

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga rahmat dan hidayah-Nya juga selalu dilimpahkan kepada kita semua. Tidak lupa shalawat serta salam juga tercurah kepada Rasulullah Nabi Muhammad SAW.

Skripsi yang berjudul *“OPTIMALISASI HUMAN COMFORT PADA FINISHED GOODS WAREHOUSE BERBASIS PREDICTED MEAN VOTE (PMV) DAN PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD)”* ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan, arahan, serta ilmu kepada penulis.
2. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri yang telah memberikan masukan, arahan, serta ilmu kepada penulis.
3. Bapak Sugiono, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing I, yang selalu sabar dalam membimbing, mengarahkan, memberikan masukan, memotivasi dan memberikan ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
4. Keluarga tercinta yang penulis sayangi dan hormati, Ibu Tatiek Ambarwati dan Bapak Handojo Soetomo serta Ibu Irza Santosa yang selama ini telah memberikan doa, kasih sayang, pendidikan, bimbingan, baik secara rohani maupun jasmani, serta selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Kakak Tanti Eka Nurdianda dan Kakak Tutut Yulianto serta Adik Cindy Tiovana Sutomo serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa, semangat serta dukungan untuk penulis.
6. Bapak Rio Prasetyo Lukodono, ST., MT. selaku dosen pembimbing II, yang selalu sabar dalam membimbing, mengarahkan, memberikan masukan, memotivasi dan memberikan ilmu yang sangat berharga bagi penulis.

7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya yang telah dengan ikhlas memberikan ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
8. Bapak dan Ibu Karyawan Jurusan Teknik Industri yang telah membantu memberikan informasi serta melaksanakan proses akademik.
9. Bapak Djoko dan Bapak Antok selaku pembimbing dari perusahaan yang telah memberikan bimbingan serta arahan pada penulis dalam melakukan penelitian.
10. Ryan Fardian dan Khairan Afif yang selalu sabar memberikan bimbingan, dukungan, semangat, dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Aldi Mahendra, yang selalu memberikan dukungan, masukan, semangat serta doa kepada penulis selama pengerjaan skripsi ini.
12. Sahabat Keluarga LPKE 2012, Andhika Ramadhan B, Ares Jelbiamta B.I, Fasya Nabila, Grace Olivia D, Lydia Damara Raj S, M. Alfi Rochman, Rachmat Ghozali S, Ryan Fardian, Khairan Afif dan Yemima Beatrix I yang telah memberikan doa, dukungan, semangat, serta hiburan selama pengerjaan skripsi ini.
13. Sahabat Keluarga LPKE 2013, Berry, Danang, Farida, Hani, Nadine, Novan, Nyna, Rama, Vina, serta seluruh Keluarga Besar Laboratorium Perancangan Kerja dan Ergonomi (LPKE) yang telah memberi dukungan dan doa untuk penulis.
14. Adek-adek LPKE 2014, Josua Bili, Faizal, Bagus, Ilman, Dhenia, Rena, Prita, Cindy dan Yanti serta seluruh Keluarga Besar Laboratorium Perancangan Kerja dan Ergonomi (LPKE) yang telah memberi dukungan dan doa untuk penulis.
15. Seluruh teman-teman Keluarga Teknik Industri Universitas Brawijaya angkatan 2013 yang telah memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian skripsi penulis.

Penulis sadar bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Penulis mengucapkan permohonan maaf atas kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Saran dan kritik sangat diperlukan untuk kebaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

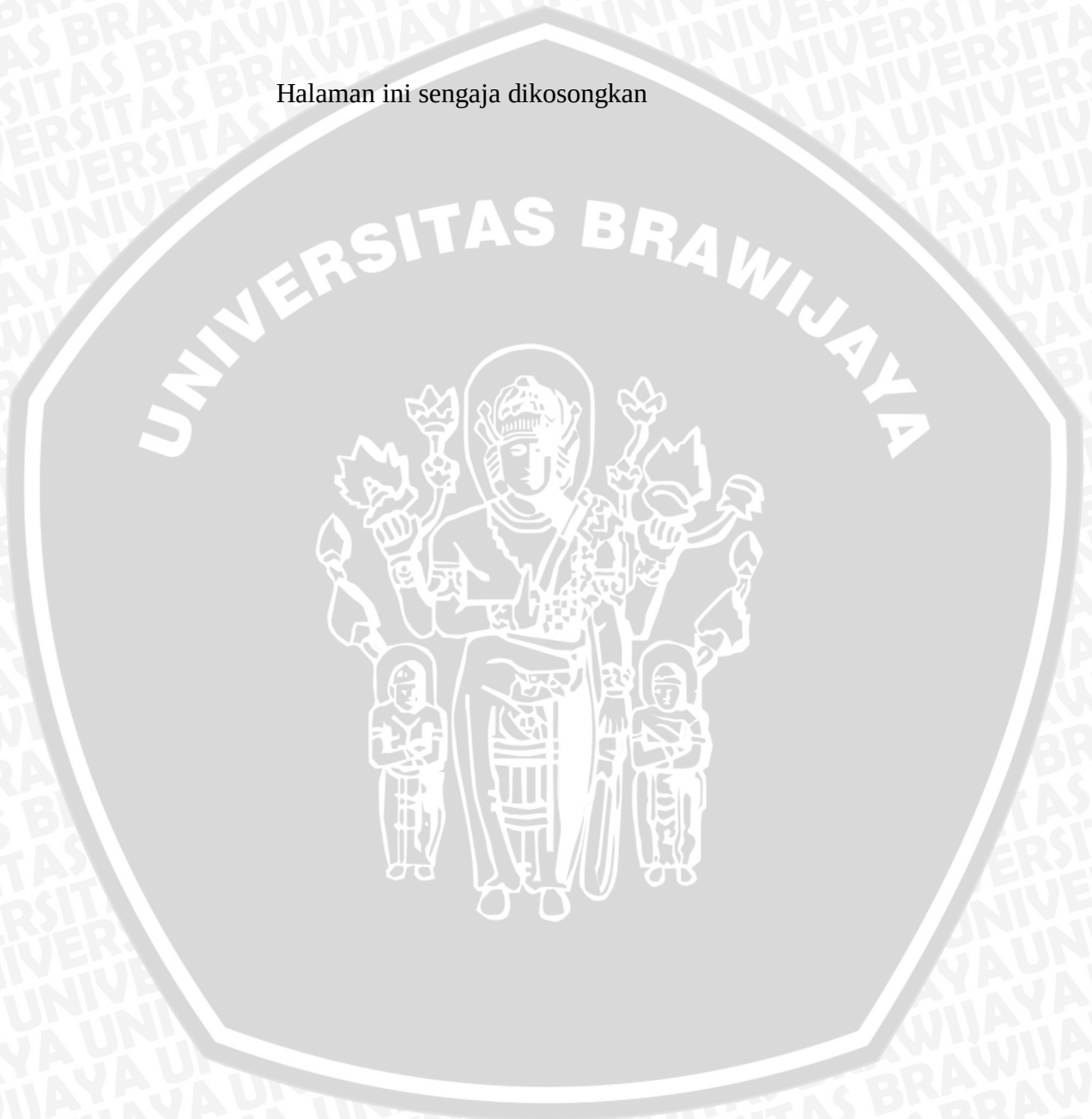
	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR ISTILAH.....	xiii
RINGKASAN.....	xv
SUMMARY	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Batasan Penelitian	6
1.7 Asumsi Penelitian	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Ergonomi	10
2.3 Lingkungan Kerja Fisik.....	10
2.4 Kenyamanan Termal	10
2.4.1 Faktor Kenyamanan Termal	11
2.4.2 Kenyamanan Termal Iklim Tropis	12
2.5 Perpindahan Panas	12
2.6 <i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>	15
2.6.1 Faktor-faktor dalam perhitungan PMV	15
2.6.2 Persamaan PMV	19
2.7 <i>Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</i>	20

2.8	<i>Computational Fluid Dinamic (CFD)</i>	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Jenis Penelitian.....	25
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.3	Tahap Penelitian.....	25
3.3.1	Tahap Pendahuluan.....	25
3.3.2	Tahap Pengumpulan Data.....	26
3.3.3	Tahap Pengolahan Data	27
3.3.4	Tahap Analisis dan Pembahasan	28
3.3.5	Tahap Kesimpulan dan Saran	28
3.4	Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Profil Perusahaan	31
4.1.1	Gambaran Umum Perusahaan	31
4.1.2	Struktur Organisasi	33
4.1.3	Foto Satelit Perusahaan.....	33
4.1.4	Proses Produksi.....	34
4.2	Pengumpulan Data	35
4.2.1	<i>Finished Goods Warehouse Layout</i>	35
4.2.2	Alat yang digunakan	37
4.2.3	Data Metabolisme Tubuh.....	38
4.2.4	Data Hambatan Pakaian	38
4.3	Pengolahan Data.....	42
4.3.1	Perhitungan Metabolisme Tubuh	42
4.3.2	Perhitungan Hambatan Pakaian.....	42
4.3.3	Perhitungan <i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>	43
4.3.4	Perhitungan <i>Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</i>	46
4.3.5	Pembuatan Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i>	47
4.3.5.1	Pembuatan 3D CAD Model	48
4.3.5.2	<i>Running Simulasi CFD Model Existing</i>	49
4.3.5.3	Validasi Simulasi CFD	55
4.3.5.4	Pembuatan Rekomendasi Perbaikan.....	57

4.3.6 Perhitungan Biaya Rekomendasi Perbaikan	69
4.4 Analisis Hasil dan Pembahasan	70
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	81



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Rekap Suhu pada <i>Warehouse</i> Perusahaan Produksi Penyedap Makanan	3
Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian ini	7
Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian ini (Lanjutan)	8
Tabel 2.2	Faktor Kenyamanan Termal	11
Tabel 2.3	Standar Temperatur Nyaman SNI 03-6572-2001	12
Tabel 2.4	Perubahan Patofisiologis Akibat Penurunan Temperatur Tubuh	14
Tabel 2.5	Perbandingan Penilaian Kenyamanan Termal	15
Tabel 2.6	Laju Metabolisme Tubuh Berdasarkan Aktivitas	16
Tabel 2.7	Nilai Hambatan Pakaian <i>Clothing Ensemble</i>	17
Tabel 2.8	Nilai Hambatan Pakaian <i>Garment</i>	17
Tabel 2.8	Nilai Hambatan Pakaian <i>Garment</i> (Lanjutan)	18
Tabel 4.1	Dimensi Bagian <i>Finished Goods Warehouse</i>	35
Tabel 4.1	Dimensi Bagian <i>Finished Goods Warehouse</i> (Lanjutan)	36
Tabel 4.2	Fasilitas Pendukung <i>Finished Goods Warehouse</i>	36
Tabel 4.3	Nilai <i>Input</i> PMV PPD	40
Tabel 4.3	Nilai <i>Input</i> PMV PPD (Lanjutan)	41
Tabel 4.4	Penilaian <i>Metabolic Rate</i>	42
Tabel 4.5	Nilai <i>Clothing Insulation</i> atau Hambatan Pakaian	43
Tabel 4.6	<i>Input</i> dan Hasil Perhitungan PMV	45
Tabel 4.7	<i>Input</i> dan Hasil Perhitungan PMV, PPD, dan Tingkat <i>Heat Stress</i> Pekerja	46
Tabel 4.7	<i>Input</i> dan Hasil Perhitungan PMV, PPD, dan Tingkat <i>Heat Stress</i> Pekerja (Lanjutan)	47
Tabel 4.8	3D CAD Model <i>Finished Goods Warehouse</i> dan Fasilitasnya	48
Tabel 4.9	<i>Boundary Conditions</i> pada <i>Finished Goods Warehouse</i>	51
Tabel 4.10	<i>Heat Sources</i> pada <i>Finished Goods Warehouse</i>	52
Tabel 4.11	Tabel 4.11 <i>Output</i> Uji Validitas	56
Tabel 4.12	Tabel yang menunjukkan Pembagian <i>Job Desk</i> Yang Disarankan	57
Tabel 4.13	<i>Input</i> dan Hasil Perhitungan Ulang PMV, PPD, dan Tingkat <i>Heat Stress</i> Pekerja	57

Tabel 4.14 <i>Input dan Hasil Perhitungan Ulang PMV, PPD, dan Tingkat Heat Stress</i> Pekerja (Lanjutan)	58
Tabel 4.14 <i>Input dan Hasil Perhitungan Ulang PMV, PPD, dan Tingkat Heat Stress</i> Pekerja	59



DAFTAR GAMBAR

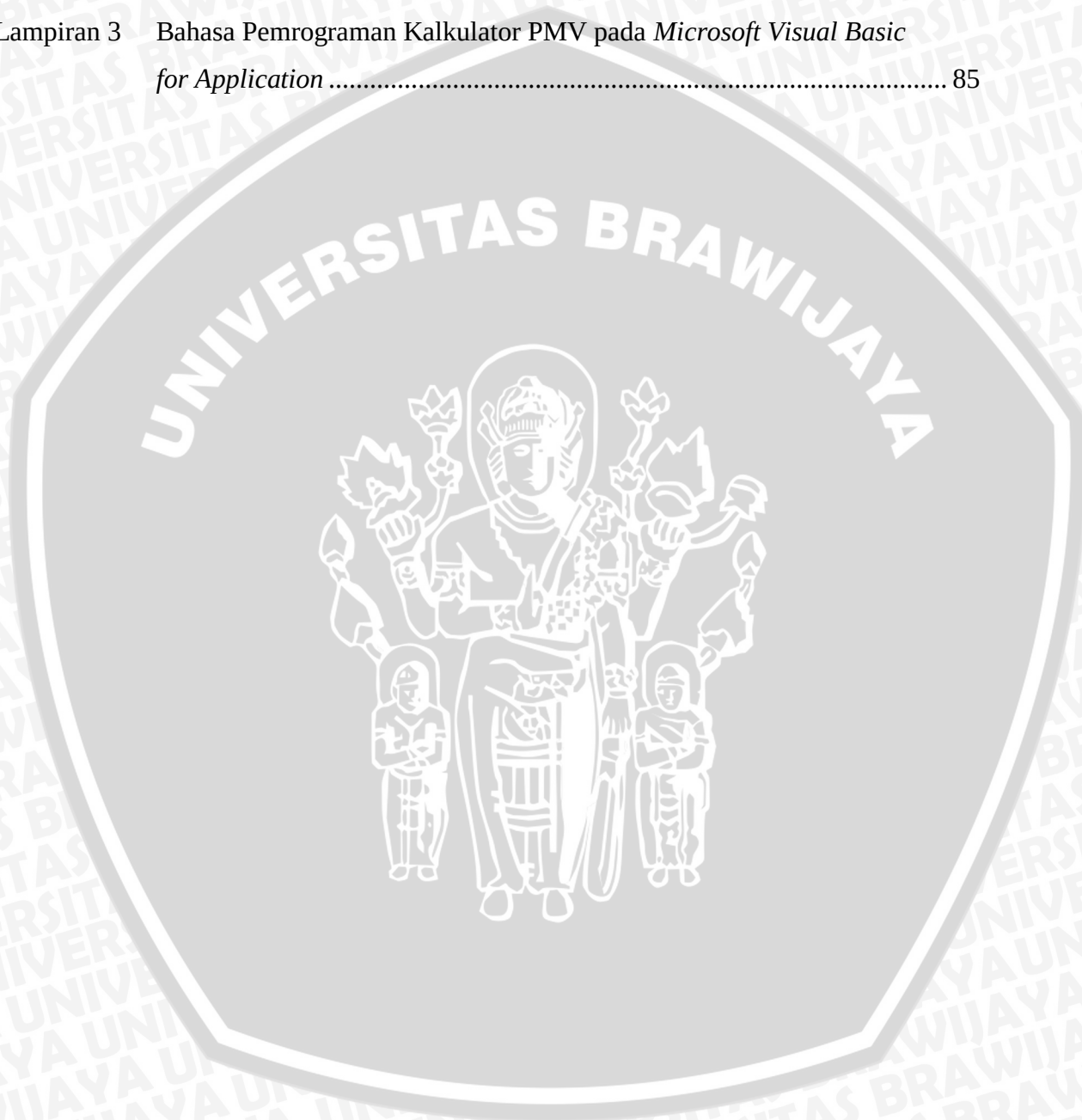
No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Grafik hubungan jumlah pekerja berkeringat terhadap waktu.....	3
Gambar 1.2	Grafik hubungan waktu dan <i>human error</i>	4
Gambar 2.1	Skema proses pertukaran panas pada tubuh manusia	14
Gambar 2.2	<i>Evolution of PPD on the basis of PMV</i>	21
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 4.1	Struktur organisasi perusahaan produksi penyedap makanan	33
Gambar 4.2	Foto satelit perusahaan produksi penyedap makanan	34
Gambar 4.3	<i>Finished goods warehouse layout</i>	36
Gambar 4.4	<i>Measuring tape</i>	37
Gambar 4.5	<i>Air Velometer</i> dengan tipe AVM440-A	38
Gambar 4.6	Pakaian seragam pekerja <i>finished goods warehouse</i>	39
Gambar 4.7	<i>Layout</i> jalur pengambilan data <i>finished goods warehouse layout</i>	40
Gambar 4.8	Hasil dari proses <i>assembly 3D CAD model finished goods warehouse</i>	49
Gambar 4.9	Pengaturan awal simulasi CFD	50
Gambar 4.10	<i>Initial mesh</i>	52
Gambar 4.11	Hasil sebaran <i>temperature</i> simulasi CFD <i>existing</i> ketinggian 1,1 meter	53
Gambar 4.12	Hasil sebaran <i>relative humidity</i> simulasi CFD <i>existing</i> ketinggian 1,1 meter	54
Gambar 4.13	Hasil sebaran <i>velocity</i> simulasi CFD <i>existing</i> ketinggian 1,1 meter.....	55
Gambar 4.14	Sebaran <i>air temperature</i> CFD rekomendasi perbaikan 1.....	59
Gambar 4.15	Sebaran <i>air velocity</i> CFD kondisi <i>existing</i>	58
Gambar 4.16	Hasil sebaran <i>relative humidity</i> simulasi CFD rekomendasi pada ketinggian 1,1 meter	61
Gambar 4.17	Hasil sebaran <i>temperature</i> simulasi CFD rekomendasi pada ketinggian 1,1 meter	65
Gambar 4.18	Hasil sebaran <i>velocity</i> simulasi CFD rekomendasi pada ketinggian 1,1 meter ..	66
Gambar 4.19	Hasil sebaran <i>relative humidity</i> simulasi CFD rekomendasi pada ketinggian 1,1 meter	67
Gambar 4.20	Perbandingan nilai PMV <i>existing</i> dan rekomendasi	72
Gambar 4.21	Perbandingan nilai PPD <i>existing</i> dan rekomendasi	72
Gambar 4.22	Perbandingan nilai PMV <i>existing</i> dan rekomendasi	73

Gambar 4.23 Perbandingan nilai PPD *existing* dan rekomendasi74



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Rekapitulasi Data Lingkungan Hasil Simulasi <i>Existing</i>	81
Lampiran 2	Uji Validitas Simulasi CFD <i>Model Existing</i>	83
Lampiran 3	Bahasa Pemrograman Kalkulator PMV pada <i>Microsoft Visual Basic for Application</i>	85



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR ISTILAH

<i>Air Temperature</i>	Suhu rata-rata yang berada di sekitar seseorang pada lingkungan tertentu.
<i>Air Velocity</i>	Tingkat pergerakan udara pada suatu titik tanpa memperhatikan arah.
<i>Boundary Condition</i>	Batas kondisi pada lingkungan awal saat melakukan simulasi CFD.
<i>Clothing Insulation</i>	Isolasi termal yang diakibatkan oleh pakaian yang dikenakan.
<i>Computational Fluid Dynamics</i>	Metode perhitungan menggunakan sebuah kontrol dimensi, luas, dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya.
<i>Exhaust Fan</i>	Salah satu jenis kipas angin yg difungsikan untuk sirkulasi udara dalam ruang, berfungsi untuk menghisap udara di dalam ruang untuk dibuang ke luar, dan pada saat bersamaan menarik udara segar di luar ke dalam ruangan.
<i>Heat Sources</i>	Sumber panas saat melakukan simulasi CFD.
<i>Heat Stress</i>	Tekanan panas yang terjadi karena lingkungan kerja yang memberikan beban energi panas terhadap tubuh yang akan mempengaruhi kinerja dan produktifitas kerja.
<i>Heat Stress Level</i>	Tingkat <i>heat stress</i> yang mungkin dirasakan oleh pekerja.
<i>Metabolic Rate</i>	Tingkat transformasi energi kimia menjadi panas dan kerja mekanik oleh aktivitas metabolik suatu organisme.
<i>Predicted Mean Vote</i>	Indeks yang mewakili rata-rata panas yang dirasakan oleh sekelompok orang / polulasi yang besar pada suatu lingkungan tertentu.
<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>	Turunan dari PMV yang memprediksi persentase orang yang tidak puas secara termal dari sejumlah besar orang.
<i>Relative Humidity</i>	Rasio antara jumlah uap air di udara dengan tekanan jenuh dari jumlah uap air di udara pada suhu dan tekanan total yang sama.

Thermal Comfort

kondisi yang menunjukkan kepuasan atau kenyamanan seseorang terhadap lingkungan kerja termalnya



RINGKASAN

Rizky Tiovana Sutomo, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2017, *Optimalisasi Human Comfort Finished Goods pada Warehouse Berbasis Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*. Pembimbing skripsi : Sugiono and Rio Prasetyo Lukodono.

Termal merupakan salah satu faktor lingkungan kerja fisik yang dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja seseorang. Perusahaan makanan dari hasil observasi diketahui bahwa suhu ruangan berkisar antara 32-33°C pada pagi hari, dan pada siang hari bisa mencapai 35°C. Dalam lingkungan kerja panas, tenaga kerja mendapatkan beban tambahan berupa tekanan panas. Paparan panas yang dirasakan pekerja *finished goods warehouse* memungkinkan terjadinya penurunan performansi pekerja yang berindikasi pada peningkatan terjadinya *human error*. *Human error* yang sering terjadi adalah pembacaan *HSCode* yaitu kesalahan pembacaan kode barang yang dapat berakibat pengambilan barang yang salah. *Human error* pada pembacaan *HSCode* dapat membuat peluang terjadinya bagian kesalahan pada saat *stuffing/loading*. Kesalahan *human error* di bagian *stuffing/loading* adalah kesalahan peletakan barang ke destinasi yang berbeda. Kesalahan yang terjadi ini dapat menimbulkan pengembalian barang hingga pengembalian *container* dan hal tersebut dapat menimbulkan kerugian dari segi waktu dan biaya.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengetahui *human comfort* yang dialami pekerja, Namun PMV dipilih karena memiliki parameter yang paling lengkap dengan mempertimbangkan 6 parameter dan memiliki indeks pembandingan ketidaknyamanan, yaitu PPD. Metode PMV dan PPD dikarenakan PMV dapat diketahui nilai kenyamanan termal dari individu yang berada pada suatu kondisi termal tertentu, sedangkan dari PPD dapat diketahui prosentase individu yang merasa kurang nyaman dengan keadaan termal.

Pada kondisi *existing* nilai PMV berada pada rentang +2,4 hingga +2,61 dengan nilai rata-rata sebesar +2,55, sedangkan nilai PPD berada pada rentang 91,2% hingga 95,4% dengan nilai rata-rata sebesar 94,41 yang berarti pada keseluruhan *finished goods warehouse* pekerja berpotensi mengalami *moderate* hingga *strong heat stress* dan kemungkinan pekerja tidak nyaman berada pada rentang 91,2 % hingga 95,4%. Hal ini berarti sensasi termal yang dirasakan seluruh pekerja di *finished goods warehouse* ialah *moderate* hingga *strong heat stress*, oleh karena itu pekerja yang ada di *finished goods warehouse* belum mencapai *human comfort*. Rekomendasi perbaikan yang dilakukan ada 2 cara yaitu dengan *administrative control* dan *engineering control*. Secara *administrative control* sebaiknya pekerja yang ada di *finished goods warehouse* dapat dilakukan pembagian *job desc*. Secara *engineering control* dengan 2 skenario yaitu dengan skenario pertama berupa penambahan 14 ventilasi dan skenario kedua dengan cara menambahkan exhaust fan sebanyak 33 buah. Nilai PMV, PPD, dan potensi tingkat *heat stress* pekerja sesuai dengan rekomendasi perbaikan. Dari hasil rekomendasi perbaikan pertama didapatkan bahwa nilai rata-rata PMV dan PPD menurun dari 2,55 menjadi 1,63 dan nilai PPD menurun dari 94,41 menjadi% 58,58%, sedangkan rekomendasi kedua didapatkan bahwa nilai rata-rata PMV dan PPD menurun dari 2,55 menjadi 1,60 dan nilai PPD menurun dari 94,41 menjadi% 56,88%.

Kata kunci: *heat stress, predicted mean vote, predicted percentage of dissatisfied, computational fluid dynamic*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



SUMMARY

Rizky Tiovana Sutomo, Departement of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, January 2017, *Optimizing Human Comfort Finished Goods at Warehouse Based on Predicted Mean Vote (Pmv) and Predicted Percentage of Dissatisfied (Ppd)*, Undergraduate Thesis Supervisor: Sugiono and Rio Prasetyo Lukodono.

Thermal is one of the physical work environment factors that can give a significant influence on a person's performance. Food seasoning company from the result of observation found that the room temperature ranges between 32-33°C in the morning, and at noon can reach 35°C. In a hot work environment, workers get an extra loads in the form of heat stress. It can worsen the condition of health and stamina during labor. Heat exposure that the worker felt in finished goods warehouse allows a decrease in the performance of workers who indicated in an increased incidence of human error. Human error that often occurs is in HSCode readings that item code is misreading and can result in taking the wrong goods. Human error in reading HSCode can make the chances of a part mistake when stuffing / loading. Human error at the stuffing / loading is a misplacement of goods to different destinations. Errors that occur can mislead to the return of the goods until the return of the container and it can cause a loss in terms of time and cost.

There are several methods that can be used to know the human comfort experienced by workers, but the PMV was chosen because it has the most complete parameters considering the 6 parameters and have the comparison index of discomfort, that PPD. Method of PMV and PPD due to PMV can be known the value of the thermalcomfort of the individual is at a certain thermal conditions, whereas the percentageof PPD can be found individuals who feel less comfortable with the thermal State.

Heat stress in the finished goods warehouse worker is calculated based on the Predicted Mean Vote (PMV) value. PMV calculations were taken using 44 points. Results from PMV calculation shows that the highest value is at almost all points in the finished goods warehouse worker with a value of +2.4. While the value of the lowest PMV is the first point with a value of +2.61. This means that the thermal sensation perceived by all workers in the finished goods warehouse is moderate to strong heat stress, therefore, workers in the finished goods warehouse has not yet reached human comfort. There are 2 recommendation to improve human comfort. Those are administrative control and engineering control. In administrative control, workers should distribute job description in the finished goods warehouse. It must distribute between workers in charge of checking the code of goods and workers who served as driver. In engineering control with two scenarios, that the first scenario is adding14 window with a length of 2 m and a width of 1 m, and the second scenario by adding exhaust fans as much as 33 pieces. Value of PMV, PPD, and the potential level of heat stress of workers correspond to improvement recommendations. When viewed as a whole, the thermal sensation perceived throughout the observation point is warm and all workers have the potential to slightly warm heat stress.

Keywords: *heat stress, predicted mean vote, predicted percentage of dissatisfied, computational fluid dynamic*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

