Pengaruh Perbedaan Orientasi Terhadap Arah Angin

Kontur angin pada tabel 3, menunjukkan kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan untuk setiap orientasi menciptakan nilai kecepatan angin yang berbeda. Dari ketiga orientasi bangunan tersebut, diperoleh bahwa kecepatan angin terbesar pada bukaan inlet (J1 dan J2) yang searah dengan datangnya angin terjadi pada orientasi Barat Laut-Tenggara, dengan kecepatan sebesar 0,2 m/s-1,1 m/s. Kecepatan angin terendah pada posisi inlet terjadi pada orientasi Barat Daya-Timur Laut, dengan kecepatan sebesar 0,2-0,6 m/s, dimana hanya tercipta pada bukaan J1, sedangkan pada bukaan J2 udara hanya mengalir di permukaan bangunan dengan kecepatan 0,4.

Tabel 3. Kontur Angin yang terjadi di dalam bangunan

No	Orientasi	Kontur Angin
1	Barat Daya-Timur Laut	
2	Barat – Timur	
3	Barat Laut – Tenggara	
Keterangan:		J = Jendela

Sumber: Analisa CFD, 2015

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sudut-sudut bangunan mempengaruhi pembelokan angin dengan prinsip pergerakan inersia, dimana udara akan

mengikuti arah yang dapat dibelokkan oleh keberadaan penghalang, sehingga berpengaruh pada besar kecilnya kecepatan angin yang tercipta (Moore,1993).

Tabel 4. Kecepatan Angin di Setiap Orientasi

Orientasi Bangunan	Kecepatan Angin (m/s)			
	J1	J2	J3	J4
Barat Daya-Timur Laut	0,2-0,6	0,4	0,2	0,4-1,4
Barat – Timur	0,2-0,4	0,2-0,81	0,2-1	0,2-1
Barat Laut – Tenggara	0,2-0,8	0,2-1,1	0,2-0,4	0,2-0,8

Sumber: Analisa, 2015

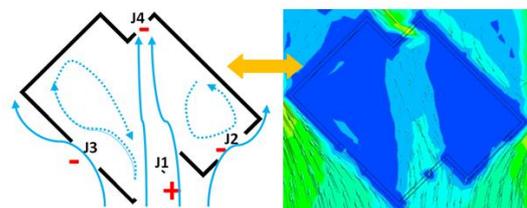
3.3 Analisis Kinerja Ventilasi Akibat Pengaruh Perbedaan Orientasi Bangunan

Tinjauan kinerja ventilasi dilihat berdasarkan arah dan kecepatan angin yang tercipta di dalam bangunan. Berdasarkan arah angin yang tercipta, akan diketahui daerah positif dan negatif yang tercipta terkait aliran udara di dalam ruangan, akibat posisi dan keberadaan bukaan.

Berdasarkan gambaran vektor angin pada tabel 5, maka ventilasi yang menjadi inlet adalah J1 dan J2, sedangkan ventilasi outlet adalah J3 dan J4. Dari hasil vektor angin tersebut, diperoleh pola perilaku aliran udara yang ditandai dengan arah dan kecepatan angin, tercipta berbeda di setiap orientasinya. Perbedaan perilaku aliran udara yang tercipta di dalam ruang juga dikarenakan perbedaan ukuran bukaan.

Berdasarkan bukaan, J1 merupakan bukaan terbesar, j2 dan j3 memiliki ukuran yang sama, sedangkan J4 merupakan bukaan terkecil dibandingkan bukaan lainnya.

1. Orientasi Barat Daya – Timur Laut



Gambar 6. Aliran Udara di Dalam Bangunan Orientasi Barat Daya – Timur Laut

Berdasarkan gambar 6, pada orientasi Barat Daya – Timur Laut, tercipta ventilasi silang dari J1 dan J4, dimana posisi kedua bukaan tegak lurus terhadap arah angin. Aliran positif (+) hanya tercipta pada bukaan J1, sedangkan pada bukaan lainnya tercipta aliran negatif (-). Bukaan J2 berfungsi sebagai inlet, namun tercipta aliran negatif (-), dimana angin hanya mengalir di permukaan dinding. Kondisi tersebut disebabkan belokan angin akibat pertemuan sudut dinding yang

sejajar dengan bukaan J2. Kecepatan angin meningkat pada bukaan J4 hingga mencapai 1,4 m/s.

Tabel 5. Vektor Angin berdasarkan 3 Orientasi yang Berbeda

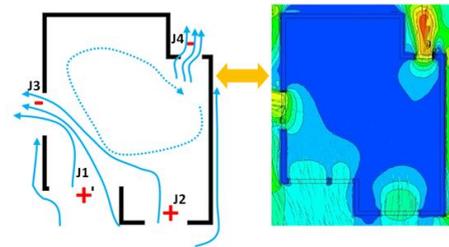
No	Orientasi	Vektor Angin
1	Barat Daya- Timur Laut	
2	Barat – Timur	
3	Barat Laut – Tenggara	
Keterangan:		J = Jendela

Analisa CFD, 2015

2. Orientasi Barat – Timur

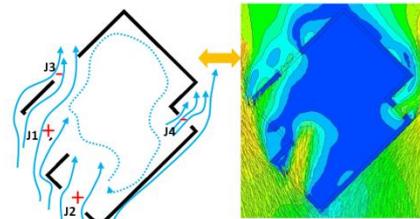
Pada orientasi Barat – Timur di Gambar 7, ventilasi silang tercipta pada bukaan J1 ke J3 dan J2 ke J3. Arah angin tegak lurus inlet (J1 dan J2). Pada dua posisi inlet tercipta aliran positif (+). Kecepatan angin meningkat pada dua posisi outlet (J3 dan J4), dimana kecepatan angin meningkat cukup tinggi pada bukaan J4 mencapai 1 m/s.

Gambar 8 menunjukkan bahwa, pada aliran Barat Laut – Tenggara, kedua inlet (J1 dan J2) tercipta aliran positif (+). Ventilasi silang tercipta pada bukaan J1 ke J3 dan J2 ke J3. Pada bukaan J4 aliran udara juga meningkat, walaupun aliran udara di tengah ruangan rendah.



Gambar 7. Aliran Udara di Dalam Bangunan Orientasi Barat – Timur

3. Barat Laut – Tenggara



Gambar 8. Aliran Udara di Dalam Bangunan Orientasi Barat Laut – Tenggara

4. KESIMPULAN

Berdasarkan aliran udara yang tercipta pada tiga orientasi bangunan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa;

1. Bukaan yang tegak lurus terhadap *windward* menciptakan ventilasi yang baik. Keberadaan inlet dan outlet yang sejajar menciptakan pertukaran udara yang optimum untuk pendinginan ruangan (Moore, 1993)
2. Posisi inlet dan outlet yang berada pada sisi berbeda dan tidak berhadapan, menciptakan aliran udara yang berbelok arah (J1 ke J3 dan J2 ke J3), dimana kecepatan udara meningkat pada bukaan outletnya. Tipe bukaan seperti ini dapat menciptakan ventilasi silang yang baik (Moore, 1993)
3. Keberadaan penghalang dengan sudut tertentu dapat menciptakan *Inertia*, dimana udara memiliki massa atau momentum dan akan mengikuti arah yang dapat membelokkan angin, sehingga mengalir di permukaan penghalang (Moore, 1993) yang tercipta pada orientasi Barat Daya – Timur Laut.
4. Tercipta *effect ventury* pada seluruh bukaan J4, dimana tercipta aliran akselerasi angin yang dibutuhkan untuk melewati bukaan ketika melewati aliran laminar terbatas (Moore, 1993).
5. Bukaan J4 lebih kecil dibandingkan bukaan lainnya. Jika inlet lebih kecil dibanding outlet, maka akan terjadi reduksi udara di dalam ruangan, namun kecepatan angin meningkat akibat effect ventury (Moore, 1993).
6. Semua orientasi bangunan di perumahan Jacky Chan menciptakan ventilasi silang yang baik

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Program Studi Teknik Arsitektur Universitas Muhammadiyah Aceh
2. Arsitektur Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, Q., et.al (2013), "Aliran Udara pada Perumahan Berpola Grid di Lahan Berbukit yang Dipengaruhi oleh Perbedaan Orientasi Kelompok Massa", Seminar Nasional Pascasarjana XI-ITS, Surabaya.

Aini, Q., et.al (2013), The Effect Of Building Distance And Height To Airflow Distribution In Grid Pattern Housing On The Slope Area, Proceedings Sustainable Environment and Architecture, Banda Aceh

Boutet, T.S. (1987), *Controlling Air Movement*, Manual for Architect and Building, McGraw-Hill, United State of America

Hawkes, et.al. (2002), *The Selective Environment*, Spon Press, London dan Newyork

Hegger, et. al (2007), *Energy Manual*, Sustainable Architecture, Birkhauser, Basel

Krishan, A., et. al, (2001), *Climate Responsive Architecture*, A Design Handbook for Energy Efficient Buildings, Tata McGraw-Hill Offices, New Delhi.

Lechner, N., (2000), *Heating, Cooling, Lighting*, Design Methods for Architects, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.,New York.

Lippsmeier, G., (1997), *Bangunan Tropis*, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta

Moore, F., (1993), Environmental Control Systems, *Heating Cooling Lighting*, McGraw-Hill, Inc, New York.

Olgay, V., (1992), *Design With Climate*, Bioclimatic Approach to Architecture Regionalism, Van Nostrand Reinhold, New York.

Szokolay, Steven V. (2004), *Introduction to Architectural Science :The Basic of Sustainable Design*. ELSEVIER : New Delhi

Tantasavasdi, et.al (2001), "Natural Ventilasi Design for Housing in Thailand", Energy and Building 33, hal 815-824.