

Optimasi Penempatan Exhaust Fan dalam Rumah dengan CFD

Yonatan K. A. Sarumaha^{1*}, Amelia Sugondo²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

²Pusat Studi Sustainable Energy, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

* Penulis korespondensi; E-mail: amelia@petra.ac.id

ABSTRAK

Pengkondisian udara dalam ruangan sangatlah penting. Hal ini dapat mengurangi *sick building syndrome* (SBS) yang dapat mengganggu aktifitas penghuni. Salah satu cara untuk mengkondisikan udara adalah dengan ventilasi mekanik. Penempatan exhaust fan sebagai ventilasi mekanik guna mendapatkan posisi optimum perlu dikaji. Pengkajian dilakukan dengan melakukan simulasi rumah 12.5m x 8.2m menggunakan Autodesk CFD 2019. Simulasi dilakukan pada lima posisi penempatan *exhaust fan* untuk membandingkan suhu dan kecepatannya pada setiap ruangan. Hasil dari simulasi didapatkan perbedaan suhu udara dan kecepatan udara dari tiap posisi yang diambil pada setiap ruangan dan dibandingkan dengan menggunakan Metode Tukey. Didapatkan bahwa posisi penempatan exhaust fan tidak berpengaruh signifikan. Exhaust fan dapat diletakkan dimana saja didalam ruangan. Yang perlu menjadi perhatian adalah volume udara yang disirkulasikan dalam ruangan, agar udara segar dapat masuk dan mengurangi SBS.

Kata kunci: Optimasi; Penempatan Exhaust Fan; Computational Fluid Dynamic; Sick Building Syndrome; Index Air Quality.

ABSTRACT

Indoor air conditioning system is very important. This can reduce sick building syndrome (SBS) which can interfere with occupant activities. One of the ways to condition the air is by mechanical ventilation. The placement of the exhaust fan as a mechanical ventilation in order to get the optimum position needs to be studied. The assessment was carried out by simulating a 12.5m x 8.2m house using Autodesk CFD 2019. The simulation was carried out in five positions where the exhaust fan was placed to compare the temperature and speed in each room. The simulation results obtained the difference in air temperature and air velocity from each position taken at each room and compared using Tukey's method. It was found that the position of the exhaust fan placement did not have a significant effect. The exhaust fan can be placed anywhere in the room. What needs to be considered is the volume of air circulated in the room, so that fresh air can enter and reduce SBS.

Keywords: *Optimization; exhaust fan placement; Computational Fluid Dynamic; Sick Building Syndrome, Index Air Quality.*

PENDAHULUAN

Manusia menghabiskan 80% waktunya di dalam ruangan, entah didalam rumah, atau tempat kerja. Udara di dalam ruangan biasanya lebih berpolusi daripada di luar ruangan akibat emisi di dalam ruangan, serta rendahnya laju pergantian udara [1,2]. Rendahnya laju pergantian udara dapat menyebabkan *sick building syndrome* (SBS) dimana penghuni mengalami pusing, merasa lelah, iritasi mata, hidung dan tenggorokan, serta kulit kering [3].

Untuk mengurangi SBS, perlu adanya ventilasi untuk pertukaran udara. Terdapat dua jenis ventilasi, yaitu ventilasi natural berdasar perbedaan

tekanan udara di luar ruangan dan di dalam ruangan, serta ventilasi mekanik yang menggunakan kincir dengan penggerak motor atau *blower* [4]. Menurut penelitian yang sudah ada, penggunaan ventilasi natural terbatas pada kecepatan angin di luar rumah, kemudian ventilasi natural juga tidak cocok untuk musim hujan karena tidak mungkin membuka jendela saat hujan dan kotoran akan masuk ke rumah. Sementara itu, penggunaan ventilasi mekanik juga meningkatkan penggunaan energi, serta udara kotor lebih mudah masuk ke dalam rumah [5].

Suhu udara yang nyaman bagi manusia adalah relatif bagi tiap orang. Faktor yang mempengaruhi

kenyamanan adalah metabolisme tubuh, insulasi pakaian, suhu udara, *radiant temperature*, kecepatan udara dan kelembaban. Metabolisme dan insulasi tergantung dari masing-masing orang, sedangkan empat faktor lainnya disebabkan karena lingkungan. Sensasi nyaman muncul dari pikiran setiap orang, sehingga rasa nyaman dapat berbeda antara satu dengan yang lainnya. Suatu kondisi dikatakan nyaman bila 80% orang dalam suatu kondisi tersebut mengatakan nyaman [6]. Berdasarkan penelitian dari H. Feriadi et. all, suhu udara normal orang Indonesia adalah 29.2°C, dengan preferensi nyaman dibawah 29.2°C hingga 26°C [7].

Beberapa penelitian tentang penggunaan *hybrid ventilation* (ventilasi mekanik dan natural) pernah dilakukan [5,8]. Hasilnya menunjukkan efektifitas ventilasi bergantung dari posisi rumah dan lingkungan sekitar.

Pada penelitian ini, disimulasikan lima lokasi penempatan *exhaust fan* dalam ruangan guna melihat efektivitas kerja *exhaust fan* dengan membandingkan suhu dan kecepatan udara dalam ruang tamu, kamar tidur utama, kamar tidur kedua, dapur, dan kamar mandi pada rumah 12.5m x 8.2m.

METODE YANG DIGUNAKAN

Simulasi dilakukan menggunakan Autodesk CFD 2019 versi *Student License* dengan metode Turbulen RNG (*renormalization group*). Dalam rumah terdapat sumber panas kompor sebesar 700W, dan terdapat satu orang pada tiap ruangan dengan *heat generation* masing-masing orang 60W. Suhu udara luar sebesar 30°C.

Rumah yang digunakan berukuran 12.5m x 8.2m dengan tinggi 3m seperti pada Gambar 1, dengan penempatan *exhaust fan* pada plafon seperti pada Gambar 2. *Exhaust fan* yang dipasang merupakan model *ceiling fan*, dengan besar *flow rate* pembuangan udara pada tiap ruangan yang dapat dilihat pada Tabel 1 dengan merujuk pada ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 [4].

Tabel 1. *Flow rate* pembuangan udara yang dibutuhkan ruangan

Ruangan	Flow Rate (L/s)
Ruang Tamu	11.75
Kamar Tidur Utama	9.05
Kamar Tidur Kedua	8.15
Kamar Mandi	12.5
Dapur	30

Terdapat lima posisi penempatan *exhaust fan*, yang ditunjukkan dengan angka 1-5, dan huruf A-E sebagai penanda ruangan. Sebagai contoh, penempatan *exhaust fan* A1 yang berarti di dapur pada posisi *center*. Tabel 2 menunjukkan penomoran *exhaust fan* pada Gambar 2. *Exhaust fan* yang berada pada ujung ruangan dipasang dengan jarak 35cm dari tembok.

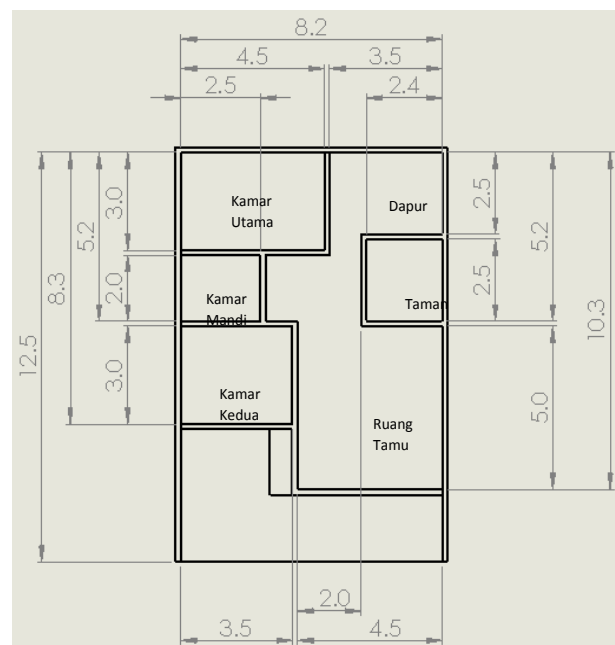
Tabel 2. Penomoran *exhaust fan* pada Gambar 2

Ruangan	Huruf	Posisi <i>exhaust fan</i>	Angka
Kamar Tidur Utama	A	Center	1
Dapur	B	Kanan Atas	2
Kamar Mandi	C	Kanan Bawah	3
Kamar Tidur Kedua	D	Kiri Atas	4
Ruang Tamu	E	Kiri Bawah	5

Kamar tidur kedua, dapur dan ruang tamu memiliki ventilasi dimana memungkinkan masuknya udara dari luar. Besar luasan ventilasi dapat dilihat pada Tabel 3. Ventilasi ini diberi *boundary condition* $P_{gauge} = 0$ atm, dan suhu 30°C. Di setiap ruangan juga terdapat lubang yang memungkinkan udara bergerak dari satu ruangan ke ruang lainnya dengan luas 0.08m².

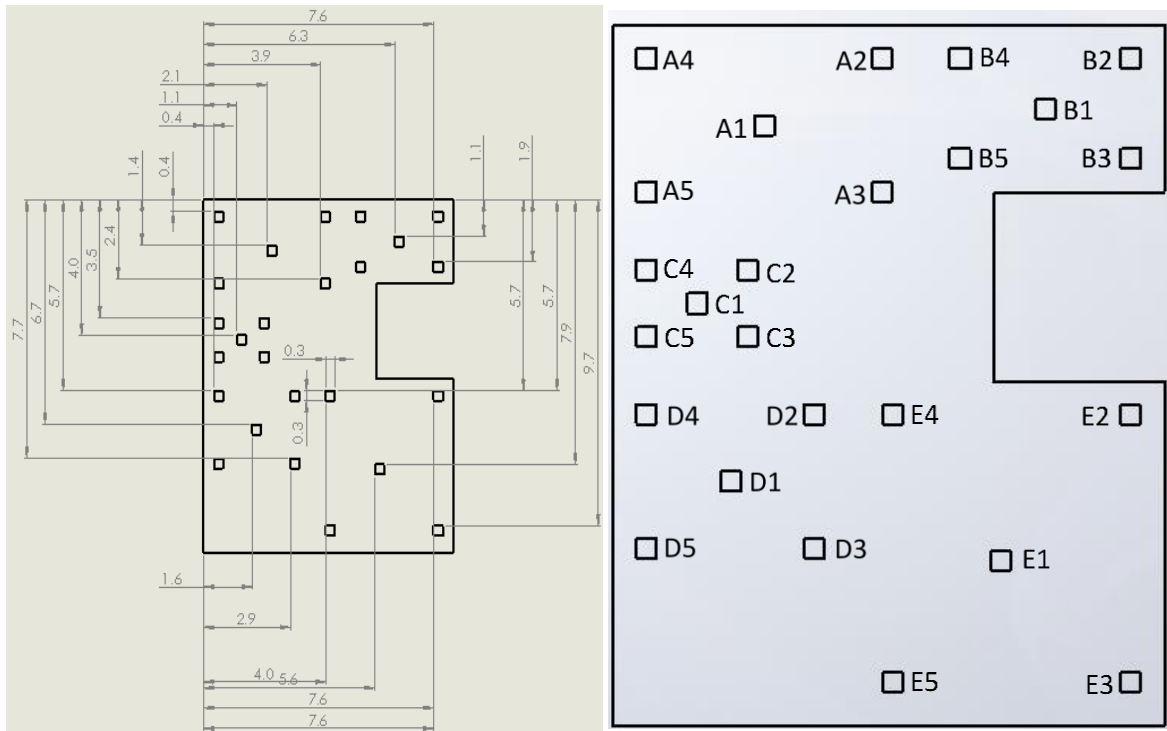
Tabel 3. Luasan ventilasi pada tiap ruangan

Ruangan	Luas (m ²)
Dapur	0.43
Ruang tamu	0.16
Kamar tidur kedua	0.08

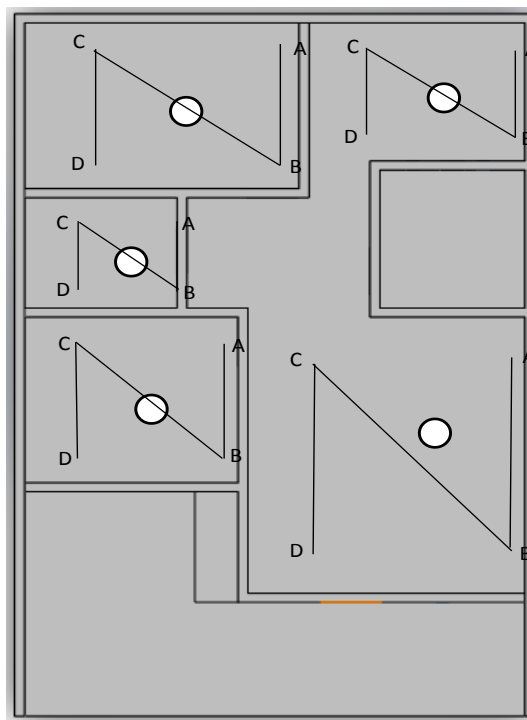


Gambar 1. Desain rumah (satuan dalam meter).

Setiap ruangan akan disimulasikan lima penempatan *exhaust fan* yaitu: *center*, kanan atas, kanan bawah, kiri atas dan kiri bawah. Hasil yang diambil dari setiap simulasi adalah kecepatan udara dan suhu dengan membuat bidang mendatar pada ½ dari tinggi total ruangan. Garis A-B, B-C, C-D pada Gambar 3 merupakan lokasi pengambilan data kecepatan udara dan suhu. Satu garis menghasilkan delapan titik pengambilan data suhu dan kecepatan udara. Lingkaran merah di setiap ruangan menandakan penempatan orang di setiap ruangan. Data diambil pada lima posisi penempatan *exhaust fan* di setiap ruangan dan dibandingkan menggunakan aplikasi Minitab dengan metode *Tukey pair ways*.



Gambar 2. Posisi ventilasi pada plafon rumah (satuan dalam meter).



Gambar 3. Daerah pengambilan data kecepatan udara dan suhu

HASIL DAN PEMBAHASAN

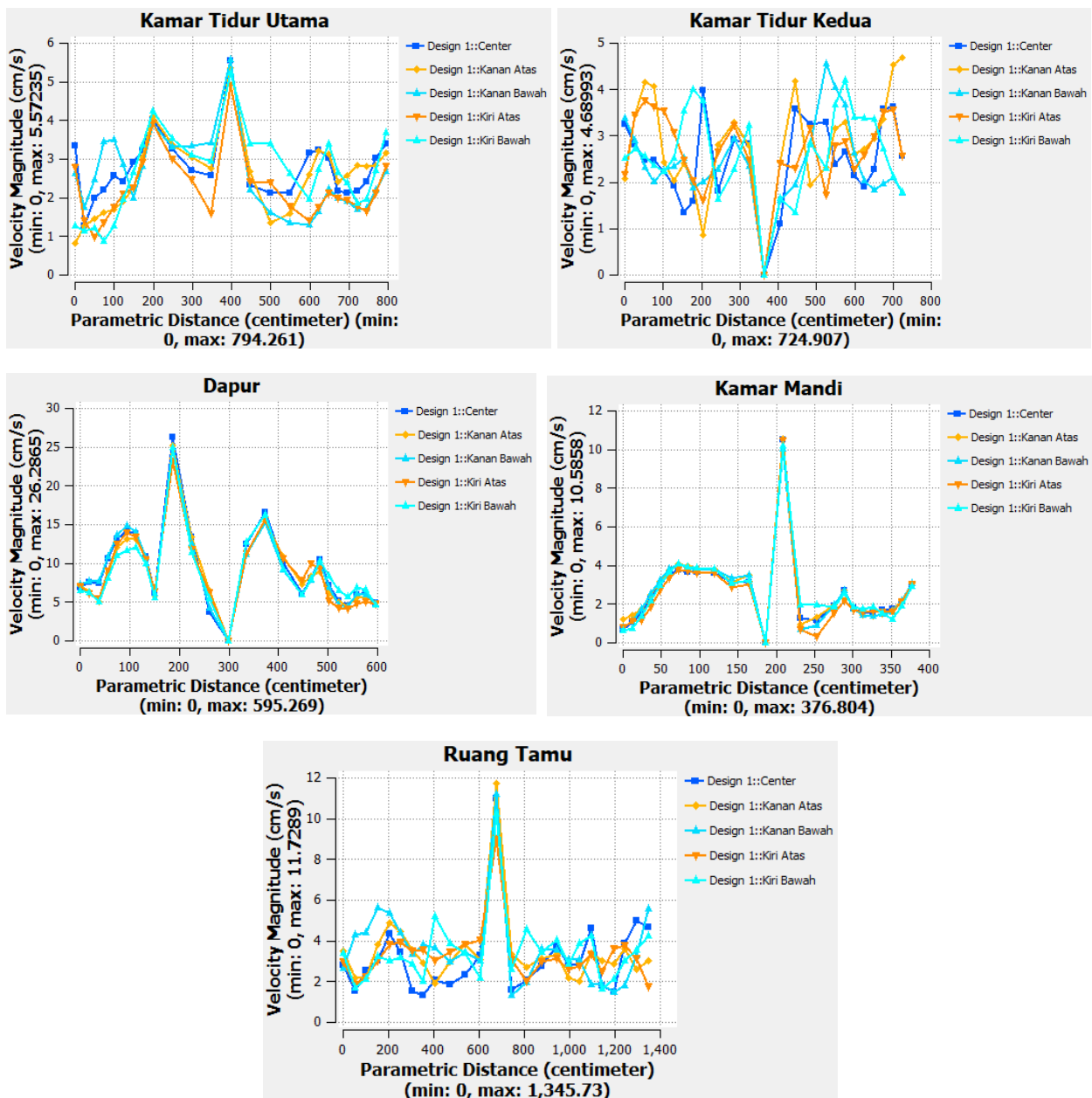
Pengambilan data dilakukan pada *breathing zone* sesuai dengan yang telah diatur dalam ANSI/ASHRAE Standart 62.1-2016, yaitu pada daerah antara 75mm-1800mm dari lantai, dan lebih dari 600mm dari tembok [4]. Gambar 4 menunjukkan grafik kecepatan udara dari setiap ruangan dan

Gambar 5 menunjukkan grafik suhu dari setiap ruangan. Data diambil mengacu pada Gambar 3, dengan *parametric distance* yang merupakan sumbu x dari grafik menunjukkan jarak dari titik A hingga D di setiap ruangan. Terlihat pada grafik suhu, terdapat lonjakan suhu di dapur, kamar mandi dan kamar tidur kedua. Lonjakan suhu tersebut adalah suhu orang yang terdapat di dalam ruangan. Hal ini

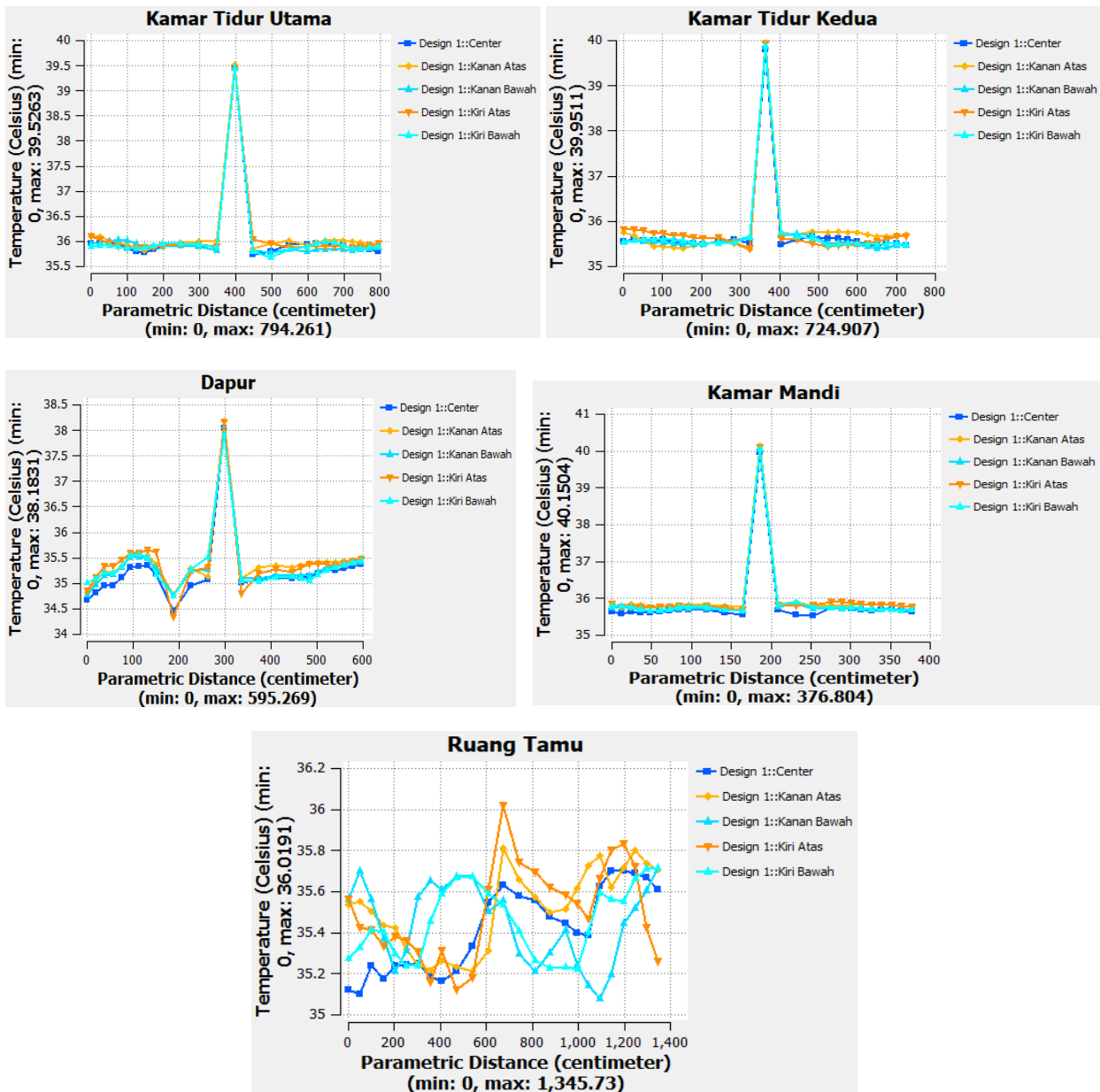
dibuktikan dengan terdapat kecepatan udara sebesar 0cm/s yang menandakan data yang diambil pada titik dimana terdapat orang di ruangan. Sedangkan pada kamar tidur utama, dan ruang tamu tidak terdapat lonjakan suhu seperti pada ruangan lain karena suhu yang tercatat adalah suhu disekitar orang, bukan suhu badan orang tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan tidak adanya kecepatan udara sebesar 0cm/s.

Gambar 6 merupakan rata-rata kecepatan udara di setiap ruangan dengan lima posisi penempatan *exhaust fan*. Di dapur dan kamar tidur utama penempatan *exhaust fan* di tengah menghasilkan rata-rata kecepatan udara yang terbesar yaitu 9.29cm/s dan 2.77cm/s. Pada kamar mandi, penempatan *exhaust*

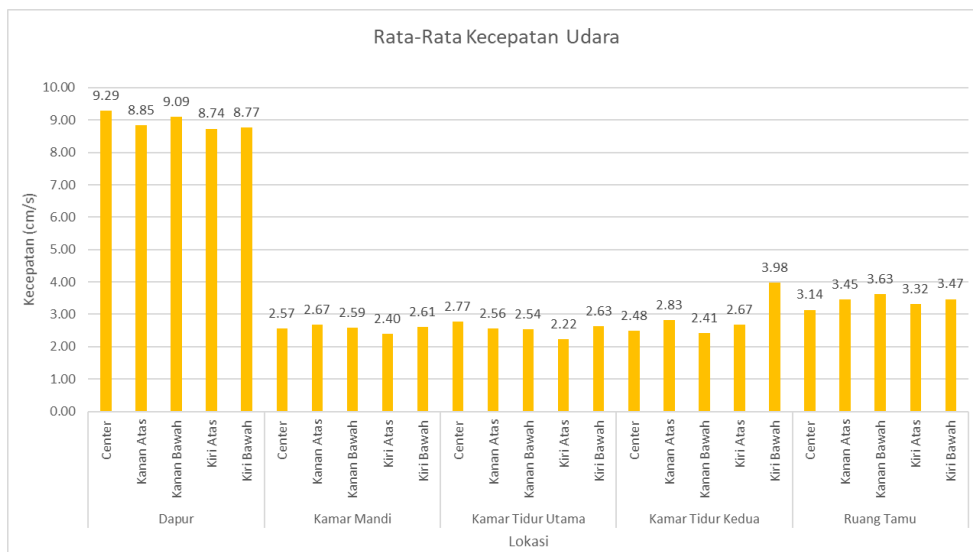
fan pada kanan atas menghasilkan kecepatan udara terbesar sebesar 2.67cm/s. Penempatan *exhaust fan* pada bagian kiri bawah menghasilkan kecepatan udara terbesar pada kamar tidur kedua dengan kecepatan udaranya sebesar 3.98cm/s. Sedangkan pada ruang tamu, kecepatan udara sebesar 3.63cm/s menjadi yang terbesar dengan penempatan *exhaust fan* pada kanan bawah. Dapur memiliki kecepatan udara rata-rata terbesar dibandingkan di ruangan lain. Hal ini diakibatkan oleh terdapat lubang ventilasi yang lebih besar daripada ruangan lainnya. Ruang tamu juga memiliki rata-rata kecepatan udara tertinggi kedua, karena terdapat ventilasi yang lebih besar daripada kamar tidur kedua.



Gambar 4. Grafik kecepatan udara pada setiap ruangan



Gambar 5. Grafik suhu pada tiap ruangan



Gambar 6. Grafik rata-rata kecepatan udara pada tiap ruangan

Bila dibandingkan dengan metode statistik Tukey dengan tingkat keyakinan 95%, tidak terdapat perbedaan kecepatan yang signifikan dari lima posisi penempatan *exhaust fan* di setiap ruangan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7, dimana posisi penempatan *exhaust fan* di setiap ruangan berada pada satu *grouping*.

Gambar 8 menunjukkan rata-rata suhu udara pada tiap ruangan. Penempatan *exhaust fan* di tengah mengakibatkan suhu ruangan terendah pada dapur sebesar 35.22°C, kamar mandi sebesar 35.82°C, dan ruang tamu sebesar 35.41°C. Kamar tidur utama memiliki rata-rata suhu terendah bila *exhaust fan* dipasang pada kiri bawah, kanan bawah atau tengah

Comparisons for Kecepatan Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Kamar Tidur Utama

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Kamar Tidur Utama	N	Mean	Grouping
Kiri_Bawah	25	3.98102	A
Kanan_Atas	25	2.82567	A
Kiri_Atas	25	2.67437	A
Center	25	2.48117	A
Kanan_Bawah	25	2.40938	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Kecepatan Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Kamar Tidur Kedua

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Kamar Tidur Kedua	N	Mean	Grouping
Kiri_Bawah	25	3.98102	A
Kanan_Atas	25	2.82567	A
Kiri_Atas	25	2.67437	A
Center	25	2.48117	A
Kanan_Bawah	25	2.40938	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Kecepatan Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Dapur

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Dapur	N	Mean	Grouping
Center	25	9.29143	A
Kanan_Bawah	25	9.09129	A
Kanan_Atas	25	8.84638	A
Kiri_Bawah	25	8.77455	A
Kiri_Atas	25	8.73520	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Kecepatan Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Kamar Mandi

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Kamar Mandi	N	Mean	Grouping
Kanan_Atas	25	2.67140	A
Kiri_Bawah	25	2.61148	A
Kanan_Bawah	25	2.59180	A
Center	25	2.56772	A
Kiri_Atas	25	2.40906	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Kecepatan Udara

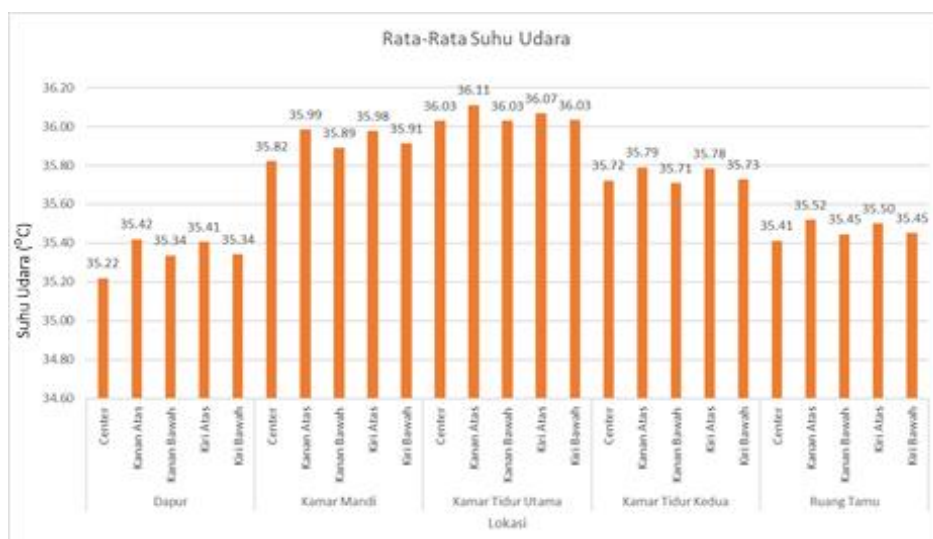
Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Ruang Tamu

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Ruang Tamu	N	Mean	Grouping
Kanan_Bawah	25	3.62853	A
Kiri_Bawah	25	3.46823	A
Kanan_Atas	25	3.45000	A
Kiri_Atas	25	3.31852	A
Center	25	3.13693	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 7. Perbandingan Tukey untuk kecepatan udara pada setiap ruangan



Gambar 8. Grafik rata-rata suhu pada setiap ruangan

ruangan. Penempatan ini menyebabkan suhu ruang meningkat menjadi 36.03°C. Pada kamar tidur kedua suhu terendah didapat bila memasang *exhaust* pada kanan bawah ruangan dengan suhu sebesar 35.71°C. Suhu di kamar tidur utama dan kamar mandi relatif lebih tinggi daripada ruangan lainnya. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya ventilasi yang memungkinkan udara luar masuk ke ruangan, sehingga suhunya lebih tinggi dari lainnya.

Bila dibandingkan dengan metode statistic Tukey dengan tingkat keyakinan 95%, tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari kelima posisi penempatan *exhaust fan* terhadap suhu pada ruang. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Gambar 9, dimana setiap posisi penempatan *exhaust fan* pada tiap ruangan terdapat dalam satu *grouping*.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan dibandingkan datanya dengan metode Tukey, dapat disimpulkan bahwa posisi penempatan *exhaust fan* tidak berdampak

signifikan pada suhu udara dan kecepatan udara di dalam suatu ruangan.

Untuk mendapatkan suhu udara dan kecepatan udara yang baik, perlu adanya ventilasi yang cukup berupa jendela dan lubang angin agar terjadi pertukaran udara dari luar ke dalam sehingga menurunkan suhu dan meningkatkan kecepatan udara dalam ruangan.

Kedepan, dapat diuji dengan membuat ruangan asli agar dapat membandingkan data *real* dan simulasi. Dapat juga membandingkan data ventilasi natural dan ventilasi mekanik, untuk melihat biaya operasional *exhaust fan*, serta dikombinasi dengan pendingin ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sun, J. Hou, R. Cheng, Y. Sheng, X. Zhang, J. Sundell, 2019, "Indoor air quality, ventilation and their associations with sick building syndrome in Chinese homes", *Energy and Buildings*, 197:112-119.

Comparisons for Suhu Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Kamar Tidur Utama

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Kamar Tidur Utama	N	Mean	Grouping
Kanan_Atas	25	35.7901	A
Kiri_Atas	25	35.7833	A
Kiri_Bawah	25	35.7278	A
Center	25	35.7221	A
Kanan_Bawah	25	35.7100	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Suhu Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Kamar Tidur Kedua

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Kamar Tidur Kedua	N	Mean	Grouping
Kanan_Atas	25	35.7901	A
Kiri_Atas	25	35.7833	A
Kiri_Bawah	25	35.7278	A
Center	25	35.7221	A
Kanan_Bawah	25	35.7100	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Suhu Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Dapur

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Dapur	N	Mean	Grouping
Kanan_Atas	25	35.4195	A
Kiri_Atas	25	35.4057	A
Kiri_Bawah	25	35.3434	A
Kanan_Bawah	25	35.3365	A
Center	25	35.2194	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Suhu Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Kamar Mandi

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Kamar Mandi	N	Mean	Grouping
Kanan_Atas	25	35.9859	A
Kiri_Atas	25	35.9774	A
Kiri_Bawah	25	35.9124	A
Kanan_Bawah	25	35.8888	A
Center	25	35.8217	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Comparisons for Suhu Udara

Tukey Pairwise Comparisons: Penempatan di Ruang Tamu

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Penempatan di Ruang Tamu	N	Mean	Grouping
Kanan_Atas	25	35.5204	A
Kiri_Atas	25	35.5020	A
Kiri_Bawah	25	35.4509	A
Kanan_Bawah	25	35.4462	A
Center	25	35.4119	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 9. Perbandingan Tukey untuk suhu udara pada setiap ruangan

- [2] R. Kishi, R.M. Ketema, Y.A. Bamai, A. Araki, T. Kawai, T. Tsuboi, L. Saito, E. Yoshioka, T. Saito, 2018, "Indoor environmental pollutants and their association with sick house syndrome among adults and children in elementary school", *Building and Environment*, 136: 293-301.
- [3] A. Norhidayah, L. Chia-Kuang, M.K. Azhar, S. Nurulwahida, 2013, "Indoor air quality and sick building syndrome in three selected buildings", *Procedia Engineering*, 53:93-98.
- [4] ANSI. Standard 62.1, 2016, "Ventilation for acceptable indoor air quality", America: ANSI.
- [5] F. Xiuzhang, W. Dingxin, 20115, "Comparison of the efficiency of building hybrid ventilation systems", *Energy Procedia*, 78:2820-2825.
- [6] ANSI. Standard 55, 2017, "The Environmental Conditions for Human Occupancy", America: ANSI.
- [7] H. Feriady, N. H. Wong, 2004, "Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia", *Energy and Buildings*, 36:614-626.
- [8] B. Daria, D. Sovetnikov, D. Semashkina, A. Borodinecs, 2017, "Correlation of energy efficiency and thermal comfort depending on the ventilation strategy", Elsevier. *Procedia Engineering*, 205:503-510.