

IDENTIFIKASI POLA ALIRAN ANGIN DAN GAYA HAMBAT PADA ATAP MIRING

Siti Belinda Amri^{1*}, La Ode Abdul Syukur², Syafrianto Amsyar³

^{*123}Jurusan Arsitektur, Universitas Halu Oleo, Kendari

Jl. H.E.A. Mokodompit Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, 93232

*E-mail: linda.amri@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi iklim menjadi tantangan bagi para perancang dalam menentukan desain bangunan. Pada musim pancaroba, cuaca di wilayah Indonesia berpotensi berbahaya, bencana yang sering terjadi adalah angin puting beliung. Sebagian besar korban luka-luka dan meninggal dari bencana angin kencang karena tertimpa bagian bangunan yang runtuh akibat tertiuip angin. Atap merupakan bagian dari bangunan yang letaknya berada pada bagian teratas bangunan memberikan pengaruh besar terhadap aliran udara di sekitarnya. Rumah-rumah di Indonesia memiliki beragam bentuk atap, berdasarkan fenomena tersebut maka diperlukan penelitian yang sesuai antara kondisi iklim lokal dengan desain atap yang umum digunakan. Analisis dilakukan untuk mengetahui bentuk atap yang memberikan keamanan serta kenyamanan untuk bangunan maupun lingkungan di sekitarnya. Penelitian merupakan penelitian deskriptif dengan pengujian pada 4 bentuk atap menggunakan alat *wind tunnel* dan simulasi Autodesk Flow Design. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh tampilan perubahan temperatur dan kecepatan pada area angin datang dan setelah mengenai objek uji dipengaruhi oleh kelandaian atap. Selain itu, nilai *drag coefficient* atau nilai hambatan suatu benda terhadap aliran udara terendah tercatat pada model atap mansard. Hal ini berarti model atap mansard merupakan jenis atap yang aerodinamik sehingga lebih mampu bertahan dalam kondisi daerah berangin.

Kata kunci: aliran angin, atap miring, *wind tunnel*, CFD, *drag coefficient*.

ABSTRACT

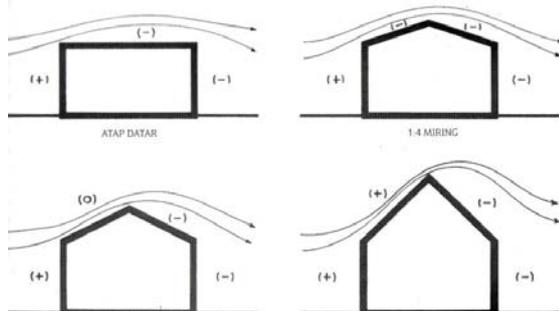
Climate condition is a challenge for designers to determine the building design. In the transition season, the weather in most areas of Indonesia is potentially disastrous that frequently causes strong winds or hurricanes. Most of the victims were injured and died from the catastrophic disaster due to the falling parts of the collapsed buildings. The roof which is a part of a building located at the top gives a big influence on the air flow around it. Housing in Indonesia have various forms of roof, therefore it requires appropriate research related to roof design that commonly used and the local climatic conditions due to the phenomenon. The analysis was conducted to determine the shape of the roof that provides security and comfort for the building and for the surrounding environment. This research was a descriptive research of 4 models of roof shape using wind tunnel and CFD analysis by Autodesk Flow Design simulation. The research shows the appearance of changes in temperature and velocity in the area of the windward and backward are affected by the rooftop slope. It is also found that the mansard roof model has the lowest value of drag coefficient or the resistance value of an object to the airflow. This means that the mansard is an aerodynamic type of roof that is likely more resistant to windy condition.

Keywords : wind flow, sloped roof, wind tunnel, CFD, drag coefficient.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang beriklim tropis lembab dan negara kepulauan. Kondisi iklim dan posisi geografis Indonesia ini menjadi tantangan tersendiri bagi para perancang dalam menentukan desain bangunan. Kejadian cuaca ekstrim pada musim pancaroba yang paling banyak adalah bencana angin puting beliung. Setiap tahun terjadi bencana angin kencang di Indonesia. Sebagian besar korban luka-luka dan meninggal karena tertimpa bagian bangunan yang runtuh akibat tertiup angin. Oleh karena itu dalam perancangan bangunan, harus benar-benar memperhatikan faktor alam, untuk mengantisipasi jatuhnya korban jiwa jika terjadi bencana serupa.

Atap sebagai penutup seluruh ruangan yang ada di bawahnya, sehingga akan terlindung dari panas, hujan, angin dan binatang buas serta keamanan. Faktor iklim menjadi bahan pertimbangan penting dalam merancang bentuk dan konstruksi atap/bangunan. Keberadaan atap pada rumah sangat penting mengingat fungsinya seperti payung yang melindungi sisi rumah dari gangguan cuaca (panas, hujan dan angin). Oleh karena itu, sebuah atap harus benar-benar kokoh/kuat dan kekuatannya tergantung pada struktur pendukung atap.

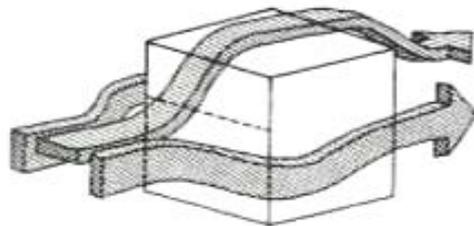


Gambar 1: Tekanan yang terjadi pada atap bergantung pada kelandaian atap
Sumber: (Lechner, 2007)

Aliran udara (angin) adalah udara yang bergerak (Szokolay, 1980) karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi. Boutet (1987) membagi pola aliran udara atas 3 kategori, yakni pola aliran udara laminar (berlapis) yang cenderung sejajar dan mudah diprediksi, pola aliran udara turbulen (bergolak) yang acak dan susah diprediksi, dan pola aliran udara *separated* (terpisah) yang kecepatan anginnya berkurang walaupun tetap

bergerak sejajar. Selain ketiga pola aliran udara ini, Lechner (2007) menambah pola aliran udara *eddy* (berpusar). Sewaktu angin mencapai permukaan bangunan, ia akan memadatkan dan menciptakan tekanan positif (+) (*windward*). Kemudian udara akan dibelokkan ke sisi bangunan tersebut, sehingga tercipta tekanan negatif (-) (*leeward*). Di sisi lain, tekanan yang tercipta pada bagian atap bergantung pada kelandaian atap itu sendiri.

Terdapat 3 hal yang mempengaruhi pola aliran udara dan kecepatan angin pada skala lingkungan, yakni bentuk lahan, vegetasi, dan bangunan (Boutet, 1987). Struktur bangunan membelokkan, menghalangi, dan mengarahkan aliran udara di sekitarnya, serta mengurangi maupun menambah kecepatan aliran udaranya. Selain itu, terbentuk pula area tenang baik pada sisi yang menghadap arah datangnya angin maupun pada sisi yang membelakangi arah datangnya angin. Area tenang adalah area dimana pergerakan udara nyaris tidak terasa. Area tenang pada sisi yang membelakangi arah datangnya angin selalu lebih besar daripada pada sisi yang menghadap arah datangnya angin.



Gambar 2. Prinsip aliran udara pada bangunan
Sumber: (Boutet, 1987)

Lebih lanjut, menurut Boutet (1987), aliran udara pada skala bangunan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: bangunan itu sendiri, vegetasi di sekitar bangunan, pagar di sekitar bangunan, dan bangunan sekitarnya. Konfigurasi dan orientasi bangunan terhadap arah datangnya angin mempengaruhi pola pergerakan aliran udara dan kecepatan angin. Adapun pada bangunan itu sendiri, terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pola aliran udara dan kecepatan angin, seperti konfigurasi, orientasi, tinggi, teritis, bentuk atap, dan bentuk-bentuk arsitektural lainnya.

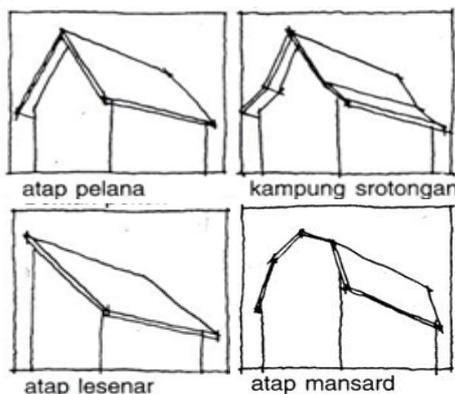
Menurut (Lippsmeier, 1997), atap merupakan bagian terpenting dari sebuah bangunan. Berdasarkan bidang dan orientasinya, atap adalah bagian bangunan

yang paling banyak terkena cahaya, dan merupakan bagian yang paling bertanggung jawab terhadap kenyamanan ruangan dan juga terhadap kerusakan akibat gempa dan angin topan. Kemiringan atap bangunan akan menentukan dimensi bayangan angin (leeward) dan olakan (eddy) yang terjadi di bayangan angin tersebut. Kemiringan atap diukur berdasarkan perbandingan antara tinggi atap dan setengah lebar atap.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif untuk menjelaskan pengaruh bentuk-bentuk atap miring terhadap pola aliran angin. Selanjutnya, penentuan pola aliran angin dilakukan dengan eksperimen (simulasi) terhadap beberapa variabel atap dengan bantuan alat *wind tunnel* dan program komputer CFD. Simulasi dan model pada riset arsitektur digunakan sebagai salah satu strategi penelitian yang berhubungan dengan skala ruang dan kerumitan lingkup penelitian. Secara umum, strategi simulasi dan model dapat digunakan dalam pengembangan teori atau menguji suatu teori (Groat dan Wang, 2002).

Adapun peubah/variable yang akan diamati dan diukur dalam kegiatan penelitian ini adalah: Variabel bebas yakni bentuk atap tradisional di Indonesia, adapun bentuk atap terpilih adalah 4 jenis seperti terlihat pada gambar 1. Sedangkan variabel terikat terdiri atas pola aliran angin di sekitar atap yakni temperatur dan kecepatan angin serta besar koefisien aerodinamis model uji yang terlihat dari nilai *drag coefficient* dan *drag force*.



Gambar 3: Beberapa jenis atap yang umum digunakan di Indonesia

Sumber: Frick dan Setiawan, 2001

Berikut ini penjelasan mengenai kedua metode yang digunakan dalam penelitian ini.

Metode Uji Wind Tunnel

Wind tunnel atau terowongan angin adalah alat riset dikembangkan untuk membantu dalam menganalisa efek angin yang bergerak atau di sekitar object padat. Pada umumnya, perancangan terowongan angin berdasarkan dari data-data hasil eksperimen. Eksperimen ini menggunakan kipas listrik bertenaga hisap (kipas exhaust) untuk menghasilkan hembusan angin di dalam terowongan angin. Melalui pengujian, dapat dihasilkan kontribusi tekanan di setiap bagian-bagian terowongan angin tersebut dengan kontruksi terowongan angin yang telah dirancang. Pola aliran angin teramati menggunakan bantuan smoke generator. Tujuan dari pengujian ini untuk memperoleh variasi yang ditimbulkan oleh aliran angin pada bangunan yang meliputi 1) kecepatan angin; 2) arah angin; dan 3) perbedaan temperatur.



Gambar 4: Alat *wind tunnel* tipe terbuka

Untuk memperoleh gambaran mengenai perbedaan yang dihasilkan oleh keempat jenis objek uji, maka dilakukan pengambilan data berupa data temperatur dan kecepatan angin di sekitar objek uji. Terdapat beberapa titik ukur untuk penentuan temperatur dan kecepatan aliran angin (gambar 5). Pengambilan data temperatur dan kecepatan angin menggunakan alat Lutron AM-4204 Hot Wire Anemometer dan Lutron ME-9000 Anemometer Lux Air Velocity Humidity Dew Point Wet Bulb. Pengambilan visualisasi menggunakan kamera dengan pengaturan mode *grayscale* dan tingkat kontras gambar. Terdapat kesulitan dalam pengambilan data, karena kondisi *wind tunnel*

harus dalam keadaan tertutup dan alat ukur tidak dapat digunakan dalam kondisi *wind tunnel* tertutup rapat. Akan tetapi, luasan celah yang terjadi saat penggunaan alat diminimalisir semaksimal mungkin.

Model yang digunakan dalam penelitian untuk metode *wind tunnel* adalah model berskala. Model dibuat dengan cara sederhana dengan mengurangi detail-detail yang ada pada bangunan rumah, semua model memiliki ukuran penampang bawah/luas yang sama, model hanya terfokus pada bentuk atap. Model yang digunakan adalah model yang mempunyai kesebangunan geometrika (*geometrically similar model*). Untuk penentuan skala model, pada tahun 2003, penelitian di Virginia Tech menyimpulkan bahwa untuk memenuhi duplikasi skala kecil turbulensi tekanan aliran, dianjurkan untuk memanfaatkan model untuk bangunan bertingkat rendah tidak lebih besar dari 2% dari skala penuh bangunan (Tieleman, 2003 dalam Goliber, 2009) oleh karena itu skala 1:10 tidak akan diterima.

Metode Uji CFD

Metode pengujian yang kedua adalah dengan memanfaatkan software komputer. Karakteristik aliran angin serta nilai *drag force* dan *drag coefficient* di sekitar bangunan dianalisis dengan menggunakan metode CFD (Computational Flow Design). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan program simulasi yang kini marak dipergunakan untuk memprediksi dan memvisualisasikan aliran udara atau angin. Program komputer yang digunakan dalam pengujian kinerja aliran udara ini adalah Autodesk Flow Design. Software ini dapat digunakan untuk menganalisis aliran fluida pada ruang tiga dimensi.

Data diolah dengan pendekatan visual analisis dan juga statistik deskriptif untuk masing-masing jenis atap. Analisis data dilakukan dengan memperhatikan beberapa hal berikut ini: 1) hasil visualisasi kecepatan aliran udara; 2) nilai *drag force* dan *drag coefficient*. Pada penelitian ini, objek pada gambar terlebih dahulu 3 dibuat model 3Dnya di software SketchUp atau software lainnya misalnya Software Autodesk Autocad dengan memperhatikan format file harus dikonversi ke jenis file berekstensi .3ds. Model-model

tersebut disimulasi menggunakan metode *wind tunnel* yang telah diatur pada saat menggunakan Autodesk Flow Design. Pengaturan kecepatan angin awal adalah 2 m/s, dengan metode analisis 2D.

Drag coefficient dalam mekanika fluida adalah suatu bilangan tak berdimensi yang menyatakan suatu hambatan atau resistant dari suatu benda (object) yang berada di dalam suatu aliran. Semakin rendah nilai drag coefficient, maka hambatan aerodinamik maupun hidrodinamiknya semakin kecil. Dengan kata lain semakin kecil nilai drag coefficient, maka suatu benda semakin memiliki bentuk aerodinamik sehingga hambatan udara maupun hambatan airnya menjadi kecil dan fluida dapat dengan lancar melewati benda tersebut. Adapun persamaan yang digunakan adalah (Bhandari, 2011):

$$c_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A}, \quad (1)$$

Di mana:

c_d : *drag coefficient*

F_d : *drag force*, yaitu gaya yang bekerja searah aliran fluida

ρ : massa jenis fluida

v : kecepatan fluida

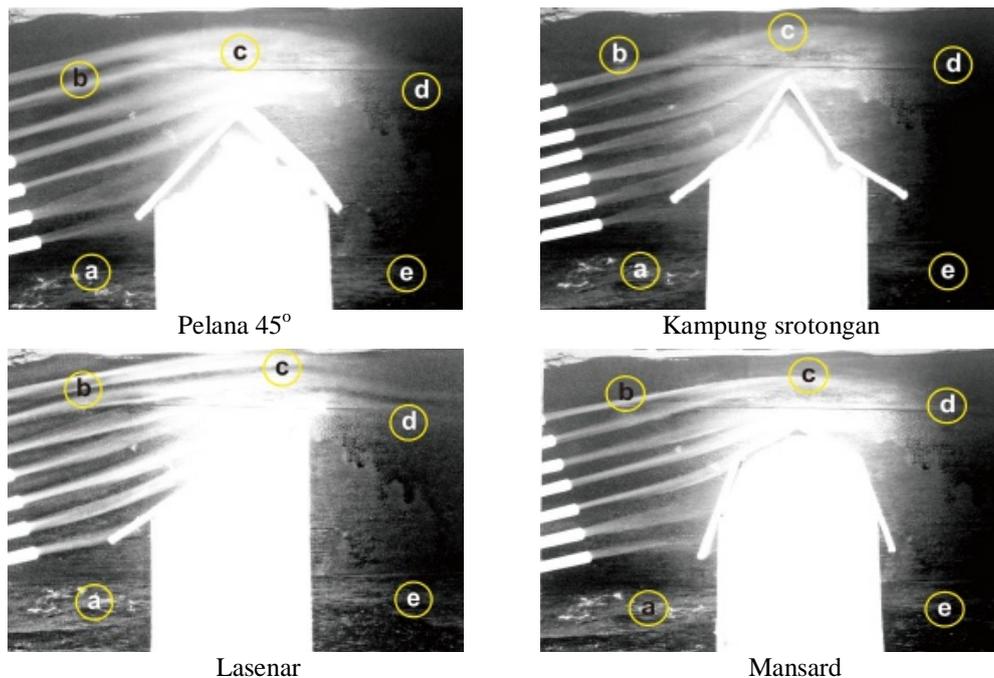
A : luas area dari benda

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini hasil dan pembahasan pengujian pada kedua metode uji.

Uji Wind Tunnel

Gambar 5.3 Menunjukkan penempatan titik ukur untuk pengambilan data. Baik data kecepatan angin maupun data temperatur pada area di sekitar objek uji, khususnya pada bagian atap. Penempatan titik ukur temperatur permukaan bangunan ditempatkan tepat di tengah-tengah model uji membentuk garis potongan pada bagian tengah. Untuk mendapatkan keakuratan data, jumlah penempatan titik sensor/probe alat ditempatkan sebanyak 5 titik yakni: pada bagian bawah angin datang (a); bagian atas angin datang (b); bagian puncak atap (c); bagian atas angin pergi (d); dan bagian bawah di belakang objek uji (e). Kecepatan kipas exhaust diatur sehingga pada bagian inlet alat memasukkan aliran angin dengan kecepatan 3 m/s.

Gambar 5. Perletakan titik ukur untuk temperatur dan kecepatan angin uji *wind tunnel*Tabel 1. Temperatur dan kecepatan angin di sekitar objek uji *wind tunnel*

Variabel atap	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)					Kecepatan angin (m/s)				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Pelana	29,6	29,9	29,5	30,1	30	1,5	1,9	3	3,2	2
Kampung srotongan	29,3	29,4	29,6	29,7	29,5	1,4	2,4	3,2	3,6	1,1
Lasenar	29,9	29,8	29,6	29,8	30	1,5	2,7	3,6	3,6	0,8
Mansard	29,5	29,6	29,6	29,5	29,5	1,2	2,1	3,1	3,1	1,3

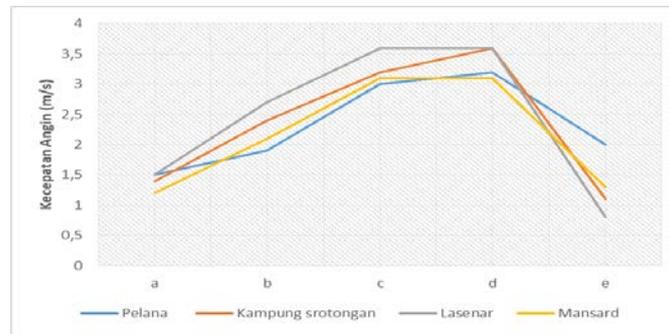
Berdasarkan tabel di atas, umumnya temperatur angin memiliki pola yang sama. Hal ini terlihat dari adanya peningkatan temperatur secara bertahap dari titik dimana angin datang (winward), lalu meningkat pada titik bagian puncak, dan perlahan menurun hingga pada area tenang (area di belakang objek bangunan (Boutet, 1987)) ataupun pada area olakan (bayangan angin). Temperatur tertinggi terjadi pada titik **d** untuk jenis atap pelana 45° , yakni titik dimana angin telah meninggalkan bagian puncak atap dengan nilai $30,1^{\circ}\text{C}$. Perbedaan pola temperatur terjadi pada jenis atap lasenar dimana temperatur udara meningkat hingga bagian belakang objek uji (bayangan angin). Hal ini dikarenakan bentuk atap lasenar yang paling landai sehingga mengarahkan semua angin ke bagian atas bukan ke bagian belakang objek uji, sehingga area olakan untuk jenis atap ini cukup jauh dari bangunan dan bahkan tidak ada angin yang

bergerak pada area bayangan angin di belakang objek uji. Kondisi tersebut mengakibatkan temperatur udara tidak menurun bahkan meningkat karena pada dasarnya aliran angin mampu menurunkan temperatur udara, jika tidak ada aliran angin maka tidak terjadi penurunan temperatur. Hal ini berbeda dengan bentuk ketiga jenis atap lainnya, bentuk-bentuk atap tersebut mengarahkan angin untuk membentuk area olakan yang dekat dengan objek uji, sehingga temperatur pada area belakang objek uji cenderung menurun.

Pada analisis kecepatan angin, terlihat pola kecepatan angin cukup stabil dan sama pada semua model atap. Pada gambar 6, terlihat grafik yang menunjukkan pola kecepatan angin semakin meningkat pada titik ukur c dan d yakni pada area atas datangnya angin dan puncak atap. Hal ini berarti terjadi peningkatan kecepatan setelah angin mencapai bagian puncak atap. Kecepatan angin

terlihat menurun drastis pada area bayangan angin atau area tenang, hal ini karena pada area ini terlindungi oleh bangunan, sehingga aliran angin yang terjadi hanya berupa bayangan angin. Tipe atap yang memiliki kecepatan angin dengan tren berbeda dari lainnya adalah tipe lasenar. Pada tipe lasenar kecepatan angin paling tinggi pada titik c dan d (puncak atap)

yakni 3,6 m/s namun menurun secara drastis pada titik e atau bagian belakang objek uji hingga ke angka 0,8 m/s. Sama halnya dengan kondisi temperatur pada jenis atap lasenar yakni dikarenakan bentuk bidang atap yang mengarahkan sepenuhnya angin ke atas sehingga angin bagian belakang objek uji menjadi sangat tenang.

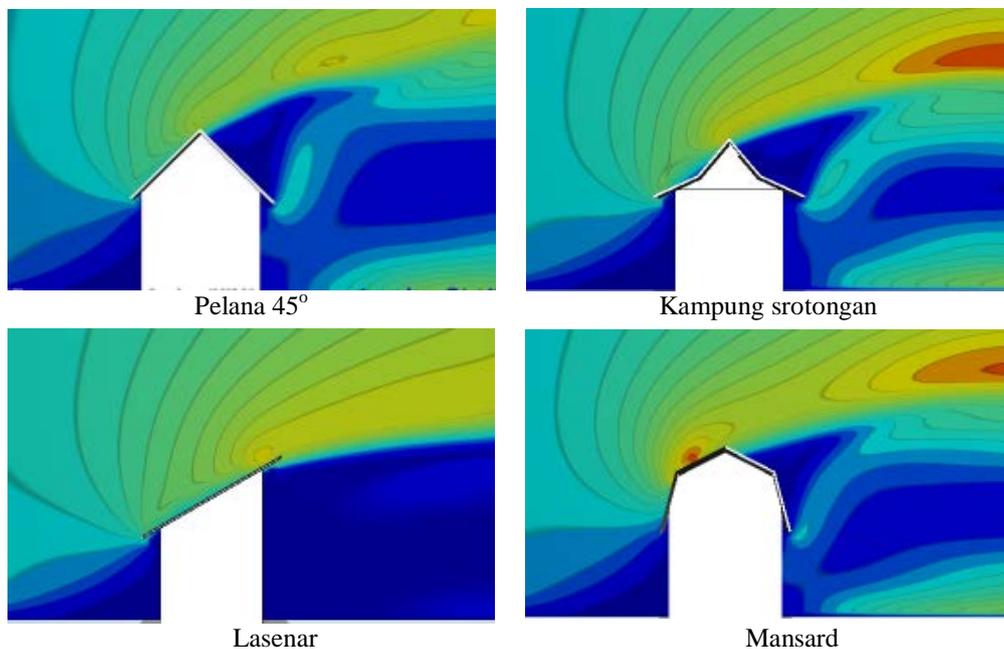


Gambar 6. Grafik pola kecepatan angin di sekitar objek

Uji CFD

Visualisasi kecepatan udara yang dihasilkan dari permodelan Autodesk Flow Design terlihat pada gambar 7, visualisasi kecepatan angin ditunjukkan melalui pewarnaan RGB dimana warna biru menunjukkan kecepatan angin rendah, sedangkan warna merah menunjukkan kecepatan angin tinggi. Berdasarkan gambar visualisasi kecepatan, terlihat bahwa pada tipe

atap lasenar, bayangan angin yang jatuh di belakang bangunan tidak membentuk pola olakan karena angin mengikuti bentuk atap sehingga sebagian besar aliran angin diarahkan ke atas. Hal ini sejalan dengan hasil yang diperoleh pada pengujian menggunakan *wind tunnel*, dimana temperatur udara pada bagian belakang objek uji jenis atap lasenar tidak menunjukkan pola penurunan.



Gambar 7. Visualisasi kecepatan angin di sekitar objek menggunakan Autodesk Flow Design

Tabel 2. Nilai *drag coefficient* dan *drag force*

Variabel atap	<i>Drag coefficient</i>	<i>Drag force</i>
Pelana	1,18	43.225
Kampung srotongan	0,96	32.079
Lasenar	0,99	41.832
Mansard	0,90	32.856

Untuk menentukan kadar ketahanan suatu bentuk terhadap aliran angin dilihat dari nilai *drag coefficient* suatu objek. Tabel 2 merupakan hasil nilai *drag force* dan nilai *drag coefficient* yang diperoleh melalui simulasi. Terlihat bahwa nilai *drag force* pada jenis atap pelana adalah yang paling besar yakni 43.225, hal ini sejalan pula dengan nilai *drag coefficient* yakni 1,18. Hal ini berarti nilai hambat bangunan dengan bentuk atap pelana bersudut 45° terhadap angin lebih besar, sehingga memiliki kemungkinan bangunan terbawa angin lebih tinggi. Seperti yang dikemukakan oleh Lechner (2007) bahwa besar tekanan udara pada atap bergantung pada kelandaian atap itu sendiri. Atap pelana membentuk sudut yang besar/landai dan bidang landainya lebih besar dibandingkan dengan atap lainnya. Nilai *drag coefficient* terbesar kedua dimiliki oleh atap lasenar dengan besar sudut 30°.

Lebih lanjut, nilai terendah untuk nilai *drag coefficient* diperoleh jenis atap mansard, yakni 0,9. Atap mansard memiliki sudut yang besar/landai, akan tetapi luasan bidang landainya lebih kecil dan membentuk lekukan. Dengan nilai *drag coefficient* lebih rendah menunjukkan bahwa jenis atap ini lebih tahan terhadap tekanan aliran angin, atau dengan kata lain lebih aerodinamis. Jika menyesuaikan dengan teori aerodinamis maka bentuk atap mansard lah yang lebih mampu bertahan dalam kondisi daerah berangin. Bentuk atap ini umumnya dimiliki oleh rumah jengki dan relatif jarang diaplikasikan di Indonesia.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil visualisasi aliran udara baik menggunakan wind tunnel maupun CFD ditemukan bahwa kecepatan angin dan penyebaran temperatur udara di sekitar objek uji dipengaruhi oleh bentuk dan kelandaian atap. Bangunan dengan atap landai memiliki kecenderungan bertekanan besar dan gaya hambat anginnya besar. Oleh karena itu, sebaiknya pada daerah berangin menghindari

bentuk atap dengan sudut besar/landai. Rumah-rumah di daerah berangin dapat menggunakan atap dengan sudut kecil atau atap dengan model lekukan agar lebih aerodinamis, seperti bentuk atap mansard atau kampung srotongan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada DRPM DIKTI dan LPPM Universitas Halu Oleo sehingga penelitian dan penulisan karya ilmiah ini dapat terlaksana melalui bantuan hibah skema Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2017 dengan Nomor Kontrak 611/UN.29/PPM/2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhandari NM, Krishna P. *An Explanatory handbook on proposed IS- 875 (Part 3): Wind loads on buildings and structure*. IITK-GSDMA Project on Building Codes, 2011.
- Boutet, T. (1987). *Controlling Air Movement*. New York: McGraw Hill.
- Chung, TJ., (2010), *Computational Fluid Dynamic*. Cambridge: Cambidge University Press.
- Frick, H., & Setiawan, P. L. (2001). *Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Goliber, M. R. (2009). *Pressure Distribution on The Roof of a Model Lowrise Building Tested in a Boundary Layer Wind Tunnel: Graduate Theses and Dissertations*, Iowa: Iowa State University.
- Groat, Linda N., David Wang (2002), *Architectural Research Methods*, New York: John Wiley and Sons.
- Lechner, N. (2007). *Heating, Cooling, Lighting: Metode Desain untuk Arsitektur*. Jakarta: Rajawali.
- Lippsmeier, G. (1997). *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Szokolay, N. V. (1980). *Environmental Science Handbook*. New York: Wiley.