

# PERANCANGAN PENDINGINAN PASIF PADA ATAP BANGUNAN

Kevin M. Soewarsono<sup>1)</sup>, Ekadewi A. Handoyo<sup>2)</sup>

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra <sup>1,2)</sup>

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia <sup>1,2)</sup>

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658<sup>1,2)</sup>

E-mail : [kmarcellinuss@gmail.com](mailto:kmarcellinuss@gmail.com)<sup>1)</sup>, [ekadewi@petra.ac.id](mailto:ekadewi@petra.ac.id)<sup>2)</sup>

## ABSTRAK

*Pada siang hari suhu udara dapat mencapai 37°C pada musim kemarau. Suhu yang tinggi dapat mengganggu aktifitas manusia. Suhu nyaman untuk orang Indonesia berada pada rentang 24.9°C hingga 28°C. Di Universitas Kristen Petra terdapat kantin yang berlokasi di gedung M. Suhu udara didalam kantin pada jam 11 hingga 2 siang hari berkisar antara 32°C hingga 37°C. Suhu yang tinggi terjadi karena tidak terdapat plafon pada bangunan ini. Untuk dapat mengurangi suhu udara didalam kantin maka dilakukan penelitian *passive cooling*. *Passive cooling* yang diteliti menggunakan air sebagai media pendingin. Air ditempatkan pada permukaan atap yang berada diluar ruangan.*

*Penelitian ini dilakukan pada model Stevenson Screen yang memiliki dimensi lebih kecil dari kantin M. *Passive cooling* yang dirancang adalah *passive cooling* dengan air mengalir dan tidak mengalir. Suhu udara ruangan model ditargetkan sebesar 28°C. Setelah mendapatkan angka ketebalan dan debit air secara teoritis, dilakukan eksperimen dua macam. Setelah mendapat hasil eksperimen, dilakukan simulasi dengan perangkat Computational Fluid Dynamic (CFD). Hasil simulasi dan percobaan kemudian dianalisa.*

*Hasil penelitian ini didapatkan bahwa *passive cooling* dengan air mengalir memberikan pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan air tidak mengalir. Suhu ruangan 28°C dicapai dengan menggunakan laju aliran massa air sebesar 0.055 kg/s dan 0.025 kg/s dengan suhu air 300K dan 293K.*

*Kata kunci: Pendinginan Pasif, Perpindahan Panas, Teknik Mesin.*

## 1. Pendahuluan

Suhu rata-rata udara di kota Surabaya berdasarkan informasi dari BPS (Badan Pusat Statistik) Surabaya pada tahun 2014 berkisar antara 22.9-33.5°C. Suhu yang mencapai 33.5°C menyebabkan hawa panas sangat terasa di kota Surabaya, khususnya pada siang hari. Suhu udara yang panas sangat mengganggu aktifitas manusia pada saat siang hari.

Kondisi dimana manusia merasa nyaman dengan suhu udara yang dirasakan disebut *Thermal comfort*. Suhu nyaman untuk orang Indonesia berada pada rentang suhu 24.9°C hingga 28°C. Untuk mendapatkan suhu nyaman digunakan pengkondisian udara secara mekanis yaitu AC.

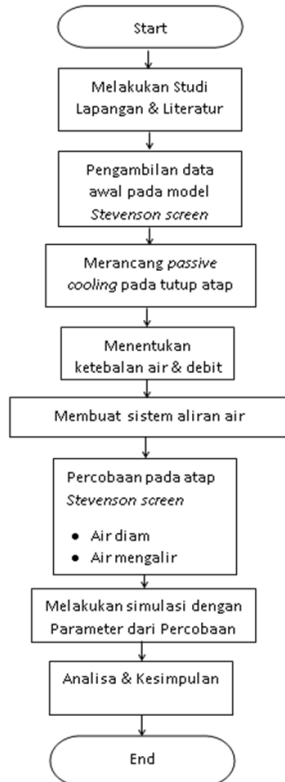
Di universitas Kristen Petra terdapat kantin yang berlokasi di gedung M, kantin tersebut hanya beratap satu lembaran dengan ketebalan sekitar 0,4 cm dengan bahan asbes. Pada saat siang hari udara di kantin tersebut terasa sangat panas. Menurut pengamatan dan pengambilan data yang dilakukan, suhu di kantin pada jam 12 siang bernilai 39°C. Pengukuran dilakukan pada saat suhu udara diluar ruangan kantin 36°C.

Atap menerima radiasi dan konveksi dari matahari. Kemudian atap melepaskan kalor secara radiasi dan konveksi menuju dalam ruangan. Hal ini lah yang menjadi akibat tingginya suhu udara didalam kantin. Rumah pada umumnya menggunakan plafon untuk mengatasi ini. Sehingga udara didalam rumah lebih sejuk.

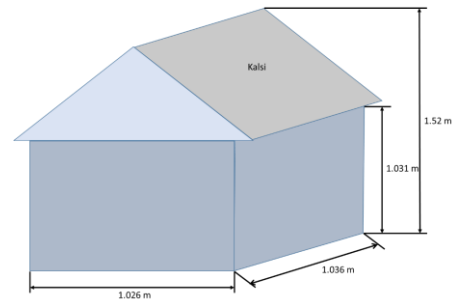
Untuk dapat mengurangi tingginya suhu udara didalam kantin. Penelitian atap dengan menggunakan *passive cooling* dilakukan. *Passive cooling* adalah perancangan yang berfokus pada mengatur perolehan kalor dan pelepasan kalor. Perancangan ini digunakan untuk mempermudah pencapaian *thermal comfort* dengan menggunakan sedikit energi atau tanpa menggunakan energi. *Passive cooling* yang akan dirancang adalah dengan menggunakan air. Air ditempatkan pada permukaan atap yang berada diluar ruangan. Air digunakan untuk menerima kalor yang berasal dari matahari. Disamping mendapatkan manfaat untuk pendinginan, juga mendapat air panas yang dapat dimanfaatkan untuk mencuci piring di kantin. Dengan perancangan *passive cooling* ini, atap tidak menerima radiasi matahari secara langsung.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan air panas dan menguji apakah *passive cooling* dapat menghambat laju kalor yang diterima oleh atap menuju kedalam ruang kantin. Suhu ruangan yang diinginkan adalah 28°C. *Passive cooling* yang diuji adalah *passive cooling* dengan air yang mengalir dan tidak mengalir.

## 2. Metode Penelitian

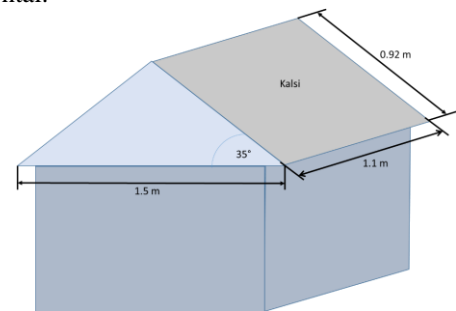


Gambar 1. Diagram *flowchart* metode penelitian



Gambar 3. Dimensi *Stevenson screen*

Panjang atap kalsi *board* sebesar 1.1 m dan Lebar atap sebesar 0.92 m. Atap kalsi *board* memiliki ketebalan sebesar 0.003 m dengan kemiringan sebesar 35° dari horizontal.



Gambar 4. Dimensi atap

### 3. Hasil dan Pembahasan

Desain *passive cooling* dilakukan pada atap model *Stevenson screen*. Model yang berjumlah 2 unit tersebut berada pada gedung P lantai 7 Universitas Kristen Petra. Atap pada gambar 2. berbahan *calcium silicate board* atau biasa disebut orang Kalsi *board*.



Gambar 2. Model *Stevenson screen*

Pengukuran dimensi model dilakukan. Hasil pengukuran dimensi model *Stevenson screen* dapat dilihat pada gambar 3. Dimensi model menjadi dasar ukuran dari prototipe yang akan dibuat. Model memiliki panjang, lebar dan tinggi sebesar 1.036 m, 1.026 m, dan 1.031 m.

#### • Suhu Awal Model

Pengukuran dilakukan pada jam 1 siang. Sebelum dilakukan pengukuran, model dibiarkan terkena sinar matahari selama 20 menit. Hal ini agar suhu model dalam keadaan *steady*. Hasil pengukuran awal model dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran suhu awal 5 Juni 2014

	Perc.1	Perc.2	Perc.3	Perc.4	Perc.5	Rata-rata
$T_{\infty,i}$ (°C)	31.3	32.1	31.8	30.7	30.5	31.28
$T_{s,1 a}$ (°C)	44	44	44.1	43.4	43	43.99
$T_{s,1 b}$ (°C)	44.3	44.4	44.6	44.2	43.9	44.95
$T_{s,2 a}$ (°C)	45.7	46	46	45.2	44.4	45.95
$T_{s,2 b}$ (°C)	46.5	46.6	46.6	46.3	46.2	46.95
$T_{\infty,o}$ (°C)	37.9	38.4	37.6	36	36.4	37.26

Dimana:

$T_{\infty,i}$  = Suhu udara didalam ruangan model

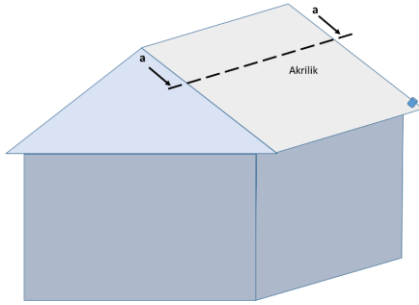
$T_{s,1}$  = Suhu permukaan kalsi *board* bagian dalam ruangan,

$T_{s,2}$  = Suhu permukaan kalsi *board* bagian luar ruangan

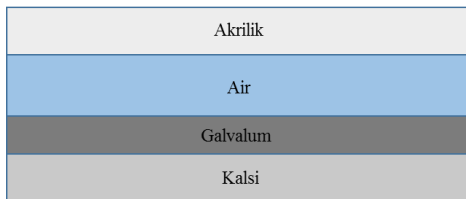
$T_{\infty,o}$  = Suhu udara diluar ruangan model

#### • Pendingin Pasif

Material yang digunakan untuk desain *passive cooling* adalah galvalum dan akrilik.



Gambar 5. Gambaran Stevenson screen dengan passive cooling



Gambar 6. Potongan a-a

• Hasil Perhitungan Tebal Air

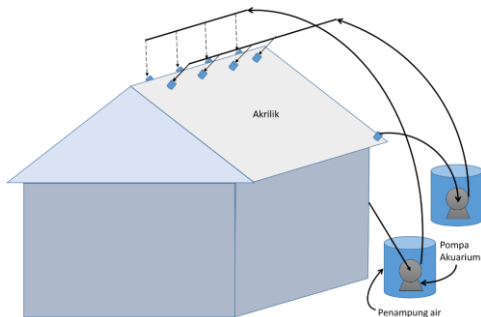
Perhitungan dilakukan dengan menganalisa distribusi termal model dengan passive cooling air tidak mengalir. Hasil perhitungan tebal air agar dapat menurunkan suhu ruangan menjadi 28°C adalah 1 cm.

• Hasil Perhitungan Debit Air

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk passive cooling air mengalir. Distribusi termal model dengan passive cooling air mengalir dianalisa. Hasil perhitungan debit air yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu ruangan menjadi 28°C adalah 3.41\*10<sup>-3</sup> L/s.

• Hasil Eksperimen

Desain passive cooling yang telah dibuat dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan di lantai 7 gedung P UKP. Eksperimen dilakukan menurut skema seperti pada gambar 7. Setiap sisi atap menggunakan satu pompa akuarium yang diletakkan pada penampung air.



Gambar 7. Skema eksperimen

Tabel 2. Hasil pengukuran tanggal 29 October 2015

No	Tidak mengalir					Normal			
	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>w,i</sub> (°C)	T <sub>w,o</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)	T <sub>∞,o</sub> (°C)	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)
1	38.4	38.6	-	-	40.7	39.5	41.0	57.9	59.4
2	38.8	40.0	-	-	42.1	39.3	40.5	57.5	59.2
3	38.5	38.7	-	-	41.2	39.4	41.0	57.8	59.4
	38.57	39.10	31	36	41.33	39.40	40.83	57.73	59.33
No	Mengalir					Normal			
	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>w,i</sub> (°C)	T <sub>w,o</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)	T <sub>∞,o</sub> (°C)	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)
1	37.1	37.4	31	36	37.8	39.2	39.7	57.1	58.8
2	37.2	37.6	31	36	38.4	39.1	40.8	57.5	59.4
3	37.4	37.2	31	37	38.5	39.0	40.1	57.4	58.9
	37.23	37.40	31.00	36.33	38.23	39.10	40.20	57.33	59.03

Dimana :

T<sub>∞,i</sub> = Suhu udara didalam ruangan model

T<sub>s,1</sub> = Suhu permukaan kalsi board bagian dalam ruangan,

T<sub>s,2</sub> = Suhu permukaan kalsi board bagian luar ruangan

T<sub>∞,o</sub> = Suhu udara diluar ruangan model

T<sub>w,i</sub> = Suhu air pada inlet

T<sub>w,o</sub> = Suhu air pada outlet

Tabel 3. Hasil pengukuran tanggal 3 November 2015

No	Tidak mengalir					Normal			
	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>w,i</sub> (°C)	T <sub>w,o</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)	T <sub>∞,o</sub> (°C)	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)
1	38.1	39.0	-	-	40.9	39.5	40.1	57.8	59.4
2	38.4	38.5	-	-	40.3	39.4	41.2	58.0	59.6
3	38.8	38.8	-	-	41.2	39.7	41.3	58.0	59.5
	38.43	38.77	30	37	40.80	39.53	40.87	57.93	59.50
No	Mengalir					Normal			
	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>w,i</sub> (°C)	T <sub>w,o</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)	T <sub>∞,o</sub> (°C)	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)
1	37.6	37.3	30	36	38.6	39.0	40.6	57.7	59.0
2	37.2	37.5	32	36	38.4	39.2	41.3	57.6	59.2
3	37.1	37.6	32	37	38.7	39.5	41.6	57.6	59.1
	37.30	37.47	31.33	36.33	38.57	39.23	41.17	57.63	59.10

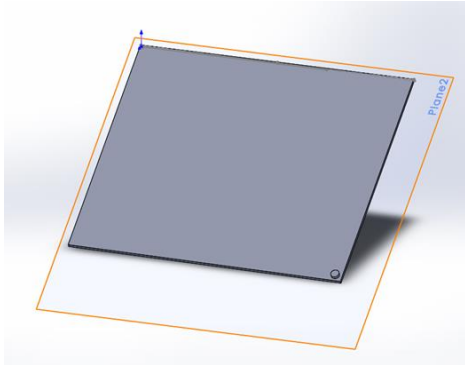
Tabel 4. Hasil pengukuran tanggal 4 November 2015

No	Tidak mengalir					Normal			
	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>w,i</sub> (°C)	T <sub>w,o</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)	T <sub>∞,o</sub> (°C)	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)
1	38.3	40.3	-	-	41.6	39.2	40.2	57.8	59.3
2	38.6	38.7	-	-	40.8	39.6	41.2	58.0	59.6
3	38.3	38.4	-	-	40.0	39.3	41	57.8	59.4
	38.40	39.13	31	36	40.80	39.37	40.80	57.87	59.43
No	Mengalir					Normal			
	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>w,i</sub> (°C)	T <sub>w,o</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)	T <sub>∞,o</sub> (°C)	T <sub>∞,i</sub> (°C)	T <sub>s,1</sub> (°C)	T <sub>s,2</sub> (°C)
1	37.0	37.6	31	36	38.4	39.1	41.5	57.5	59.2
2	37.3	37.0	31	36	38.4	38.9	40.1	57.4	58.9
3	37.0	37.6	31	37	37.9	39.2	39.8	57.6	59.1
	37.10	37.40	31.00	36.33	38.23	39.07	40.47	57.50	59.07

Dalam tiga hari pengambilan data. Rata-rata suhu air pada outlet yang didapatkan adalah 36.33°C. Suhu ruangan model dengan passive cooling memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan model tanpa passive cooling. Passive cooling dengan air mengalir memiliki penurunan suhu yang paling rendah dengan nilai 3.4°C. Untuk passive cooling dengan air tidak mengalir memiliki nilai 2.37°C. Perbedaan penurunan suhu pada passive cooling air mengalir dengan air tidak mengalir sebesar 1.04°C. Perbedaan yang tidak terlalu besar ini dikarenakan bentuk aliran kurang baik. Terdapat bagian air yang tidak mengalir dengan baik. Aliran yang tidak mengalir dengan baik mengakibatkan perpindahan panas tidak jauh berbeda dengan air tidak mengalir.

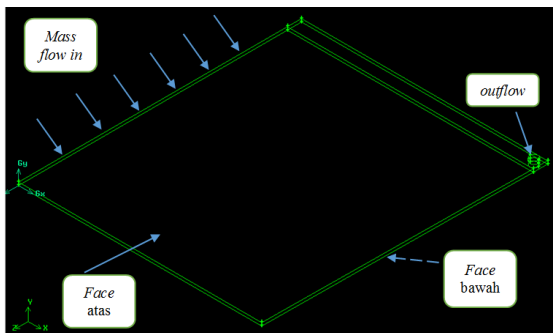
- **Simulasi**

Pembuatan simulasi diawali dengan menggambarkan ruang dalam penutup atap. Ruang dalam digambarkan dengan menggunakan *software* Solidworks. Solidworks digunakan sebagai sarana bantu untuk membuat geometri sistem. Hasil pembuatan geometri sistem pada Solidworks dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Bentuk solid ruang aliran air pendingin

*Operation zone* yang ditentukan pada *software* Fluent ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Operation zone

Dalam pengaturan simulasi, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Aspek tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Setting simulasi

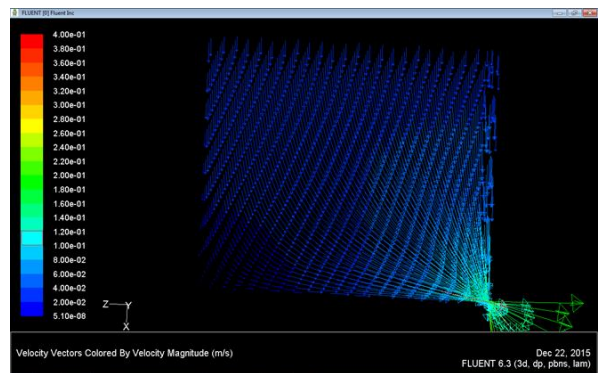
Aspek	Pengaturan
<b>Solver</b>	Pressure based, 3D, steady
Model ( <i>Viscous Model</i> )	Laminar
Material	Water-liquid; $\rho=998,23\text{kg/m}^3$ ;
Kondisi Operasi ( <i>Operating Condition</i> )	$p_{\text{atm}}=10135\text{Pa}$ ; $g=9,8\text{m/s}$
Inisiasi ( <i>Initialize</i> )	Mass Flow Inlet

Pada pengaturan *Boundary condition*. *Face* bawah dikondisikan memiliki suhu yang sama seperti pada saat dilakukan percobaan. Suhu yang digunakan adalah suhu pada permukaan terluar dari kalsi *board* dengan nilai  $58^{\circ}\text{C}$  atau  $331\text{K}$ . Suhu dan debit air disesuaikan dengan hasil pengukuran pada saat percobaan. Suhu air sebelum masuk *inlet* sebesar  $304\text{K}$  dengan debit air  $0.24\text{ kg/s}$ .

- **Hasil Simulasi**

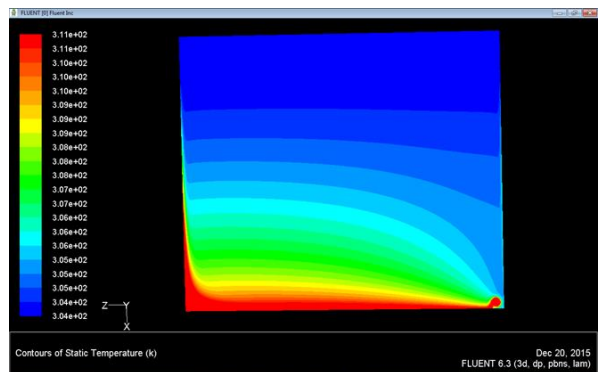
Plane -1 dibuat berada diantara *face* atas dan *face* bawah. Jarak antara *face* bawah dengan plane-1 sebesar  $0.005\text{ m}$ . Dimana dapat dinyatakan posisi plane-1 berada pada tengah aliran.

Dengan melihat *vector* kecepatan air pada plane-1. Kecepatan air cukup konstan terjadi pada bagian dekat dengan *inlet*. Peningkatan kecepatan terjadi secara bertahap menuju *outlet* yang berada pada bagian kanan bawah. Sedangkan pada bagian kiri bawah. Kecepatan fluida semakin lama menurun hingga menjadi nol. Tidak ada kecepatan pada ujung bagian kiri bawah menunjukkan bahwa air tidak mengalir pada lokasi tersebut.



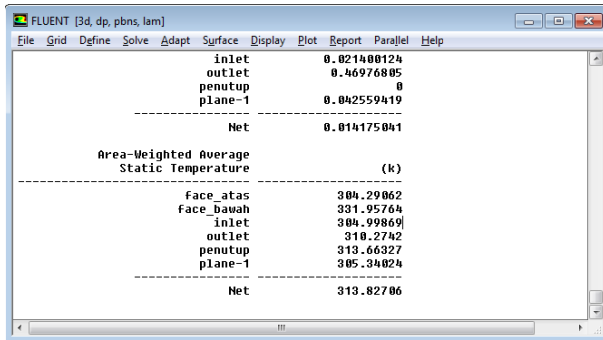
Gambar 10. Vector kecepatan aliran air pada plane-1

Dengan melihat kontur *static temperature* pada plane-1. Perubahan suhu terjadi dari *inlet* hingga menuju *outlet*. Suhu yang tinggi dapat ditemukan pada bagian kiri bawah. Hal ini dikarenakan pada daerah kiri bawah alirannya lebih rendah bila dibandingkan dengan bagian kanan bawah yang dekat dengan *outlet*.



Gambar 11. Kontur static temperature pada plane-1

Dalam simulasi ini sumber kalor berasal dari *face* bawah dengan suhu  $331.95\text{K}$ . Air yang digunakan memiliki suhu awal senilai  $304.9\text{K}$ . Dengan dilakukan simulasi, suhu air yang keluar dari sistem dapat diketahui. Nilai suhu tersebut adalah  $310.274\text{K}$  atau  $37.274^{\circ}\text{C}$ .

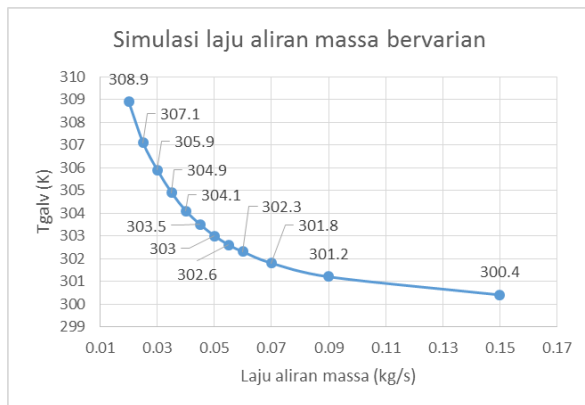


Gambar 12. Static temperature report

Suhu air yang didapatkan dari simulasi dan percobaan berbeda. Suhu air yang didapatkan dari percobaan bernilai 36.33°C. Perbedaan suhu antara hasil simulasi dengan percobaan adalah 0.94°C. Perbedaan ini terjadi dikarenakan pada lokasi percobaan angin berhembus cukup kencang. Sedangkan pada simulasi hembusan angin tidak diperhitungkan. Hembusan angin membuat suhu akrilik menurun sehingga dapat mempengaruhi suhu air pada outlet.

- **Hasil Simulasi dengan Laju Aliran Massa Bervarian**

Simulasi dilakukan kembali dengan mengatur sumber kalor berasal dari *face atas* dengan suhu 332K. Simulasi dilakukan sebanyak 8 kali dengan nilai laju aliran massa yang berbeda-beda. Suhu air yang digunakan sebesar 300K



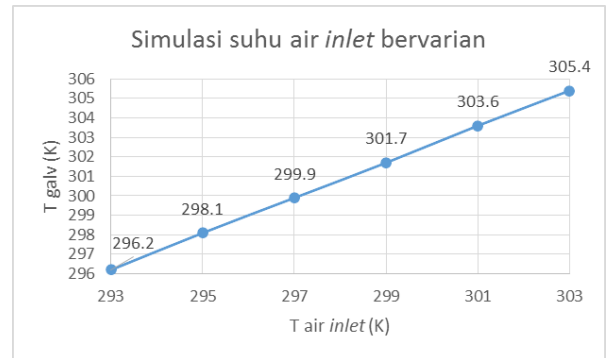
Gambar 13. Hasil simulasi : Tgalv fungsi laju aliran massa

Dalam grafik pada gambar 13 dapat diamati bahwa dengan meningkatkan laju aliran massa suhu galvalum semakin menurun. Pengaruh laju aliran massa tidak terlalu berpengaruh secara signifikan pada saat nilai laju aliran massa memasuki angka 0.04 kg/s. Menurut hasil eksperimen, perbedaan suhu galvalum dengan suhu ruangan adalah 1.1°C. Dapat diasumsikan bahwa untuk mendapatkan suhu ruangan 28°C atau 301K dibutuhkan suhu galvalum dengan suhu 302.1K. Menurut hasil simulasi yang ditunjukkan dalam grafik 5.1. Suhu galvalum 302.6K didapatkan saat laju aliran masa sebesar 0.055 kg/s. Dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan suhu ruangan dengan suhu 301K

dibutuhkan laju aliran massa sebesar 0.055 kg/s

- **Hasil Simulasi dengan Suhu Air Inlet Bervarian**

Simulasi dilakukan sebanyak 6 kali dengan suhu air *inlet* yang berbeda-beda. Laju aliran massa yang digunakan sebesar 0.055 kg/s

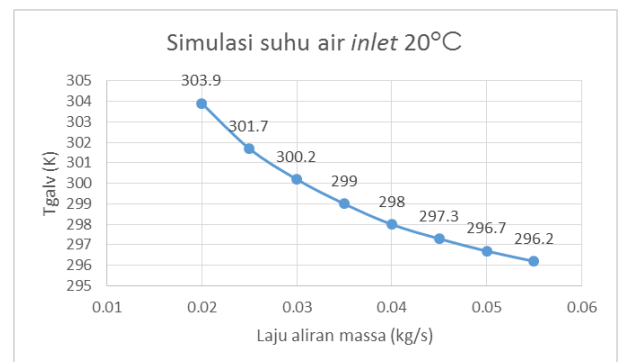


Gambar 14. Hasil simulasi : Tgalv fungsi Tair inlet

Dalam gambar 14 dapat diamati bahwa dengan menurunkan suhu air pada *inlet* suhu galvalum semakin menurun. Hasil simulasi ini menyatakan bahwa untuk mendinginkan suhu ruangan hingga 301K, suhu air *inlet* yang digunakan cukup sebesar 295K. Air dengan suhu 293K memberikan pendinginan yang paling bagus tetapi berlebihan untuk laju aliran massa sebesar 0.055 kg/s.

- **Hasil Simulasi dengan Suhu Air Inlet 20°C**

Simulasi dilakukan sebanyak 8 kali dengan laju aliran massa yang berbeda-beda. Suhu air *inlet* yang digunakan sebesar 20°C atau 293K.



Gambar 15. Hasil simulasi : Tgalv fungsi laju aliran massa dengan suhu air inlet 20°C

Dalam gambar 15 dapat diamati bahwa suhu ruangan 301K dicapai disaat laju aliran massa yang digunakan sebesar 0.025 kg/s dengan suhu air 293K. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa dengan menggunakan air yang bersuhu rendah, laju aliran massa yang dibutuhkan juga semakin rendah.

Untuk mendapatkan nilai Tgalv 301K dibutuhkan nilai laju aliran massa air sebesar 0.055 kg/s dan 0.025 kg/s dengan suhu air 300K dan 293K

Tabel 6. Nilai  $\dot{m}$  dan  $T_{air}$ 

T <sub>galv</sub> (K)	$\dot{m}$ (kg/s)	T <sub>air</sub> (K)
301	0.055	27
	0.020	20

#### 4. Kesimpulan

Setelah melakukan eksperimen pada model *Stevenson screen* dengan *passive cooling*, suhu ruangan menjadi lebih dingin. Penurunan suhu tertinggi didapatkan pada saat air dalam kondisi mengalir dengan nilai 3.4°C. Sedangkan untuk *passive cooling* air tidak mengalir memiliki penurunan suhu sebesar 2.37°C. Perbedaan antara *passive cooling* air mengalir dengan *passive cooling* air tidak mengalir tidak jauh berbeda dengan nilai 1.04°C.

Hasil simulasi *vector* kecepatan air pada saluran pendingin air menunjukkan terdapat bagian yang tidak memiliki kecepatan. Tidak memiliki kecepatan mengindikasikan bahwa terdapat bagian saluran air yang tidak dapat mengalirkan air. Dapat disimpulkan bahwa saluran air pada penelitian ini kurang baik.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah *Passive cooling* air mengalir memberikan penurunan suhu yang lebih baik dengan menggunakan desain aliran air yang baik. Suhu ruangan 28°C dicapai dengan menggunakan laju aliran massa air sebesar 0.055 kg/s dan 0.025 kg/s dengan suhu air 300K dan 293K.

#### 5. Daftar Pustaka

1. Incropera, Frank P., et al. (2007). *Fundamental of heat and mass transfer* (7th ed.). John Wiley and Sons.
2. Eicker, U., (2009). *Low energy cooling for sustainable buildings*. John Wiley and Sons.
3. Research & Design (1979). *Passive cooling*. AIA Research Corporation
4. Wignjosoebroto, Sritomo. (2006.). *Pengantar Teknik dan Manajemen Industri*. Surabaya: Guna Widya.
5. Kharrufa, Sahar N., et.al, (2006). Roof pond cooling of buildings in hot arid climates. *Building and Environment*, 43(2008), 82-89.
6. Cheikh, Hamida B., et.al. (2003). Passive cooling by evapo-reflective roof for hot dry climates. *Renewable Energy*, 29(2004), 1877-1886
7. Jain, N., (2005). Modeling of solar passive techniques for roof cooling in arid regions. *Building and Environment*, 41(2006), 277-287.
8. Kamal, Mohammad A., (2012). An overview of passive cooling techniques in buildings: design concepts and architectural interventions. *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture*, Vol. 55(2012).
9. Keith, V., (2010). *Clip-on Architecture: Reforesting Cities*. *Urban Omnibus*. Retrieved February 26, 2015, from <http://urbanomnibus.net>