

## INVESTIGASI *HEAT STRESS* PADA PEKERJA *WIRING HARNESS* BERDASARKAN *PREDICTED MEAN VOTE (PMV) INDEX* MENGGUNAKAN *CFD* *SIMULATION*

Sugiono<sup>1\*</sup>, Dwi H. Sulistyarini<sup>2)</sup>, Suluh E. Swara<sup>3)</sup>, Khairan A. Mahadika<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. M.T. Haryono 167, Malang 65145.

\*Email: sugiono\_ub@ub.ac.id

### Abstrak

Jenis Keberadaan tingkat *Thermal comfort* yang dirasakan oleh pekerja pada suatu perusahaan sangat mempengaruhi performansinya. Berdasarkan survey awal, didapatkan bahwa bagian ruang produksi perusahaan yang memproduksi *wiring harness* memiliki suhu pada siang hari diatas 34,2 °C. Hal ini mengakibatkan terjadinya keluhan akibat paparan panas pada pekerja dan berpotensi mengalami *heat stress*. Berdasarkan keluhan tersebut, dilakukan penelitian ini untuk mengetahui *heat stress level* pada ruang produksi dan dapat memberikan rekomendasi perbaikan untuk mengatasi potensi *heat stress* pekerja. Pada penelitian ini digunakan metode *Predicted Mean Vote (PMV)* dan *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)* untuk mengetahui potensi *heat stress* yang dialami pekerja, serta menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk mengetahui kondisi termal pada ruang produksi. Berdasarkan data hasil observasi awal diketahui bahwa nilai *PMV* pekerja berada pada rentang 3,04 hingga 3,12 dan nilai *PPD* berada pada rentang 99,3% hingga 99,5%. Hal ini membuktikan bahwa seluruh pekerja berpotensi mengalami *strong heat stress*. Rekomendasi perbaikan yang diberikan ialah melakukan penambahan *Air Conditioner (AC)* dengan kapasitas 133,46 PK. Dengan perbaikan ini nilai *PMV* menurun menjadi 1,22 hingga 2,49 dan nilai *PPD* pun menurun 93,2%.

**Kata kunci:** : *CFD, heat stress, PMV, PPD, wiring harness*

## 1. PENDAHULUAN

Manusia merupakan aspek yang sangat penting bagi suatu perusahaan. Pekerja dituntut untuk dapat menciptakan efisiensi kerja dan produktivitas sebaik mungkin. Selain faktor manusia, dalam suatu perusahaan juga terdapat faktor lingkungan. Faktor lingkungan memiliki andil terhadap performansi operator dan harus diciptakan nyaman mungkin supaya didapatkan efisiensi kerja dan meningkatkan produktivitas (Santoso, 1985). Salah satu faktor lingkungan kerja yang mempengaruhi performansi operator ialah faktor *thermal comfort*. ASHRAE (2004) menyatakan *Thermal Comfort* merupakan kondisi yang menunjukkan tingkat kenyamanan seseorang terhadap lingkungan *thermal*. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kenyamanan *thermal* yang dirasakan seseorang, diantaranya suhu, kelembaban, dan kecepatan udara. Lingkungan kerja yang panas dapat memicu terjadinya penyakit akibat panas (*heat stress*), mulai dari yang paling ringan *heat rash, heat syncope, heat cramps, heat exhaustion* hingga yang paling berbahaya yaitu *heat stroke*.

Salah satu industri *wiring harness* nasional yang besar dan padat karya yang bergerak di bidang pembuatan *wiring harness* kendaraan roda empat. Perusahaan ini memiliki 3 lantai produksi, yaitu *Genba A, Genba B, dan Genba C*. Dalam penelitian ini peneliti mengamati *Genba C*. Pekerja pada *Genba C* berjumlah 213 orang. Tugas yang membutuhkan ketelitian tinggi menuntut perusahaan untuk membuat *Genba* memiliki penerangan yang memadai. Pencahayaan pada *Genba C* mengandalkan 546 lampu dengan panjang 40 cm dan diameter 4 cm yang berada 3,236 m di atas tanah. Penggunaan lampu ini berkontribusi mengakibatkan paparan panas di *Genba C*. Selain itu panas sendiri juga dipengaruhi oleh *air temperature* awal yang memang sudah panas di *Genba C*, aktivitas yang dilakukan oleh pekerja, serta hambatan pakaian yang digunakan oleh pekerja. Observasi awal dilakukan dengan melakukan pengambilan data lingkungan yaitu *air temperature, air velocity, dan relative humidity* pada 18 titik dan pada 3 zona waktu yaitu pagi, siang, dan sore pada *Genba C*. Berdasarkan hasil observasi awal didapatkan data lingkungan pada *Genba C* yang ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa temperature di *Genba C* baik pagi, siang maupun sore selalu > 30 °C. Sedangkan untuk *air velocity*

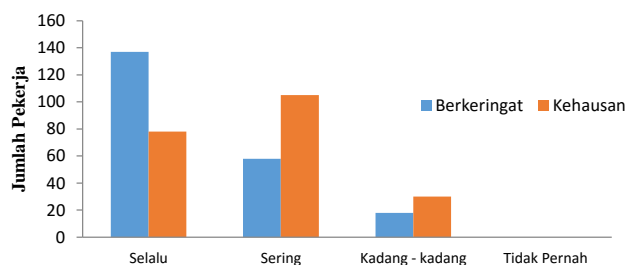
berkisar antara 0,02 – 0,09 m/s dan untuk *relative humidity* berkisar antara 68,7 – 74,4 %. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang persyaratan kesehatan lingkungan kerja industri menyatakan bahwa suhu yang diperbolehkan pada lingkungan kerja industri berkisar antara 18 – 30 °C. Hal ini membuktikan bahwa panas yang ada di *Genba C* melebihi persyaratan yang diizinkan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Untuk *relative humidity* yang diperbolehkan antara 55 hingga 90%, dan *air velocity* yang menurut ISO 7730 (1994) berkisar 0 m/s hingga 0,4 m/s, sehingga nilai *relative humidity* dan *air velocity* pada *Genba C* masih dalam keadaan normal.

**Tabel 1. Data Observasi Awal**

Hari	Pukul	Rata – rata Temperature (°C)	Rata – rata Air Velocity (m/s)	Rata – rata Relative Humidity (%)
1	08.00 – 08.10	33,6	0,05	68,7
	13.00 – 13.10	33,7	0,08	74,4
	16.30 – 16.40	33,4	0,06	70,2
2	08.00 – 08.10	33,1	0,09	71,1
	13.00 – 13.10	34,2	0,02	73,2
	16.30 – 16.40	33,1	0,03	70,8

Setelah dilakukan pengukuran data lingkungan, dilakukan penyebaran kuisioner ke seluruh pekerja *Genba C* mengenai dampak paparan panas yang dirasakan pekerja. Dampak paparan panas pada pekerja dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat diketahui dari 213 pekerja di *Genba C*, terdapat 137 pekerja yang selalu berkeringat serta 105 pekerja yang sering kehausan. Hal ini membuktikan bahwa pada *Genba C* perusahaan memang terjadi panas yang berlebih. Berdasarkan keluhan tersebut, perlu diadakannya penelitian lebih lanjut mengenai *heat stress* serta upaya perbaikan dan pencegahannya.

**Keluhan Pekerja Akibat Paparan Panas**



**Gambar 1. Keluhan Pekerja Akibat Paparan Panas**

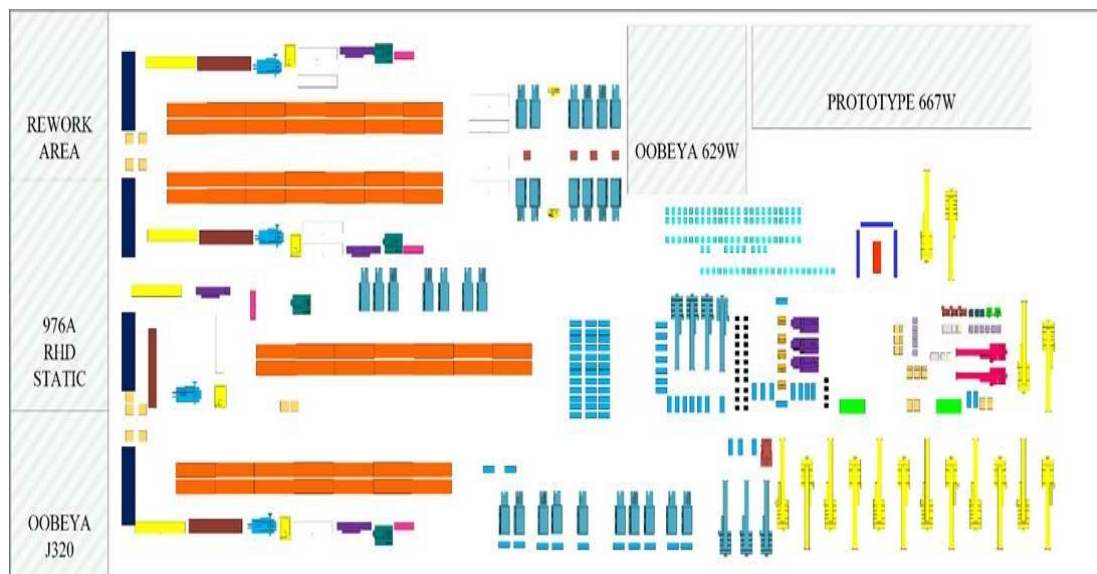
Terdapat beberapa macam *tools* yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran *heat stress*. Diantaranya menggunakan *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD). PMV mampu memprediksi sensasi panas yang dirasakan manusia berdasarkan beberapa faktor antara lain *air temperature*, *mean radiant temperature*, *operative temperature*, *air velocity*, *relative humidity*, metabolisme tubuh, dan *clothing insulation* (Stanton dkk, 2005). Sedangkan PPD merupakan turunan dari PMV *index* yang digunakan untuk mengetahui prosentase kenyamanan termal seseorang. Berdasarkan hasil PMV dan PPD akan dilakukan perbaikan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mensimulasikan perbaikan yang dilakukan untuk meningkatkan *thermal comfort* pada *Genba C*. Usaha perbaikan yang dapat dilakukan dengan melakukan *engineering control* atau melakukan rekayasa pada sistem pendinginan atau sirkulasi pada *Genba C*. Jika *thermal comfort* sudah baik, maka keluhan kerja operator terhadap *heat stress* akan berkurang serta performansi dan produktivitas operator di *Genba C* akan meningkat.

## 2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang akan digunakan untuk melakukan pengolahan data adalah sebagai berikut.

1. Melakukan Pembuatan *Layout* Kondisi *Existing* *Genba C*
2. Melakukan Simulasi Menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada Kondisi *Existing* di *Genba C*
3. Melakukan Perhitungan Nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) Kondisi *Existing* di *Genba C*
4. Melakukan Perhitungan Nilai *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) Kondisi *Existing* di *Genba C*
5. Melakukan Perhitungan Nilai Sumber Panas Lain
6. Pembuatan Rekomendasi Perbaikan Menggunakan *Computational Fluid Dynamic*
7. Melakukan Perhitungan Nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) Setelah Perbaikan
8. Melakukan Perhitungan Nilai *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) Setelah Perbaikan

Untuk keperluan pembuatan 3D CAD model diperlukan juga detail dimensi fasilitas yang lain seperti pintu, jendela dan kaca. Disamping itu juga dibutuhkan layout ruang penelitian untuk menjadi rujukan dalam membuat 3D model sebagai bahan atau obyek simulasi computational fluid dynamics (CFD). Gambar 2 dibawah menunjukkan detail layout ruangan produksi yang meliputi letak mesin dan letak pergudangan.



**Gambar 2. Layout Genba C Perusahaan Wiring Harness**

Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan *Predicted Mean Vote* (PMV) *Index* terbagi menjadi 2 yaitu data lingkungan dan data aktivitas pekerja. Dimana data lingkungan meliputi *temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity*. Serta data aktivitas pekerja meliputi *clothing insulation* dan *metabolic rate*. Pengambilan data lingkungan dilakukan di area pernapasan manusia atau 1,5 m di atas permukaan tanah. Sugiyono (2010) menyatakan jika karyawan berjumlah kurang lebih 210 orang, dengan tingkat signifikansi 5% maka jumlah sampel yang harus diambil yaitu 131 orang. Maka pengambilan data pada *Genba C* dilakukan pada 131 titik. Pengukuran dilakukan setiap 1 jam mulai 08.00 hingga 16.00. Pada penelitian ini *air temperature* (AT) dinyatakan dalam °C, *air velocity* (AV) dalam m/s, dan *relative humidity* (RH) dalam %. Pakaian yang digunakan seluruh pekerja di *Genba C* ialah seragam yang terdiri dari kemeja lengan panjang, celana bahan tipis, pakaian dalam kaos tanpa lengan, celana dalam, bra, kaos kaki, dan sepatu. Semua pekerja menggunakan pakaian yang sesuai dengan standar yang ditentukan perusahaan. Secara umum *metabolic rate* yang dihasilkan tiap pekerja akan berbeda. Berdasarkan hasil pengamatan, pekerja di *Genba C* PT. JAI melakukan aktivitas yang cenderung memiliki gerakan yang sama untuk seluruh pekerja. Walaupun pekerjaan yang dilakukan berbeda, tapi gerakan yang dihasilkan hampir sama untuk semua pekerja di *Genba C* PT. JAI. Oleh karena

itu, nilai *metabolic rate* semua pekerja di *Genba C* PT. JAI memiliki nilai yang sama. Aktivitas yang dilakukan seluruh pekerja di *Genba C* ialah berdiri dan melakukan aktivitas mengoperasikan mesin ringan dengan menggunakan tangan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan 3D CAD meliputi seluruh isi *Genba C*, baik mesin, peralatan maupun *Genba C* itu sendiri dengan menggunakan bantuan *software* Solidworks 2014. Kemudian dilakukan *assembly* mesin dan peralatan yang sudah dibuat dalam 3D CAD tersebut ke dalam 3D CAD *Genba C*. Proses *assembly* dilakukan sesuai dengan *layout* yang ada pada *Genba C*. Setelah melakukan *assembly* 3D CAD *model* pada *Genba C*, dilakukan *running* simulasi CFD pada Solidworks 2014. CFD memiliki 3 proses yaitu *preprocessor*, *processor*, dan *post processor*. Pengaturan awal pada simulasi CFD untuk menentukan proses perhitungan yang akan dijalankan. Pengaturan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

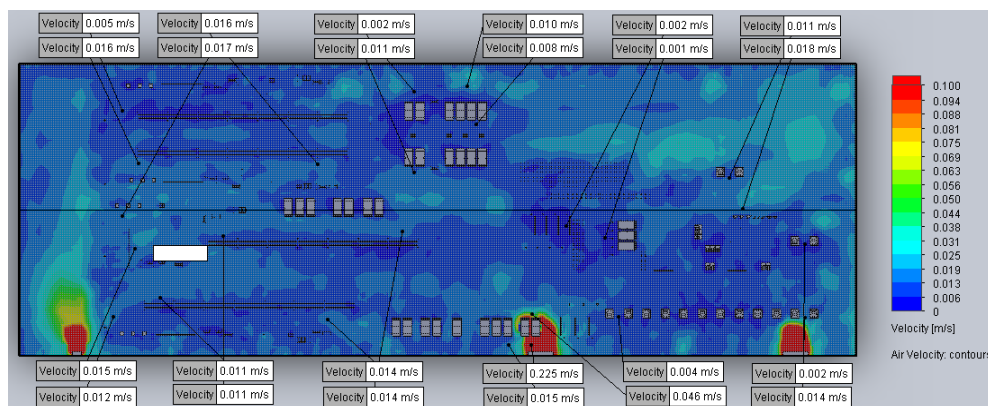
- Analysis type* yang digunakan adalah jenis analisis internal karena dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap aliran fluida yang ada dalam *Genba C*.
- Fluids* yang dianalisis adalah udara (*air*) dengan tipe aliran *luminar* dan *turbulent*. Kedua tipe aliran ini dipilih agar proses analisis mempertimbangkan aliran udara baik secara paralel (*luminar*) maupun secara berputar-putar (*turbulent*).
- Wall conditions* dipilih jenis *adiabatic wall* atau tembok yang tidak dapat mentransfer panas dan udara dari kedua sisi.
- Initial conditions* dari lingkungan simulasi CFD diatur untuk *thermodynamic parameters* dan *humidity*. *Thermodynamic parameters* diatur pada tekanan 1 atm dan suhu 33,5°C. *Humidity* diatur pada kondisi 67%. *Initial conditions* di sekitar *Genba C* didapatkan dari pengukuran langsung.

Kemudian dilakukan proses pendefinisian kondisi lingkungan awal dari *Genba C*. Data *boundary condition* pada *Genba C* didapatkan dari pengukuran langsung. Data *boundary condition* berupa inlet velocity yang melewati pintu 1, 2 dan 3 dengan kondisi udara yang berbeda – beda sesuai dengan hasil pengukuran. Sebagai contoh pintu satu memiliki air velocity = 0.41 m/s, suhu = 33.3 °C dan kelembaban relative = 58.1%. Setelah melakukan pendefinisian *boundary condition*, dilakukan pendefinisian sumber panas pada *Genba C*. Terdapat 4 sumber panas pada *Genba C* yaitu dari lampu, sinar matahari tidak langsung, pekerja, dan mesin *waterproof* dan *raychem*. Laju perpindahan panas dapat dinyatakan dalam satuan watt, dan watt/m<sup>2</sup>. Besar *heat transfer rate* dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 2. Heat Sources Pada Genba C**

No	Heat Sources	Lokasi	Heat Transfer Rate
1	Heat sources 1	Lampu	40 W
2	Heat sources 2	Sinar matahari tidak langsung	150,59 W
3	Heat sources 3	Setiap titik pekerja	139,68 W/m <sup>2</sup>
4	Heat sources 4	Mesin <i>Waterproof</i> dan <i>Raychem</i>	6200 W

Proses simulasi CFD adalah tahap *post processor*. Setelah tahap *processor* selesai dilakukan, maka dapat dilakukan analisis *terhadap* hasil tahap *processor* berupa kondisi termal pada *Genba C*. Tahap ini dilakukan dengan menginterpretasikan hasil simulasi ke dalam bentuk gambar. Hasil *post processor* yang menggambarkan sebaran *air velocity* dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan contoh sebaran *air velocity* pada ketinggian 1,5 meter dari tanah dalam *Genba C*. Sebaran *air velocity* memiliki kemiripan di seluruh wilayah *Genba C*, dengan nilai tertinggi berada pada titik 104 dengan nilai 0,225 m/s dan nilai terendah berada pada titik 117 dengan nilai 0,001 m/s. Sebaran *relative humidity* pada *Genba C* juga memiliki kemiripan di seluruh wilayah *Genba C*, dengan nilai tertinggi berada pada titik 74 dan 91 dengan nilai 67,54% dan nilai terendah berada pada titik 104 dengan nilai 59,16%. Sebaran *air temperature* yang ditampilkan memiliki kemiripan pada seluruh wilayah *Genba C*, dengan nilai tertinggi berada di hampir seluruh titik dengan nilai 33,55 °C dan nilai terendah berada pada titik 104 dengan nilai 33,24 °C.



**Gambar 3. Sebaran Air Velocity pada Kondisi Existing**

Penilaian *heat stress* pekerja *Genba C* dilakukan dengan menggunakan *PMV Index*. Penilaian *clothing insulation* atau hambatan pakaian pekerja dihitung berdasarkan setiap item pakaian yang dikenakan oleh setiap pekerja pada *Genba C*. Nilai *clothing insulation* dinyatakan dalam satuan clo. Berdasarkan referensi buku Stanton dkk (2005), maka kondisi pekerja di bagian produksi secara rata – rata memiliki *clothing insulation* sebesar = 0.56 clo. Sedangkan penilaian *metabolic rate* atau laju metabolisme pekerja didasarkan pada aktivitas yang dilakukan oleh pekerja di *Genba C*. Nilai *metabolic rate* dinyatakan dalam satuan met. Aktivitas yang dilakukan oleh pekerja pada *Genba C* memang berbeda-beda tiap jenis pekerjaan yang dilakukan. Namun, pada dasarnya semuanya memiliki aktivitas yang sama yaitu melakukan aktivitas mengoperasikan mesin ringan. Penilaian *metabolic rate* ditentukan berdasarkan ketentuan ASHRAE (2004), nilai met untuk aktivitas mesin ringan pekerja *Genba C* memiliki nilai 2,4 met.

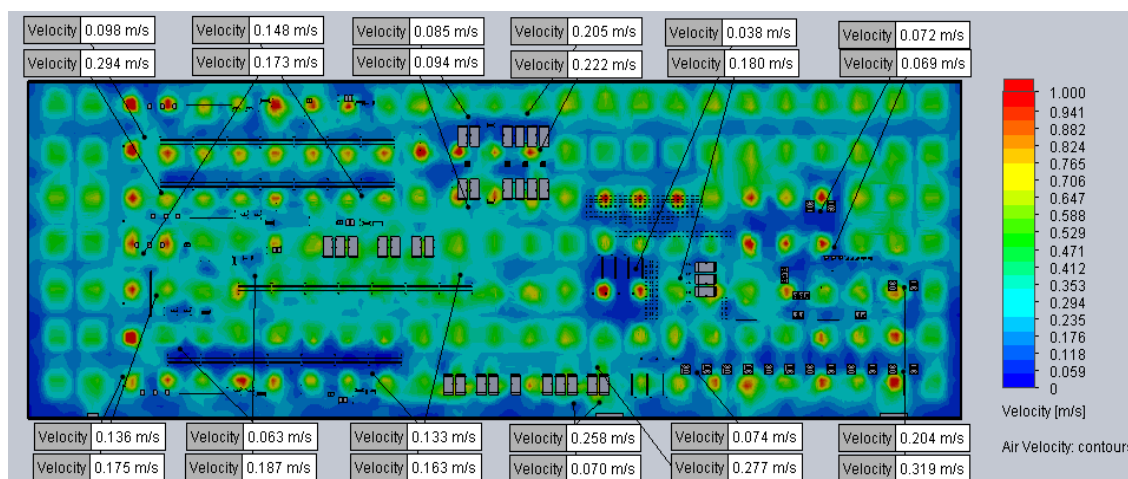
Setelah melakukan penilaian data lingkungan hasil simulasi, *clothing insulation*, dan *metabolic rate*, untuk mengetahui potensi tingkat *heat stress* yang dirasakan pekerja pada *Genba C* harus dilakukan terlebih dahulu perhitungan nilai PMV dan PPD seluruh pekerja pada *Genba C*. Nilai PMV yang didapat digunakan untuk merepresentasikan potensi tingkat *heat stress* pekerja pada *Genba C*. Selain itu nilai PMV juga dijadikan *input* pada perhitungan nilai PPD. Dari perhitungan dapat diketahui bahwa nilai PMV tertinggi bernilai 3,12 yang berada pada hampir seluruh titik dengan nilai PPD 99,5 %. Sedangkan untuk titik terendah berada pada titik 104 dengan nilai PMV sebesar 3,04 dan nilai PPD 99,3 %. Hal ini menunjukkan pada seluruh titik pekerja di *Genba C* memiliki potensi mengalami *strong heat stress* dan menunjukkan bahwa pada seluruh titik kemungkinan 99,3% hingga 99,5% orang akan merasa tidak nyaman.

*Genba C* memiliki sumber panas yang cukup banyak serta *air temperature* awal sudah tinggi yaitu 33,5 °C. Dan juga perbedaan antara *air temperature* luar ruangan dan dalam ruangan tidak begitu signifikan. Oleh karena itu perbaikan yang bersifat mengalirkan udara luar ke dalam atau dalam ke luar tidak berdampak signifikan pada penurunan nilai PMV pekerja *Genba C*. Perbaikan lain yang dapat dilakukan yaitu dengan penambahan *Air Conditioner*. AC ditambahkan untuk mengurangi nilai *temperature*, mengatur nilai *air velocity*, serta menurunkan nilai *relative humidity* pada *Genba C* agar tercapai penurunan nilai PMV pada pekerja *Genba C*. Untuk menentukan kebutuhan AC dilakukan terlebih dahulu perhitungan beban pendinginan pada *Genba C* menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* sesuai dengan SNI 03-6572-2001. Total nilai beban pendinginan dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui kebutuhan BTU/h dari *Genba C* PT. JAI sebesar 1.200.838,4 BTU/h atau 133,46 PK. Kemudian dilakukan pembagian AC di *Genba C*. Pembagian ini bertujuan agar seluruh ruangan *Genba C* terkena dari paparan AC. Menurut Nugroho (2015), untuk membagi rata persebaran AC di suatu lokasi dilakukan dengan cara melakukan *trial and error* dari beberapa konfigurasi yang telah dibuat pada simulasi CFD.

**Tabel 3. Total Kalor Beban Pendinginan**

Jenis Beban Pendinginan	Kalor Sensibel	Kalor Laten	Total Kalor
Radiasi melalui kaca	87.419,27 BTU/h	-	87.419,27 BTU/h
Konduksi melalui kaca	161.875,62 BTU/h	-	161.875,62 BTU/h
Konduksi melalui dinding	182.935 BTU/h	-	182.935 BTU/h
Konduksi melalui atap	417.134,82 BTU/h	-	417.134,82 BTU/h
Tubuh manusia	79.875 BTU/h	133.125 BTU/h	213.000 BTU/h
Lampu	89.369,28 BTU/h	-	89.369,28 BTU/h
Mesin waterproof	15.700,05 BTU/h	33.404,36 BTU/h	49.104,41 BTU/h
<i>Total</i>	1.034.309,04 BTU/h	166.529,36 BTU/h	1.200.838,4 BTU/h

Setelah dilakukan *trial and error* pada Solidworks 2014, ditentukan total kebutuhan BTU atau PK dibagi menjadi 175 titik. Hasil simulasi dari konfigurasi ini paling sesuai dengan ketentuan ISO 7730 (1994) mengenai ambang batas nilai *air velocity* yang diperbolehkan diterima tubuh yaitu maksimal 0,4 m/s. Dan sudah sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 mengenai nilai ambang batas nyaman yaitu maksimal 30 °C. Spesifikasi AC yang digunakan yaitu AC *Outdoor* sebanyak 7 buah dengan kapasitas 19,1 PK/unit dengan unit *indoor* sebanyak 175 titik dengan kapasitas 0,76 PK/unit. Output simulasi rekomendasi perbaikan berupa gambar sebaran *air velocity* dapat dilihat pada Gambar 4.

**Gambar 4. Sebaran Air Velocity pada rekomendasi Perbaikan**

Gambar 4 menunjukkan contoh sebaran *air velocity* CFD rekomendasi perbaikan. Jika dibandingkan dengan kondisi *existing*, sebaran pada Gambar 4 lebih bervariasi dengan nilai terendah berada pada titik 36 dengan nilai 0,034 m/s dan nilai tertinggi berada pada titik 128 dengan nilai 0,397 m/s. Jika dibandingkan dengan kondisi *existing*, sebaran relative humidity lebih bervariasi dengan nilai terendah berada pada titik 85 dan 113 dengan nilai 54,66% dan nilai tertinggi berada pada titik 104 dengan nilai 58,72%. Demikian juga untuk sebaran temperature, pada rekomendasi perbaikan ini memiliki nilai lebih bervariasi dengan nilai terendah berada pada titik 15 dengan nilai 24,24 °C dan nilai tertinggi berada pada titik 85 dan 113 dengan nilai 30,50 °C. Berdasarkan perhitungan dapat diketahui nilai PMV terendah terdapat pada titik 15 yaitu +1,22 dan nilai PPD 36,4%, yang berarti pekerja pada titik 15 berpotensi mengalami *slight heat stress* dan kemungkinan 36,4% orang akan merasa tidak nyaman bekerja pada titik 15. Sedangkan nilai PMV tertinggi berada pada titik 107 dengan nilai +2,49 dan nilai PPD 93,2%, yang berarti pekerja pada titik 107 berpotensi mengalami *moderate heat stress* dan kemungkinan 93,2% orang akan merasa tidak nyaman bekerja pada titik 107. Dari Tabel 11 dapat disimpulkan nilai PMV pada seluruh titik

termasuk pada rentang nilai PMV yang diperbolehkan menurut ASHRAE (2004) karena nilainya < +2,5.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan di *Genba C* mengenai *heat stress* pekerja berbasis PMV dan PPD didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. *Heat stress* pekerja pada *Genba C PT. JAI* dihitung berdasarkan nilai PMV, yang dihitung menggunakan kalkulator PMV sesuai standar ASHRAE (2004). Hasil perhitungan PMV menunjukkan nilai tertinggi berada pada hampir seluruh titik pekerja pada *Genba C* dengan nilai +3,12. Sedangkan nilai PMV terendah berada pada titik pekerja 104 dengan nilai +3,04. Hal ini berarti sensasi termal yang dirasakan seluruh pekerja di *Genba C* ialah *hot* atau panas dan memiliki potensi mengalami *strong heat stress*.
2. *Thermal comfort* atau tingkat kenyamanan termal pekerja *Genba C PT. JAI* dihitung berdasarkan nilai PPD, yang dihitung menggunakan persamaan PPD dengan *input* nilai PMV. Hasil dari perhitungan PPD menunjukkan bahwa nilai tertinggi berada pada hampir seluruh titik pekerja pada *Genba C* dengan nilai 99,5%. Sedangkan nilai PPD terendah berada pada titik pekerja 104 dengan nilai 99,3%. Hal ini berarti pada seluruh *Genba C* 99,3% hingga 99,5% pekerja, bekerja dengan tidak nyaman.
3. Rekomendasi perbaikan dilakukan dengan cara memberikan penambahan *Air Conditioner* pada *Genba C*. AC diletakkan di bawah plafon setinggi 3,036 dari tanah. AC yang ditambahkan berjumlah 7 buah AC *central* dengan output yang dikeluarkan pada 175 titik dengan kapasitas masing-masing titik yaitu 0,76 PK yang tersebar di seluruh *Genba C*. Berdasarkan rekomendasi perbaikan yang diberikan, terjadi penurunan nilai PMV dan PPD yang signifikan pada seluruh *Genba C*. Seluruh nilai PMV pekerja setelah dilakukan perbaikan menunjukkan nilai < +2,5, hal ini berarti seluruh pekerja mengalami perubahan sensasi termal yang semula *hot* (panas), menjadi *slightly warm* (sedikit hangat) hingga *warm* (hangat). Dan potensi terjadinya *heat stress* menurun, yang semula *strong heat stress* menjadi *slight* hingga *moderate heat stress*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. 2004. *ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2001. *SNI 03-6572-200, Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung*. Jakarta.
- ISO 7730. 1994. *Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of The Conditions for Thermal Comfort*. Geneva.
- Menteri Kesehatan RI. 2002. *Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri*. Jakarta.
- Nugroho, W., Tandian, N.P. 2015. *Analisis CFD Penempatan Air Conditioning Unit pada KRD Ekonomi Bandung Raya*. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV.
- Santoso. 1985. *Higiene Perusahaan Panas*. Solo: Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret.
- Stanton, N., et al. 2005. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. United State of America: CRC Press.
- Sugiyono. 2010. *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta