

Simulasi CFD Fluida Udara pada *Reefer Container Yard* yang Menggunakan Sistem *Solar Panel Roof*

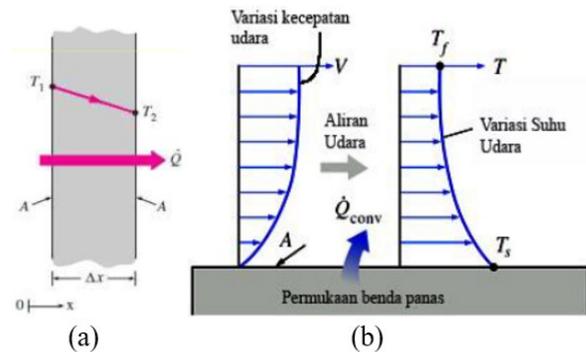
Ericson Posmanov Martua Silalahi, Sutopo Purnomo Fitri, dan Achmad Baidowi
Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya
e-mail: sutopopf@its.ac.id

Abstrak—Perdagangan peti kemas yang meningkat setiap tahunnya membuat pelabuhan harus meningkatkan fasilitas bongkar muat mereka. Adanya isu mengenai greenport yang mengharuskan penghematan energi serta pengurangan produksi CO₂ juga mempengaruhi perkembangan pelabuhan. Oleh karena itu, selain menambah alat bongkar muat, pelabuhan juga mulai mengelektrofikasi hampir seluruh alat bongkar muat yang dimiliki. Akibatnya konsumsi listrik akan semakin meningkat. Konsumsi listrik paling besar pada pelabuhan ada pada lahan penumpukan *reefer container*. Untuk menanggurangi penggunaan energi listrik tersebut, maka diaplikasikan *solar panel roof* menjadi alat untuk memanfaatkan matahari sebagai sumber alternatif energi listrik. Selain sebagai alat alternatif penghasil energi listrik, dengan adanya atap yang dipasangkan pada lahan penumpukan *reefer container* membuat panas pada dinding kontainer menjadi berkurang sehingga harapannya konsumsi listrik pada lahan penumpukan *reefer container* juga dapat berkurang. Pada studi ini disimulasikan penggunaan solar panel roof pada *reefer container yard* dengan bantuan aplikasi CFD untuk melihat persebaran panas pada fluida udara yang ada disekitar kontainer sebelum dan sesudah diaplikasikan. Selain itu pada studi ini juga dilihat penghematan yang terjadi setelah mengaplikasikan solar panel roof. Pada analisa transient thermal, udara sekitar kontainer berpendingin yang menggunakan atap dan tidak memiliki selisih rata-rata sebesar 21°C. Pada analisa *fluid flow*, udara sekitar kontainer berpendingin yang menggunakan atap dan tidak memiliki selisih sebesar 26,482°C. Pada simulasi tanpa atap, temperatur udara sekitar kontainer berpendinginnya adalah 57,532°C pada analisa *transient thermal* dan 59,872°C pada analisa *fluid flow*. Pada simulasi dengan atap, temperatur udara sekitar kontainer berpendinginnya adalah 31,808°C pada analisa *transient thermal* dan 33,39°C pada analisa *fluid flow*. Penghematan konsumsi energi yang didapat ketika mengaplikasikan *solar panel roof* pada *container yard* adalah sebesar 36,57% pada tier 4, 31,08% pada tier 3, 31,04% pada tier 2, dan 31,72% pada tier 1.

Kata Kunci—CFD, *Reefer Container*, *Solar Panel Roof*.

I. PENDAHULUAN

PERDAGANGAN peti kemas mengalami perkembangan yang cukup besar tiap tahunnya. Dibandingkan 2016, pada tahun 2017 terjadi peningkatan sebesar 6%. Peningkatan ini adalah peningkatan tertinggi dari 5 tahun terakhir. Indonesia sendiri menyumbang 1,67% dari seluruh peningkatan yang terjadi di dunia. Diperkirakan bahwa perdagangan di bidang maritime akan terus meningkat hingga 2,6% pada tahun 2019 bahkan akan terus tumbuh dengan nilai 3,4% dalam kurun waktu 2019-2024 [1].



Gambar 1. Perpindahan Panas (a) Konduksi dan (b) Konveksi

Dengan adanya peningkatan ini, maka pelabuhan perlu melakukan pengembangan pada infrastruktur dan fasilitas pelabuhan agar dapat terus bersaing. Ditambah dengan adanya isu greenport yang membuat penambahan-penambahan infrastruktur dan fasilitas yang harus lebih ramah lingkungan dan minim polusi terutama emisi karbon. Oleh karena itu banyak perlengkapan bongkar muat di pelabuhan yang mulai di-elektrofikasi. Hal ini memang mengurangi emisi karbon dari mesin diesel, namun akan meningkatkan penggunaan listrik pelabuhan [2].

Salah satu bagian penting dari konsep greenport ialah penghematan energi listrik. Kebutuhan listrik pelabuhan terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu: halaman penyimpanan pendingin, crane, listrik penyewa, penerangan halaman, bangunan dan kantor. Menurut HICCT pada tahun 2011 dan 2012 konsumsi listrik perbulan adalah 475 MWh dan dalam setahun mencapai 6.063.903 MWh. Konsumsi paling tinggi ialah halaman penyimpanan pendingin sebesar 49%. Crane dan listrik penyewa mencapai 20% dan 22%. Sisanya untuk penerangan dan kantor mengkonsumsi sebesar 5% dan 4% [2].

Kebutuhan listrik yang banyak ini perlu dikurangi. Selain agar pelabuhan bisa lebih produktif dan kompetitif, hal ini juga perlu dilakukan demi meningkatkan keberlanjutan dari pelabuhan tersebut.

Pada studi ini akan menganalisa fluida udara di sekitar *reefer container* pada sistem *solar panel roof* yang diaplikasikan pada lahan penumpukan peti kemas berpendingin. Analisa ini dilakukan untuk melihat seberapa besar penghematan yang terjadi.

Konduksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi akibat perbedaan gradien temperatur dalam media yang diam. Selain benda padat, konduksi juga dapat melalui media liquid dan gas. Pada liquid dan gas, konduksi terjadi

Tabel 1.
Intensitas Solar Pengukuran

Jam	Intensitas Solar (W/m2)					Temperatur Sekitar
	N	S	W	E	Atas	
09.45	458,8	96,6	78,1	287	701,3	33,9
10.00	429,8	89,9	77,8	277,6	691,2	34,1
10.15	434,9	80,1	80,1	227,5	703,2	41,4
10.30	455,3	84,1	77,6	180,5	776,5	40,8
10.45	463,4	81,4	78,1	114,5	814,6	41,9
11.00	444	84,5	66,8	98,6	847,7	41,5
11.15	430,1	82,1	71,5	91,4	846,4	43,5
11.30	450,1	81,3	67,8	93,1	845,7	45,8
11.45	427,1	83,5	67,3	88,7	824,1	45,1
12.00	405,9	77,9	88,2	88,9	817,2	41,7
12.15	431,8	79,6	132,4	93,6	827,8	46
12.30	423,8	79,8	218,9	94,6	818,2	45,4
12.45	433,1	80,3	260,4	108,1	827,4	47,4
13.00	415,7	80,8	244,6	108	815,2	46,5
13.15	405,1	79,7	247,6	103,2	816,5	47,8
13.30	415,2	75,6	382,6	91,2	746,4	45,4
13.45	421,9	65	467,1	74,8	686,2	44,3
14.00	329,6	42,5	450,7	62,5	586,6	43,8
14.15	319,1	52,7	520,5	50,3	568,5	42,2
14.30	310,2	45,6	420,2	51,2	556,5	41,3
14.45	258,4	58,5	368,1	54,5	254,4	40,2
15.00	243	58,2	352,3	55,5	265,5	39,3
15.15	294,3	43,7	478,3	53,4	337,1	39,1
15.30	263,2	42,4	477,7	53,2	320,1	39,1

Tabel 2.
Hasil Perhitungan Temperatur

Jam	Temperatur Perhitungan (°C)					
	N	S	W	E	Atas	Roof
09.45	42,8	44	35,5	39,5	47,2	85,2
10.00	42,4	35,9	35,6	39,5	47,2	84,7
10.15	49,2	42,9	42,9	45,6	53,9	90,1
10.30	49,1	42,4	42,3	44,2	54,6	93,8
10.45	50,2	44,9	43,3	44	56,2	96,5
11.00	49,5	43,1	42,7	44,9	56,4	98,1
11.15	51,1	45	44	45,2	58,1	99,2
11.30	53,6	47,2	47	47,5	60,1	100,6
11.45	52,6	46,6	46,3	46,7	59,1	99,1
12.00	49	43,1	43,3	43,3	56	96,6
12.15	53,5	47,4	48,4	47,7	59,9	99,8
12.30	52,8	46,8	49,3	47,1	59,3	98,9
12.45	54,8	48,8	51,9	53,6	61,2	100,7
13.00	53,7	47,9	50,8	48,4	60,2	99,5
13.15	54,7	49,2	52,1	49,6	61,4	100,4
13.30	52,7	46,7	52,1	47	58,2	95,1
13.45	51,7	45,5	52,5	45,6	56,2	91
14.00	49,7	44,6	51,8	44,9	54,1	85
14.15	48	43,2	51,5	43,1	52,3	82,8
14.30	46,9	42,1	48,9	42,2	51,3	81,4
14.45	45	41,3	46,9	41,2	44,9	60,5
15.00	43,9	40,4	45,8	40,3	44,3	60,5
15.15	44,6	39,9	47,9	40,1	45,4	65,5
15.30	44	39,8	47,9	40,1	45,1	64,3

ketika adanya tabrakan dan penyebaran dari molekul yang bergerak secara acak. Konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada permukaan benda padat ke fluida yang ada disekitarnya. Ketika kecepatan aliran fluida semakin cepat, maka tingkat perpindahan panas secara konveksi Radiasi merupakan perpindahan panas yang terjadi antara benda. Radiasi dapat terjadi karena adanya pancaran foton-foton antar permukaan melalui gelombang elektromagnetik. Setiap benda memiliki radiasinya masing-masing dan intensitasnya tergantung dari sifat dan temperatur permukaan benda itu sendiri [3].

A. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational fluid dynamics (CFD) adalah metode perhitungan yang memanfaatkan kontrol dimensi luas dan volume. Memakai bantuan komputasi dalam perhitungan pada setiap elemen pembagiannya. Prinsip computational fluid dynamics (CFD) adalah suatu ruang yang berisi fluida. Dilakukan perhitungan dengan membagi-bagi menjadi beberapa bagian, yang dinamakan dengan sel dimana proses pembuatannya disebut dengan meshing. Saat perhitungan pada setiap titik kontrol, sel-sel tersebut akan menjadi kontrolnya. Perhitungan dilakukan dengan adanya boundary condition dan domain yang sudah ditentukan. Proses perhitungan dalam computational fluid dynamics (CFD) secara umum terdiri dari tiga tahapan utama yaitu: preprocessor, prosesor dan post prosesor [4].

II. METODOLOGI

A. Studi Literatur

1. Metode pengumpulan data yang diperoleh dari buku, arsip, majalah, artikel, jurnal, dan melalui internet.

2. Dosen yang menguasai permasalahan yang sedang membuat studi ini.

B. Pengambilan Data di Perusahaan

Mengumpulkan data temperatur kontainer, kecepatan angin, intensitas solar dari pengambilan langsung di PT. Terminal Petikemas Surabaya.

C. Analisa Data, Perhitungan dan Simulasi

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan digunakan untuk menjalankan simulasi serta digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi.

Simulasi dilakukan dengan 2 jenis analisa. Analisa transient thermal dilakukan untuk melihat perubahan temperatur dari waktu ke waktu. Dilakukan 2 simulasi, yaitu tanpa atap dan dengan atap. Analisa fluid flow dilakukan untuk melihat pengaruh angin pada simulasi. Dilakukan 2 simulasi, yaitu tanpa atap dan dengan atap. Setelah melakukan simulasi, hasil antara simulasi tanpa atap dan dengan atap digunakan untuk menghitung penghematan konsumsi energi listrik dengan cara membandingkan jumlah energi yang masuk kedalam kontainer.

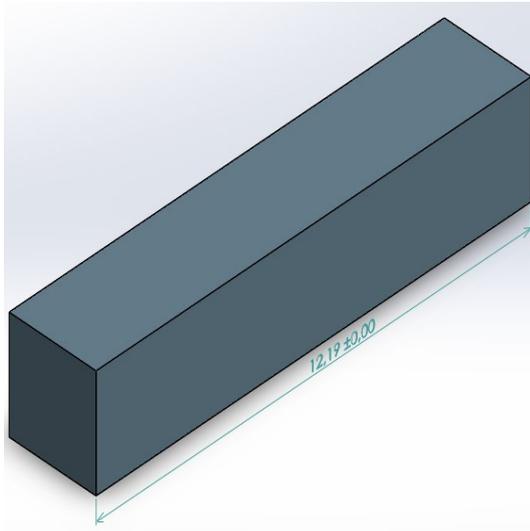
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Temperatur

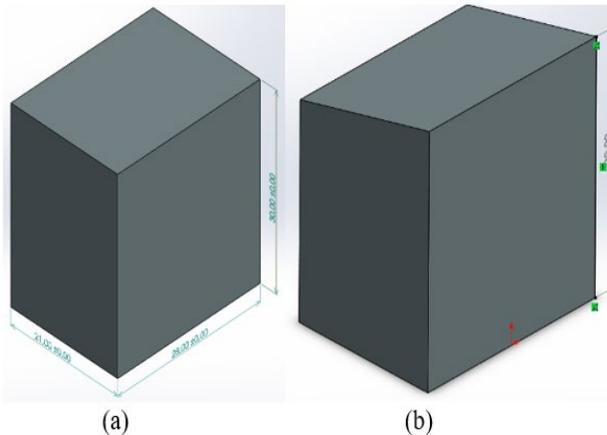
Perhitungan temperatur yang akan digunakan saat simulasi menggunakan persamaan (1) dengan menggunakan data intensitas solar pada Tabel 1 yang didapat dari hasil pengukuran. Hasil perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2. Untuk temperatur roof menggunakan temperatur pada bagian atas dan bahan yang digunakan diganti menjadi stainless steel.

Tabel 3.
Dimensi Kontainer

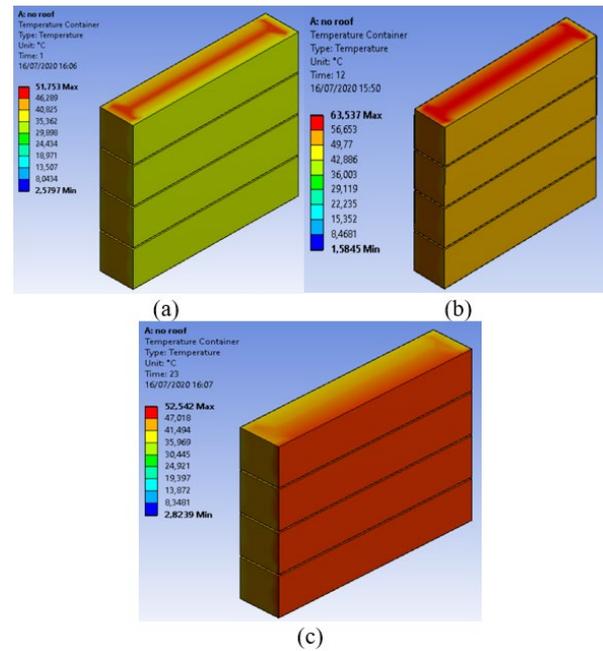
Bagian Kontainer		Panjang (m)
Panjang		12,192
Lebar		2,438
Tinggi		2,591
Ketebalan Dinding	<i>Stainless Steel</i>	0,08
	<i>Polyurethane</i>	0,9
	<i>Aluminium</i>	0,08



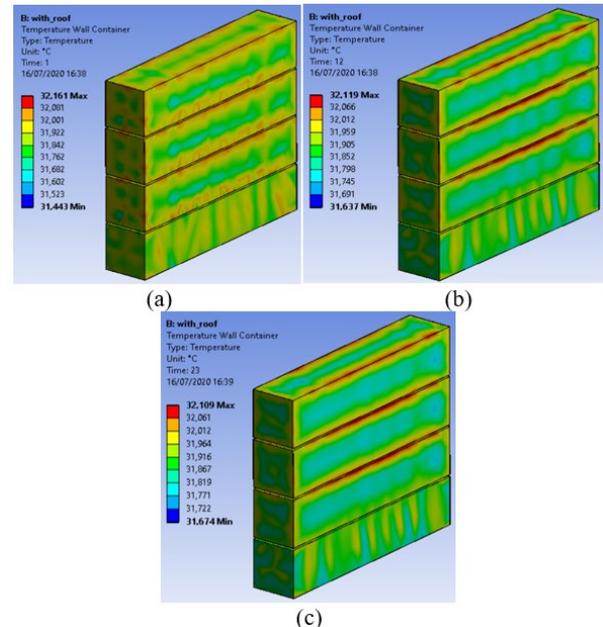
Gambar 2. Model Kontainer



Gambar 3. Domain Udara (a) Tanpa Atap dan (b) dengan Atap



Gambar 4. Hasil Simulasi (a) pagi, (b) siang, dan (c) sore



Gambar 5. Hasil Simulasi (a) pagi, (b) siang, dan (c) sore

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{sun} \alpha_{sun} = \alpha_{low temp} \sigma(T^4 - T_{surr}^4) + h(T - T_{surr}) \quad (1)$$

$\left(\frac{q}{A}\right)_{sun}$ = Intensitas Solar

α_{sun} = Absorptivitas Bahan

$\alpha_{low temp}$ = Absorptivitas Bahan pada *low temp*

σ = Tetapan Boltzman

T = Temperatur Permukaan

h = koefisien konveksi

T_{surr} = Temperatur Udara Sekitar

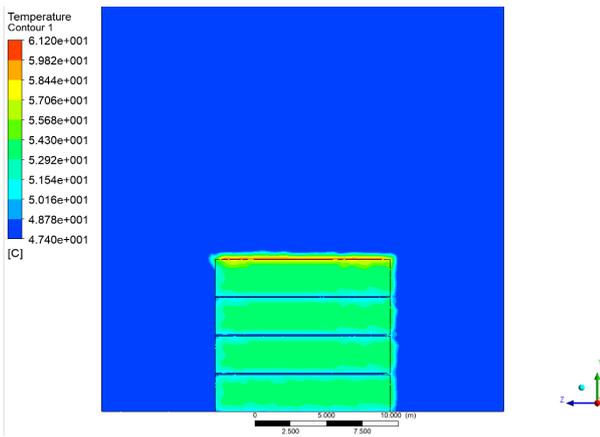
B. Simulasi

Simulasi menggunakan 2 jenis analisa yaitu analisa *transient thermal* dan *fluid flow*. Sebelum melakukan simulasi dilakukan modelling terlebih dahulu. *Modelling* dilakukan dengan bantuan software *solidworks*. Detail dimensi dan tampilan dari kontainer dapat dilihat pada Tabel

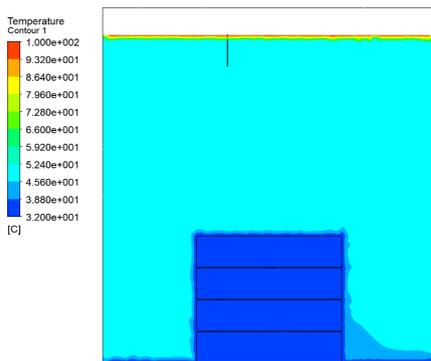
3 dan Gambar 2 Kemudian kontainer dibuat menjadi 4 tumpuk/*tier* sesuai dengan kondisi di PT. Terminal Petikemas Surabaya dengan jarak antar kontainer sebesar 0,1 meter. Langkah terakhir adalah membuat domain udara dengan dimensi 21 x 28 x 30 meter untuk simulasi tanpa atap dan memberi kemiringan sebesar 12° pada bagian atap untuk simulasi dengan atap. Hal ini untuk menyesuaikan desain atap yang sudah dibuat oleh Nikolas sebagai pembuat desain *solar panel roof*. Bentuk domain udara dapat dilihat pada Gambar 3.

1) Analisa Transient Thermal

Analisa ini dilakukan untuk melihat perubahan temperatur dari waktu ke waktu. Analisa ini terbagi menjadi 4 tahap inti, yaitu *geometry*, *meshing*, *setup*, dan *result*. Dilakukan 2 simulasi, yaitu tanpa atap dan dengan atap. Simulasi tanpa atap menggunakan temperatur yang ada pada Tabel 2. Sehingga setelah dilakukan running maka hasilnya dapat



Gambar 6. Hasil Simulasi Tanpa Atap



Gambar 7. Hasil Simulasi dengan Atap.

Tabel 4.
Rasio Hasil Penghematan

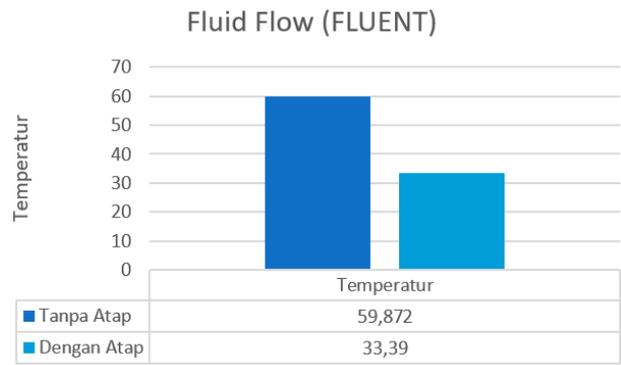
Kontainer	Heat Flow Pada Dinding Kontainer		Rasio Penghematan (%)
	Tanpa Atap (Watt)	Dengan Atap (Watt)	
Tier 1	1730,72	1181,66	31,72
Tier 2	1715,5	1183,02	31,04
Tier 3	1715,52	1182,38	31,08
Tier 4	1863,67	1182,21	36,57

dilihat seperti yang ada pada Gambar 4. Dapat dilihat perubahan kontur warna pada dinding kontainer mulai dari pagi hingga sore. Hal ini sudah sesuai dengan kondisi real yang dipengaruhi oleh pergerakan dari matahari.

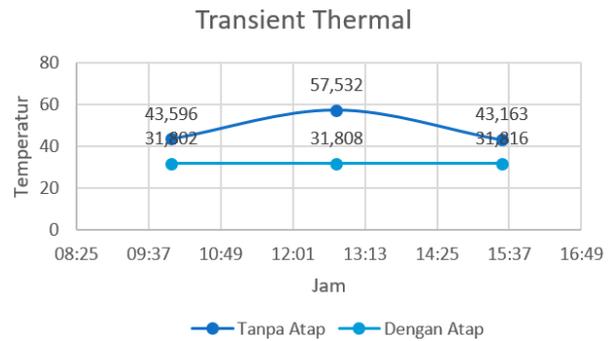
Untuk simulasi dengan atap, dilakukan dengan model dengan atap. Untuk pengaturan temperatur kontainer dihilangkan. Temperatur hanya diberikan pada bagian atap dan dinding domain udara. Nilai yang digunakan adalah hasil perhitungan pada Tabel 2 pada bagian roof untuk bagian atap dan untuk temperatur domain udara diberikan sesuai dengan temperatur udara sekitar pada Tabel 1. Untuk hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 5. Dapat dilihat temperatur tidak banyak berubah dari pagi hingga sore. Hal ini terjadi karena adanya atap yang menutupi kontainer sehingga temperatur dinding kontainer menjadi konstan pada nilai 31°C hingga 32°C.

2) Analisa Fluid Flow

Analisa ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh adanya angin pada simulasi yang dilakukan. Analisa ini terbagi menjadi 4 tahap utama, yaitu *geometry*, *meshing*, *setup*, dan *post-processing*. Simulasi yang dilakukan ada 2, yaitu tanpa atap dan dengan atap. Pada simulasi tanpa atap model yang digunakan adalah model



Gambar 9. Perbandingan Simulasi Tanpa Atap dan dengan Atap pada Analisa Fluid Flow



Gambar 8. Perbandingan Simulasi Tanpa Atap dan dengan Atap pada Analisa Transient Thermal.

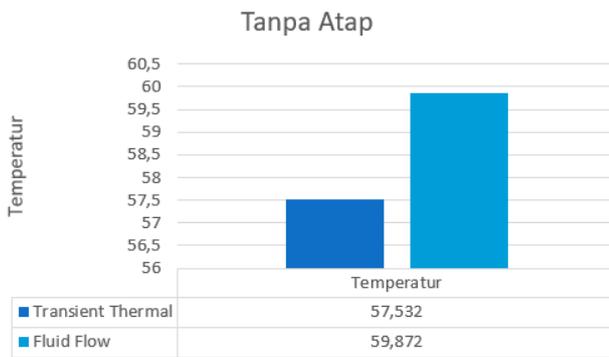
tanpa atap. *Meshing* menggunakan jenis *fine meshing*. Setelah itu pada bagian *setup*, mengaktifkan energy equation dan aliran yang dipilih adalah *K-ε*. Untuk *boundary condition* yang dipilih adalah hasil perhitungan pada jam 12.45 pada Tabel 2. Kecepatan angin yang digunakan adalah 3,6 m/s. Hasil temperatur pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 6. dapat dilihat bahwa bagian kiri dimana merupakan arah datangnya angin, temperaturnya lebih rendah dibanding bagian kanan. Hal ini terjadi karena adanya panas dari bagian kiri yang terbawa ke bagian kanan oleh angin.

Untuk simulasi dengan atap tahapannya sama. Perbedaan terdapat pada pengaturan *boundary condition*. Temperatur yang digunakan hanya pada bagian atap sesuai dengan nilai temperatur pada Tabel 2 pada jam 12.45. kecepatan angin tetap sama yaitu 3,6 m/s. hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 7. Sama seperti simulasi tanpa atap, adanya angin menyebabkan bagian kiri temperaturnya lebih rendah dibanding bagian kanan. Dapat dilihat juga pada bagian atap dimana panas dari atap tidak mempengaruhi kontainer sama sekali. Panas yang turun hanya sejauh kira-kira 1 meter saja.

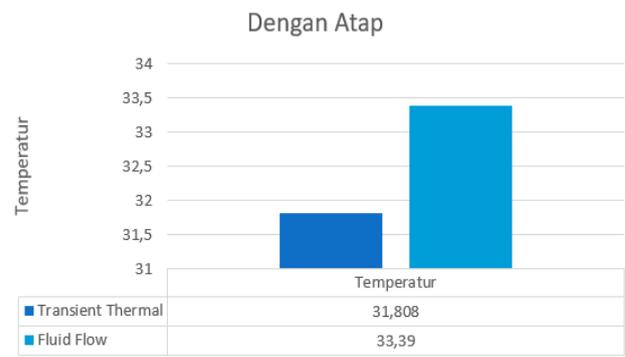
C. Analisa Grafik

Setelah selesai melakukan simulasi dan validasi, selanjutnya dilakukan analisa pada hasil simulasi yang berupa kondisi distribusi panas udara disekitar kontainer. Bagian yang dilakukan analisa adalah pada titik 5 cm diatas kontainer tier 4 di bagian tengah pada analisa *transient thermal* dan *fluid flow*.

Berdasarkan Gambar 8, pada simulasi tanpa atap nilai temperaturnya lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur yang menggunakan atap. Pada simulasi tanpa atap, temperatur pada pagi hari adalah 43,596°C, lalu naik menjadi 57,532°C pada siang hari dan turun lagi menjadi 43,163°C pada sore hari. Sementara itu pada simulasi dengan atap,



Gambar 10. Perbandingan Analisa Transient Thermal dan Fluid Flow pada Simulasi Tanpa Atap



Gambar 11. Perbandingan Analisa Transient Thermal dan Fluid Flow pada Simulasi dengan Atap

mulai dari pagi hari hingga sore hari, temperaturnya konstan pada nilai 31,8°C. Hal ini menunjukkan dengan adanya atap, panas dari udara yang ada pada sekitar dinding kontainer bisa turun sebesar rata-rata 21°C.

Pada analisa *fluid flow*, simulasi dilakukan hanya pada satu waktu yaitu pada siang hari. Maka hasil dari simulasinya dapat dilihat pada Gambar 9. Pada lokasi 5 cm diatas kontainer tier 4, nilai temperatur simulasi tanpa atap adalah sebesar 59,872°C. Sementara pada simulasi dengan atap, temperaturnya adalah sebesar 33,39°C. Dari grafik tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan atap, temperatur udara pada sekitar kontainer bisa turun sebesar 26,482°C. Penurunan temperatur ini lebih besar dibanding pada analisa *transient thermal*.

Pada Gambar 10, dapat dilihat perbandingan temperatur pada udara diatas kontainer antara analisa *transient thermal* dengan *fluid flow* pada simulasi tanpa atap. Temperatur pada analisa *transient thermal* adalah 57,532°C dan pada analisa *fluid flow* adalah 59,872°C. Temperatur pada analisa *fluid flow* lebih tinggi dibandingkan analisa *transient thermal*. Hal ini mungkin terjadi karena lokasi perbandingannya adalah pada bagian tengah kontainer dimana akibat adanya angin pada analisa *fluid flow* menyebabkan udara panas yang ada dari sumber angin terakumulasi hingga ke bagian tengah bahkan belakang kontainer.

Pada Gambar 11, dapat dilihat perbandingan temperatur pada udara diatas kontainer antara analisa *transient thermal* dengan *fluid flow* pada simulasi dengan atap. Temperatur pada analisa *transient thermal* adalah 31,808°C dan pada analisa *fluid flow* adalah 33,39°C. Temperatur pada analisa *fluid flow* lebih tinggi dibandingkan analisa *transient thermal*. Hal ini mungkin terjadi karena lokasi perbandingannya adalah pada bagian tengah kontainer dimana akibat adanya angin pada analisa *fluid flow* menyebabkan udara panas yang ada dari sumber angin terakumulasi hingga ke bagian tengah bahkan belakang kontainer.

D. Penghematan

Setelah melakukan simulasi dilakukan perhitungan penghematan konsumsi listrik yang didapat setelah menggunakan atap. Penghematan yang didapat merupakan rasio dari konsumsi energi akibat energi panas yang masuk kedalam kontainer. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$RE_{ti} = \frac{(EC_{ti} - EC_b)}{EC_b} \times 100 \tag{2}$$

RE_{ti} = Rasio konsumsi energi

EC_{ti} = Konsumsi energi dari kontainer yang menggunakan atap

EC_b = Konsumsi energi dari kontainer yang tidak menggunakan atap

Untuk mendapatkan nilai laju perpindahan panas pada dinding kontainer, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$q_{wall} = K \times A \times \Delta T \tag{3}$$

K = Koefisien perpindahan panas total

A = Luas Permukaan

ΔT = Perbedaan Temperatur luar dan dalam kontainer

Dimana K dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{1}{\alpha_i + \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_0}} \tag{4}$$

α = koefisien perpindahan panas konveksi

λ = konduktivitas termal bahan

x = ketebalan bahan

Rumus diatas hanya menghitung dari satu sisi kontainer saja, sehingga q dari tiap sisi kontainer perlu di total. Sehingga rumus akhir untuk mencari konsumsinya adalah:

$$Q_{total} = q_{atas} + q_{bawah} + q_{utara} + q_{barat} + q_{timur} + q_{selatan}$$

Sebagai contoh perhitungan dilakukan pada kontainer tier 4 yang tidak menggunakan atap. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\alpha_i = 23 \text{ W/mK}$$

$$x_{pu} = 0,09 \text{ m}$$

$$\alpha_0 = 9 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{pu} = 0,025 \text{ W/mK}$$

$$x_{al} = 0,008 \text{ m}$$

$$x_{steel} = 0,008 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{al} = 204 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{steel} = 60,5 \text{ W/mK}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_0}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{23} + \left(\frac{0,008}{204} + \frac{0,09}{0,025} + \frac{0,008}{60,5} \right) + \frac{1}{9}}$$

$$K = 0,274 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Maka nilai laju perpindahan panas dari sisi bagian atas dari dinding kontainernya adalah:

$$\begin{aligned} q_{\text{atas}} &= K \times A_{\text{atas}} \times \Delta T_{\text{atas}} \\ &= 0,27 \times 29,7 \times 55 \\ &= 447,58 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menghitung total laju perpindahan panas yang masuk kedalam kontainer:

$$\begin{aligned} q_{\text{total}} &= q_{\text{atas}} + q_{\text{bawah}} + q_{\text{utara}} + q_{\text{barat}} + q_{\text{timur}} + q_{\text{selatan}} \\ &= 447,58 + 322,15 + 92,1 + 448,37 + 464,09 + 88,38 \\ &= 1863,67 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan pada setiap kontainer dari tier 1 hingga 4, baik pada simulasi tanpa atap maupun simulasi dengan atap. Setelah mendapatkan nilai q pada setiap kontainer, dilakukan perbandingan laju perpindahan panas pada kontainer antara yang menggunakan atap dengan tidak. Sebagai contoh dilakukan perhitungan pada kontainer tier 4:

$$\begin{aligned} RE_{ti} &= \frac{(EC_{ti} - EC_b)}{EC_b} \times 100 \\ &= \frac{(1182,2 - 1863,67)}{1863,67} \times 100 \\ &= 36,57 \% \end{aligned}$$

Total penghematan yang terjadi pada tiap tier kontainer dapat dilihat pada Tabel 4. Pada kontainer tier 1 sampai 3 penghematan yang terjadi adalah sekitar 31% dan pada tier 4 adalah sebesar 36,57%. Perhitungan rasio dilakukan antara

kontainer yang menggunakan atap dan tidak pada tier yang sama.

IV. KESIMPULAN

Persebaran udara yang terjadi pada simulasi baik yang menggunakan atap maupun tidak baik analisa transient thermal dan fluid flow adalah sebagai berikut:

- Pada analisa transient thermal, udara sekitar kontainer berpendingin yang menggunakan atap dan tidak memiliki selisih rata-rata sebesar 21°C.
- Pada analisa *fluid flow*, udara sekitar kontainer berpendingin yang menggunakan atap dan tidak memiliki selisih sebesar 26,482°C.
- Pada simulasi tanpa atap, temperatur udara sekitar kontainer berpendinginnya adalah 57,532°C pada analisa transient thermal dan 59,872°C pada analisa *fluid flow*.
- Pada simulasi dengan atap, temperatur udara sekitar kontainer berpendinginnya adalah 31,808°C pada analisa transient thermal dan 33,39°C pada analisa *fluid flow*.

Penghematan konsumsi energi yang didapat ketika mengaplikasikan *solar panel roof* pada *container yard* adalah sebesar 36,57% pada tier 4, 31,08% pada tier 3, 31,04% pada tier 2, dan 31,72% pada tier 1.

REFERENCES

- [1] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), "Review of Maritime Transport 2019," New York, USA, 2019.
- [2] M. A. Budiyo and T. Shinoda, "Energy efficiency on the reefer container storage yard; An analysis of thermal performance of installation roof shade," *Energy Reports*, vol. 6, no. Supplement 2, pp. 686–692, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.11.138.
- [3] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 10. ed. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill Higher Education, 2010.
- [4] A. Suprianto, "Unjuk Kerja Kolektor Surya Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Aliran Serpentine Menggunakan CFD Berdasarkan Ketebalan Pelat," Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2018.