

repository.ub.ac.id

**ANALISIS *THERMAL COMFORT* PADA PEKERJA  
DEPARTEMEN PRODUKSI BERDASARKAN *PMV INDEX*  
MENGUNAKAN SIMULASI CFD  
(Studi Kasus: PT Jaykay Files Indonesia, Sidoarjo)**

**SKRIPSI**  
**KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh :**

**GALIH SETYO UTOMO  
NIM 115060701111020-67**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2015**



## LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS *THERMAL COMFORT* PADA PEKERJA  
DEPARTEMEN PRODUKSI BERDASARKAN *PMV INDEX*  
MENGUNAKAN SIMULASI CFD  
(Studi Kasus: PT Jaykay Files Indonesia, Sidoarjo)**

## SKRIPSI

**KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh :**

**GALIH SETYO UTOMO  
NIM 115060701111020-67**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Sugiono, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19780114 200501 1 001**

**Dwi Hadi Sulistyarini, ST., MT.  
NIP. 19810322 200812 2 002**

## LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *THERMAL COMFORT* PADA PEKERJA  
DEPARTEMEN PRODUKSI BERDASARKAN *PMV INDEX*  
MENGUNAKAN SIMULASI CFD  
(Studi Kasus: PT Jaykay Files Indonesia, Sidoarjo)**

## SKRIPSI

**KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Disusun oleh :**

**GALIH SETYO UTOMO  
NIM 115060701111020-67**

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 12 Agustus 2015**

**Penguji Skripsi 1**

**Penguji Skripsi 2**

**Ishardita Pambudi T., ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19730819 1999031 1 002**

**Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.  
NIP. 19461110 198103 1 001**

**Penguji Skripsi 3**

**Dr. Ir. Handono S., M.Eng.Sc.  
NIP. 19480216 198003 1 001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Industri**

**Ishardita Pambudi T., ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19730819 1999031 1 002**

## LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS *THERMAL COMFORT* PADA PEKERJA  
DEPARTEMEN PRODUKSI BERDASARKAN *PMV INDEX*  
MENGUNAKAN SIMULASI CFD  
(Studi Kasus: PT Jaykay Files Indonesia, Sidoarjo)**

## SKRIPSI

**KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh :**

**GALIH SETYO UTOMO  
NIM 115060701111020-67**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**



**Sugiono, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19780114 200501 1 001**

**Dosen Pembimbing II**



**Dwi Hadi Sulistyarini, ST., MT.  
NIP. 19810322 200812 2 002**

# LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *THERMAL COMFORT* PADA PEKERJA  
DEPARTEMEN PRODUKSI BERDASARKAN *PMV INDEX*  
MENGUNAKAN SIMULASI CFD  
(Studi Kasus: PT Jaykay Files Indonesia, Sidoarjo)**

## SKRIPSI

**KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Disusun oleh :**

**GALIH SETYO UTOMO  
NIM 115060701111020-67**

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 12 Agustus 2015**

**Penguji Skripsi 1**



**Ishardita Pambudi T., ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19730819 1999031 1 002**

**Penguji Skripsi 2**



**Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.  
NIP. 19461110 198103 1 001**

**Penguji Skripsi 3**



**1/2**

**Dr. Ir. Handono S., M.Eng.Sc.  
NIP. 19480216 198003 1 001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Industri**



**Ishardita Pambudi T., ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19730819 1999031 1 002**

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, Agustus 2015  
Mahasiswa



**GALIH SETYO UTOMO**  
**NIM. 115060701111020**

## PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas kasih, berkat, damai sejahtera dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi yang berjudul **“ANALISIS THERMAL COMFORT PADA PEKERJA DEPARTEMEN PRODUKSI BERDASARKAN PMV INDEX MENGGUNAKAN SIMULASI CFD”** merupakan salah satu persyaratan akademik untuk dapat mencapai gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik di Teknik Industri, Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada proses penyusunan skripsi, sangatlah sulit bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam pembuatan laporan skripsi ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Secara khusus ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua tercinta, Bapak Gendut Hariyanto dan Ibu Lilik Siswanti yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, arahan, dan masukan tiada henti serta dukungan mental dan materiil yang selalu diberikan kepada penulis.
2. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang memberikan ilmu, arahan serta saran kepada penulis.
4. Ibu Ceria Farela Mada Tantrika, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian (KKDK) Rekayasa Sistem Industri yang memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
5. Bapak Sugiono, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, arahan, saran dan motivasi yang membangun dalam menyusun skripsi ini.
6. Ibu Dwi Hadi Sulistyarini, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran dan motivasi yang membangun dalam menyusun skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu dosen pengamat/penguji pada Seminar Proposal, Seminar Hasil, dan Ujian Komprehensif atas saran dan masukannya, serta seluruh dosen Teknik Industri yang telah memberikan arahan dan saran dalam menyusun skripsi kepada penulis.
8. Staf administrasi Jurusan Teknik Industri yang telah membantu dalam penyelesaian berbagai persyaratan skripsi ini.

9. Bapak Heny Wahjono, ST. selaku pembimbing di PT Jaykay Files Indonesia, Sidoarjo yang telah memberikan arahan dan masukan dengan sabar saat melakukan penelitian.
10. Kedua adikku tercinta yang cantik dan lucu Woro Dyah Pangestu dan Zerlinda Azalia Renata serta keluarga yang selalu mendoakan, menemani, dan memberikan semangat kepada penulis.
11. Sahabatku yang sudah menjadi keluargaku Wendha, Chris, Manly, Norray, Arya, Antok, dan sahabat MMC lainnya yang telah menemani dalam masak bersama, pergi bersama, suka maupun duka, mendoakan serta membantu penulis dalam penyusunan skripsi.
12. Sahabat kos Poharin 1C Tanto, Heppy, Tyok, Jamal, Vincent, Upin, Ranu, Rois, Indra, Wahyu, Risman, dan Willy yang sudah memberi dukungan dalam bentuk mengajak bermain PES, mengajak jalan-jalan, dan yang selalu mengganggu penulis pagi, siang, dan malam selama penyusunan skripsi ini.
13. Keluarga simulator asisten Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri 2010, 2011, 2012 khususnya I Ketut Edi, Prasetya Aditya Nugraha, Srihendra Kridhantoro, Dimas Dendi Satriawan, Samuel Kresna Susilo, Ahmad Nizar, Cindy Revitasari, Agnes Novita Ningtyas, Nurul Umi Chaira, Hildaria Kurnianingsih, Andita Nastasia Lazuardi, dan Putu Ambarisha Karisma yang telah membantu dan mendukung penulis.
14. Seluruh sahabat Teknik Industri angkatan 2011 (TI'11) yang sudah menjadi keluarga yang telah memberikan motivasi, dukungan, kenangan, dan cerita dari probinmaba sampai dalam penyelesaian skripsi ini.
15. Segenap pihak baik teman SMA Negeri 2 Nganjuk terkhusus kelas IPA 1, teman dekat, teman jauh, yang mengisi hati penulis dan semua yang mendukung dalam terselesainya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca terhadap skripsi yang telah penulis susun ini demi perbaikan untuk penyusunan laporan sejenis dimasa yang akan datang.

Malang, Agustus 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Rumusan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Batasan Penelitian .....	5
1.7 Asumsi Penelitian.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terdahulu .....	7
2.2 Ergonomi .....	9
2.3 Lingkungan Kerja.....	9
2.3.1 Lingkungan Kerja Fisik .....	10
2.3.2 Lingkungan Kerja Non Fisik (Sosial) .....	12
2.4 <i>Thermal Comfort</i> .....	13
2.4.1 <i>Heat Stress</i> .....	13
2.4.2 <i>Cold Stress</i> .....	14
2.5 <i>Indoor Climate</i> .....	16
2.5.1 Temperatur Badan.....	16
2.5.2 Pengendalian Proses Panas .....	16
2.5.3 Transportasi Panas Oleh Aliran Udara .....	16
2.5.4 Berkeringat.....	17
2.5.5 Gerakan Otot Cepat.....	17

2.5.6	Pertukaran Panas Pada Tubuh Manusia.....	17
2.6	<i>Predicted Mean Vote</i> (PMV).....	19
2.6.1	Parameter yang Mempengaruhi PMV .....	20
2.6.2	Fungsi PMV .....	24
2.7	<i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD).....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Jenis Penelitian .....	28
3.2	Tempat Dan Waktu Penelitian.....	28
3.3	Langkah-Langkah Penelitian .....	28
3.3.1	Tahap Pendahuluan.....	28
3.3.2	Tahap Pengumpulan Data.....	29
3.3.3	Tahap Pengolahan Data .....	30
3.3.4	Tahap Analisis dan Pembahasan.....	31
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Gambaran Umum Perusahaan .....	33
4.1.1	Profil Perusahaan .....	34
4.1.2	Visi dan Misi Perusahaan .....	26
4.1.3	Struktur Organisasi .....	34
4.1.4	Proses Produksi.....	36
4.1.4.1	Proses Produksi Produk Kikir .....	36
4.1.5	Hasil Produksi.....	42
4.1.6	Tata Letak Perusahaan.....	43
4.2	Pengumpulan Data.....	45
4.2.1	Data <i>Layout</i> Departemen Produksi.....	46
4.2.2	Data <i>Thermal</i> Hasil Pengukuran.....	47
4.2.3	Data Aktivitas Pekerja .....	50
4.3	Pengolahan Data .....	51
4.3.1	Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD) Departemen Produksi.....	51
4.3.1.1	Pembuatan 3D CAD <i>Model</i> dari Departemen Produksi.....	51
4.3.1.2	<i>Running</i> Simulasi CFD Model Eksisting .....	54
4.3.1.3	Validasi Simulasi CFD Model Eksisting .....	62
4.3.2	Penilaian <i>Thermal Comfort</i> Pekerja Departemen Produksi.....	63
4.3.3	Rekomendasi Perbaikan.....	68

4.3.3.1 Rekomendasi Perbaikan 1 .....68

4.3.3.2 Rekomendasi Perbaikan 2 .....73

4.4 Analisis Biaya .....76

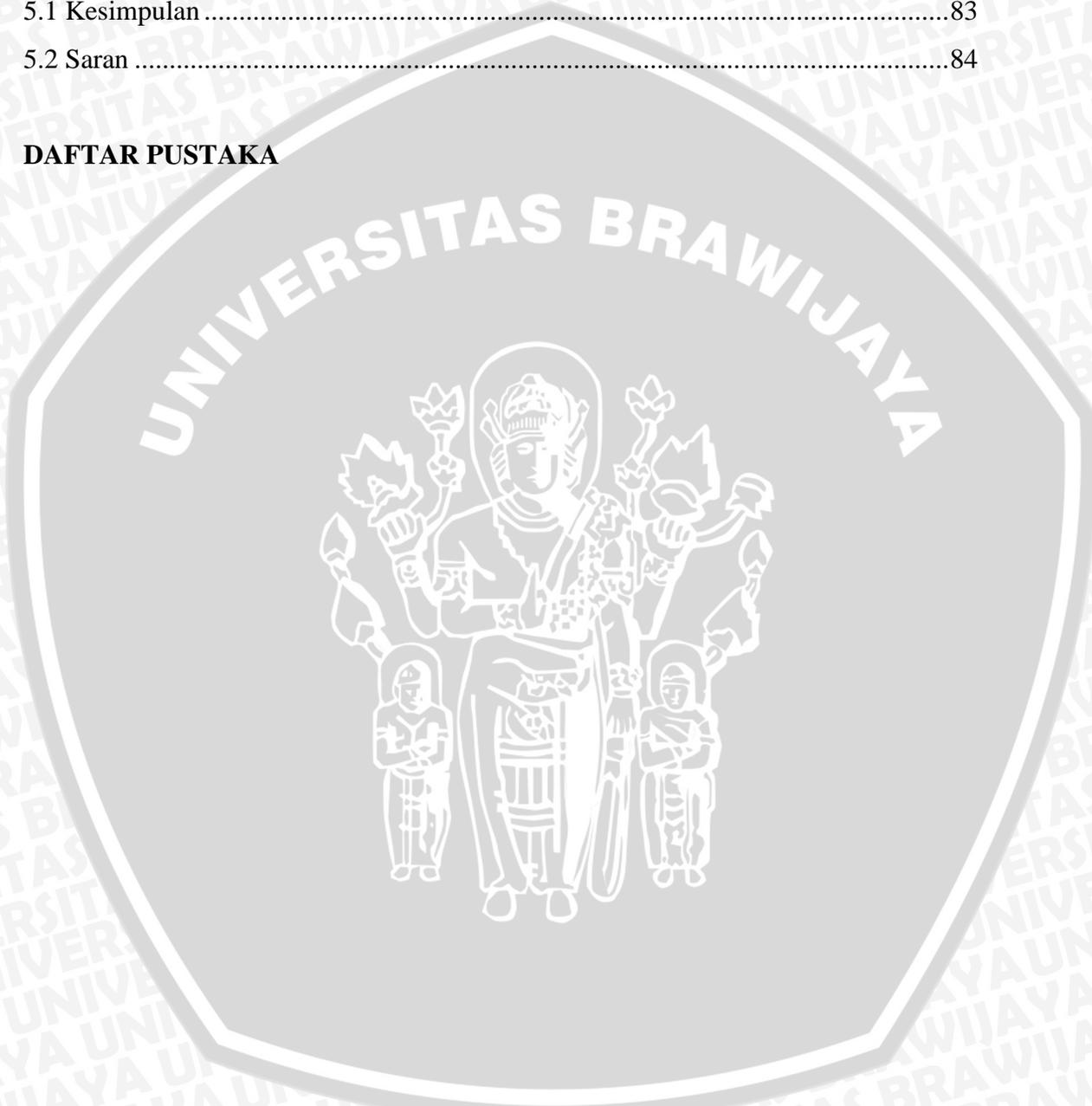
4.5 Analisis Hasil dan Pembahasan .....78

**BAB V PENUTUP .....83**

5.1 Kesimpulan .....83

5.2 Saran .....84

**DAFTAR PUSTAKA**



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini.....	7
Tabel 2.2	Skala PMV.....	19
Tabel 2.3	Laju Metabolisme Tubuh Berdasarkan Aktivitas.....	20
Tabel 2.4	Nilai Clo dari <i>Clothing Ensemble</i> .....	21
Tabel 2.5	Nilai Clo Isolasi <i>Garment</i> .....	22
Tabel 4.1	Dimensi Ukuran dari Bagian Departemen Produksi.....	46
Tabel 4.2	Dimensi Peralatan dan Mesin pada Departemen Produksi.....	46
Tabel 4.3	Peralatan pada Langit-Langit Departemen Produksi.....	47
Tabel 4.4	Rekapitulasi Rata-Rata Hasil Pengumpulan Data <i>Thermal</i> .....	48
Tabel 4.5	Grafik Perbandingan Hasil Pengumpulan Data <i>Thermal</i> .....	49
Tabel 4.6	Nilai <i>Metabolic Rate</i> Berdasarkan Kategori Kerja.....	50
Tabel 4.7	3D CAD <i>Model</i> Peralatan dan Mesin di Departemen Produksi.....	52
Tabel 4.8	<i>Boundary Conditions</i> Departemen Produksi.....	55
Tabel 4.9	<i>Heat Transfer Rate</i> pada Departemen Produksi.....	57
Tabel 4.10	<i>Initial Mesh</i> Simulasi CFD.....	58
Tabel 4.11	Data <i>Thermal</i> Hasil Simulasi CFD Model Eksisting.....	62
Tabel 4.12	Perbandingan Data <i>Thermal</i> Pengukuran dan Hasil Simulasi CFD.....	62
Tabel 4.13	Nilai <i>Metabolic Rate</i> Pekerja Departemen Produksi.....	64
Tabel 4.14	Nilai <i>Clothing Insulation</i> Pekerja.....	65
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan PMV <i>Index</i> Departemen Produksi Kondisi Eksisting... 67	67
Tabel 4.16	Letak <i>Exhaust Fan</i> Dinding Rekomendasi Perbaikan 1.....	70
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan PMV <i>Index</i> Rekomendasi Perbaikan 1.....	72
Tabel 4.18	Hasil Perhitungan PMV <i>Index</i> Rekomendasi Perbaikan 2.....	75
Tabel 4.19	Biaya Pengadaan <i>Exhaust Fan</i> .....	76
Tabel 4.20	Biaya Pengadaan <i>Air Conditioner</i> .....	76
Tabel 4.21	Perhitungan <i>Exhaust Fan</i> .....	77
Tabel 4.22	Perhitungan <i>Air Conditioner</i> .....	77
Tabel 4.23	Perbandingan Nilai PMV <i>Index</i> .....	78

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	<i>Layout</i> Departemen Produksi PT Jaykay Files Indonesia .....	2
Gambar 1.2	Grafik Keluhan <i>Heat Stress</i> Pekerja PT Jaykay Files Indonesia .....	3
Gambar 2.1	<i>User Interface Software</i> Solidwork 2014 .....	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	32
Gambar 4.1	Struktur Organisasi Perusahaan .....	35
Gambar 4.2	Mesin <i>Cropping</i> pada Proses Produksi Kikir.....	36
Gambar 4.3	<i>Automatic Forging Hammer Tonase Machine</i> Proses Produksi Kikir ....	37
Gambar 4.4	<i>Annealing Furnace Machine</i> pada Proses Produksi Kikir.....	37
Gambar 4.5	Mesin <i>Grinding</i> pada Proses Produksi Kikir .....	38
Gambar 4.6	Mesin Gerinda pada Proses Produksi Kikir.....	38
Gambar 4.7	Mesin <i>Cutting</i> pada Proses Produksi Kikir.....	39
Gambar 4.8	Proses <i>Stamping</i> pada Proses Produksi Kikir .....	39
Gambar 4.9	Tempat Proses <i>Hardening</i> pada Proses Produksi Kikir.....	40
Gambar 4.10	Proses <i>Acid Treatment</i> pada Proses Produksi Kikir.....	40
Gambar 4.11	Proses <i>Scouring</i> pada Proses Produksi Kikir .....	41
Gambar 4.12	Proses <i>Tang Tempering</i> pada Proses Produksi Kikir.....	41
Gambar 4.13	Proses <i>Drying</i> pada Proses Produksi Kikir.....	41
Gambar 4.14	<i>Layout</i> Perusahaan .....	44
Gambar 4.15	<i>Air Velometer</i> .....	45
Gambar 4.16	<i>Roll Meter</i> .....	45
Gambar 4.17	<i>Layout</i> Peralatan di Langit-Langit Departemen Produksi .....	47
Gambar 4.18	<i>Layout</i> Titik Pengukuran Area Pekerja.....	48
Gambar 4.19	Seragam Pekerja Departemen Produksi.....	51
Gambar 4.20	Hasil <i>Assembly 3D CAD Model</i> Departemen Produksi.....	54
Gambar 4.21	Pembagian <i>Grid</i> dari <i>Initial Meshing</i> .....	59
Gambar 4.22	Sebaran <i>Air Temperature</i> Hasil Simulasi CFD.....	60
Gambar 4.23	Sebaran <i>Air Velocity</i> Hasil Simulasi CFD .....	60
Gambar 4.24	Aliran Udara Hasil Simulasi CFD .....	61
Gambar 4.25	Sebaran <i>Relative Humidity</i> Hasil Simulasi CFD .....	61
Gambar 4.26	<i>User Interface</i> Kalkulator PMV.....	67
Gambar 4.27	<i>Layout Exhaust Fan</i> Baru Dalam Garis <i>Orange</i> .....	69

Gambar 4.28 Sebaran *Air Temperature* Rekomendasi Perbaikan 1 ..... 71

Gambar 4.29 Sebaran *Air Velocity* Rekomendasi Perbaikan 1 ..... 71

Gambar 4.30 Sebaran *Relative Humidity* Rekomendasi Perbaikan 1 ..... 72

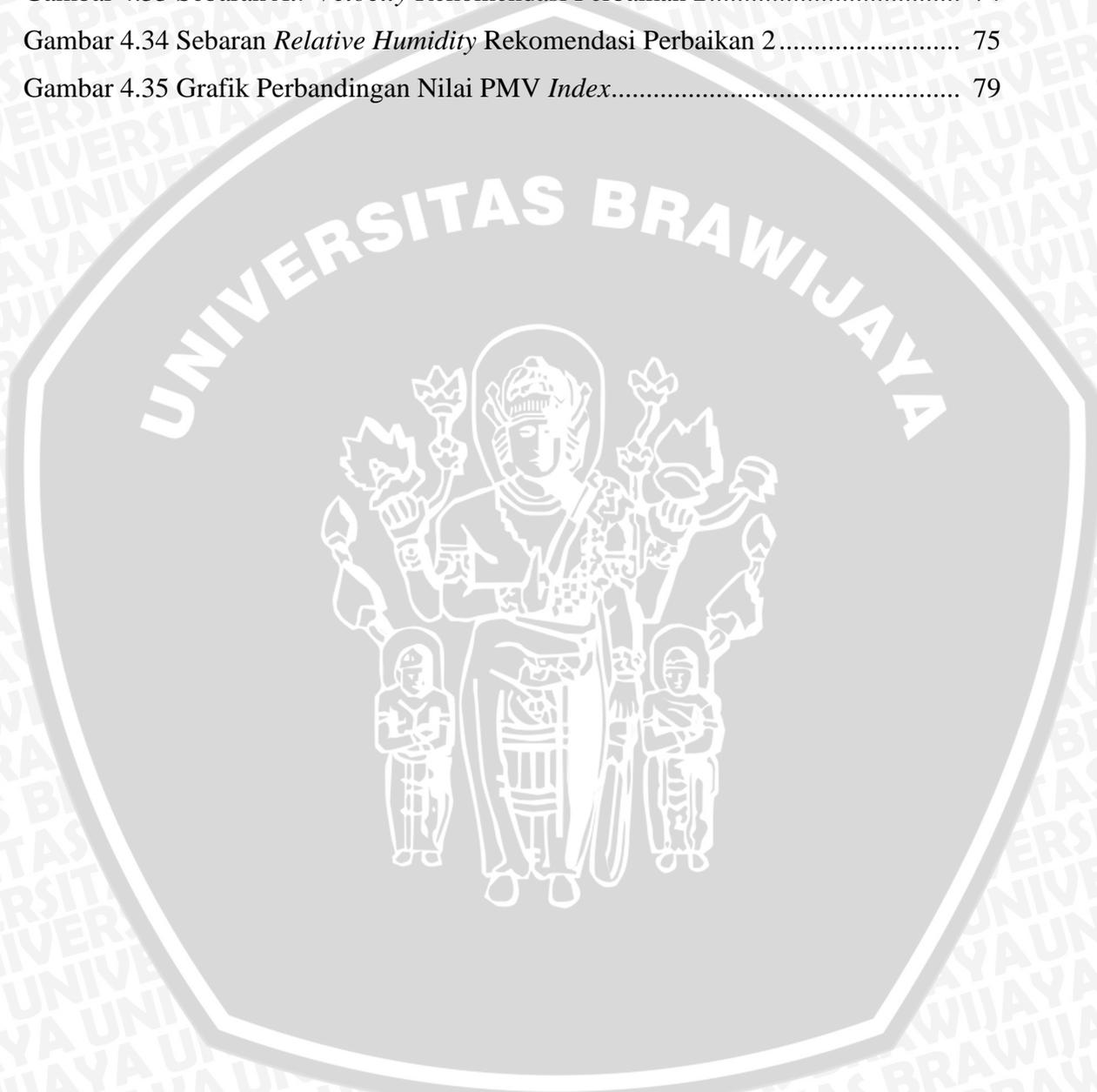
Gambar 4.31 Letak *Air Conditioner* Rekomendasi Perbaikan 1 ..... 73

Gambar 4.32 Sebaran *Air Temperature* Rekomendasi Perbaikan 2 ..... 74

Gambar 4.33 Sebaran *Air Velocity* Rekomendasi Perbaikan 2 ..... 74

Gambar 4.34 Sebaran *Relative Humidity* Rekomendasi Perbaikan 2 ..... 75

Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Nilai *PMV Index* ..... 79



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Rekapitulasi Data Hasil Pengukuran Pekerja Departemen Produksi .....	85
Lampiran 2	Uji Validitas Simulasi CFD Model Eksisting .....	92



## RINGKASAN

**GALIH SETYO UTOMO**, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2015, Analisis *Thermal Comfort* Pada Pekerja Departemen Produksi Berdasarkan PMV *Index* Menggunakan Simulasi CFD, (Studi Kasus : PT Jaykay Files Indonesia), Dosen Pembimbing: Sugiono dan Dwi Hadi Sulistyarini.

PT Jaykay Files Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak pada sektor industri produksi kikir. Kenyamanan lingkungan kerja sangat berkaitan erat dengan manusia yang dalam hal ini adalah pekerja. *Thermal Comfort* pada lingkungan kerja sangat penting karena dapat berpengaruh terhadap kesehatan fisik maupun mental dari pekerja serta produktivitas kerja. Temperatur merupakan salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya *thermal comfort* dan dapat menyebabkan *heat stress* pada pekerja departemen produksi. Ada beberapa peralatan yang mengeluarkan panas saat beroperasi yaitu *forging*, *annealing*, *hardening*, dan *tang tempering* sehingga menyebabkan suhu udara di ruangan produksi mencapai suhu rata-rata sebesar 35 °C. Untuk memperbaiki kondisi tersebut digunakan Metode *Predicted Mean Vote* (PMV) *index* dan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

Metode PMV *index* digunakan untuk menentukan jangkauan sensasi panas yang dirasakan pekerja dan potensi *heat stress* pekerja pada departemen produksi. Parameter dalam metode PMV *index* yaitu *air temperature*, *mean radiant temperature*, *operative temperature*, *air velocity*, *relative humidity*, *metabolic rate*, dan *clothing insulation*. Upaya meningkatkan *thermal comfort* dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD, setelah nilai PMV *index* diketahui. Simulasi CFD dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana fluida mengalir dan memperkirakan apa yang akan terjadi pada benda yang mengalami kontak dengan aliran fluida. Dengan simulasi CFD dapat dilakukan skenario perbaikan untuk dapat diketahui kondisi kenyamanan termal pada departemen produksi.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai (PMV) *index* kondisi eksisting untuk pekerja 1 sebesar 2,75, pekerja 2 sebesar 3,01, pekerja 3 sebesar 3,49, dan pekerja 4 sebesar 2,61. Dari skenario rekomendasi perbaikan dengan simulasi (CFD) dengan menambahkan peralatan pada departemen produksi kemudian dihitung kembali nilai PMV *index* hasil rekomendasi perbaikan. Nilai PMV *index* rekomendasi perbaikan 1 adalah pekerja 1 sebesar 2,36, pekerja 2 sebesar 1,91, pekerja 3 sebesar 2,36, dan pekerja 4 sebesar 1,93. Nilai PMV *index* rekomendasi perbaikan 2 adalah pekerja 1 sebesar 2,21, pekerja 2 sebesar 1,81, pekerja 3 sebesar 2,37, dan pekerja 4 sebesar 1,88. Dari perhitungan nilai PMV *index* dan simulasi CFD dapat digunakan untuk meningkatkan kenyamanan termal pada pekerja departemen produksi.

**Kata Kunci** : *Thermal Comfort*, *Predicted Mean Vote* (PMV) *Index*, Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

## SUMMARY

**GALIH SETYO UTOMO**, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, Agustus 2015, *Analysis of Thermal Comfort In Workers Production Department Based On PMV Index Using CFD Simulation*, Supervisors : Sugiono and Dwi Hadi Sulistyarini.

PT Jaykay Files Indonesia is a company that produce files. Thermal comfort environment is closely related to human as a worker. The thermal comfort environment was very important for workers since it affect the physical and mental health of workers related to labor productivity. However, temperature was one of many factors that reduce thermal comfort and could caused heat stress to production department workers. Several tools that emitted heat during operation production were: forging, annealing, hardening and tang tempering tools, caused the room air temperature reached average temperature for production at 35°C. Based on conditions, this research prior to improve the condition used Predicted Mean Vote (PMV) index method and Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation.

PMV index method was used to determine the perceived heat range received by worker and heat stress potential experienced by production worker. PMV index method parameter listed was: water temperature, mean radiant temperature, operative temperature, air velocity, relative humidity, metabolic rate, and clothing insulation. Therefore, improved the thermal comfort used CFD simulation, after PMV index value known. In this research, CFD simulation was used to determine the fluid flowing rate and fluid impact to the object contacted with fluid. The CFD simulation could be used to repair thermal comfort conditions in the production department by creating different scenario.

The results showed that PMV index value of existing conditions for worker 1 was 2.75, worker 2 was 3.01, worker 3 was 3.49, and worker 4 was 2.61. Furthermore, to improve the scenario of CFD simulation create improvement recommendations by added necessary tools in production department. The last step was recalculated PMV index value resulted in a better improvement recommendations. PMV index value improvement recommendations 1 for worker 1 was 2,36, worker 2 was 1,91, worker 3 was 2,36, and worker 4 was 1,93. PMV value index improvement recommendations 2 for worker 1 was 2,21, worker 2 was 1,81, worker 3 was 2,37, and worker 4 was 1,88. Based on explanation above, we showed that PMV index value calculation and CFD simulation could be used to improve the thermal comfort for production department workers.

**Keywords :** Thermal Comfort, Predicted Mean Vote (PMV) Index, Computational Fluid Dynamic (CFD) Simulation

# BAB I PENDAHULUAN

Dalam melaksanakan penelitian, diperlukan hal-hal penting yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaannya. Pada bab ini menjelaskan mengenai gambaran umum permasalahan yang akan diteliti meliputi latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

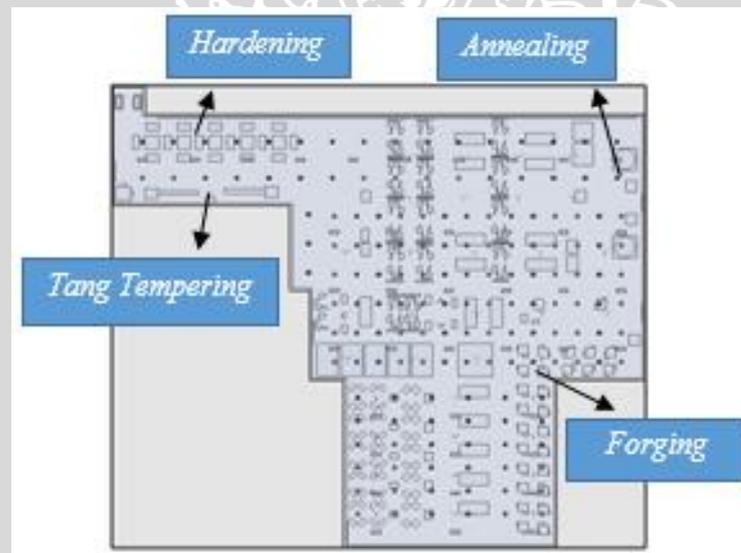
## 1.1 LATAR BELAKANG

Dalam perkembangan dan persaingan industri di era globalisasi seperti saat ini kenyamanan lingkungan kerja sangat penting untuk diperhatikan. Kenyamanan lingkungan kerja menjadi salah satu faktor yang penting seorang pekerja dalam melakukan pekerjaannya. Kenyamanan lingkungan kerja sangat berkaitan erat dengan manusia yang dalam hal ini adalah pekerja, karena suatu sistem kerja yang baik harus memperhatikan semua elemen kerja termasuk pekerja dan lingkungan kerja agar sistem kerja tersebut dapat berjalan sesuai dengan yang sudah direncanakan. Dengan lingkungan kerja yang baik maka pekerja akan dapat bekerja dengan aman dan nyaman. Oleh sebab itu lingkungan kerja harus diciptakan senyaman mungkin supaya didapatkan efisiensi kerja dan meningkatkan produktivitas (Santoso, 1985).

Menurut Karyono (2001), kenyamanan terdiri dari kenyamanan ruang, kenyamanan penglihatan, kenyamanan pendengaran (akustik) dan kenyamanan termal. Salah satu kenyamanan yang sangat penting dan mempengaruhi pekerja dalam melakukan pekerjaannya adalah kenyamanan termal. Kenyamanan termal adalah respon manusia terhadap rangsangan suhu yang diterima dari lingkungan (Karyono, 2001). Kenyamanan lingkungan termal sangat penting bagi pekerja dalam usaha memenuhi target produksi yang ditetapkan perusahaan karena dapat berpengaruh terhadap kesehatan fisik maupun mental dari pekerja serta produktivitas kerja. Dibutuhkan kenyamanan termal dalam ruang produksi sebab ruang produksi yang kurang nyaman akan menurunkan produktivitas kerja. Temperatur merupakan salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya kenyamanan termal pada ruang proses produksi. Kondisi panas sekeliling yang berlebih akan mengakibatkan rasa letih dan kantuk, mengurangi kestabilan dan meningkatkan jumlah angka kesalahan kerja (Grandjean, 1986). Selain itu, temperatur panas dari lingkungan kerja dapat menyebabkan terganggunya masalah kesehatan (*heat*

*stress*) dari yang ringan seperti gangguan perilaku dan performansi kerja, *dehydration*, *heat rash*, *heat cramps*, *head syncope*, dan *heat exhaustion* (Kroemer-Elbert, 1994). Temperatur pada ruang produksi yang terlalu panas atau terlalu dingin dapat menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan sehingga perlu diperhatikan kenyamanan termal pada ruang produksi tersebut.

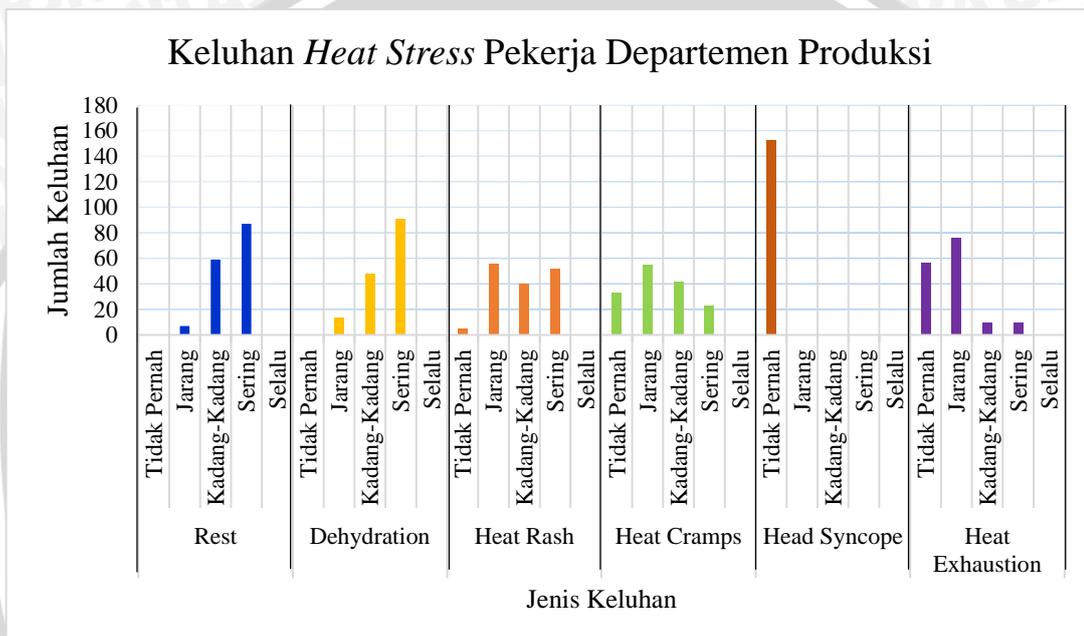
PT Jaykay Files Indonesia merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada industri pembuatan kikir dan mata bor serta mendistribusikan peralatan-peralatan bangunan seperti *power tools* dan *hand tools* dari pabrik pusat di India. Kegiatan utama yang dilakukan perusahaan adalah proses produksi kikir dan mata bor dengan ruang produksi yang berbeda untuk proses produksinya. Salah satu kegiatan produksi kikir adalah mengolah bahan baku untuk dijadikan kikir dengan melalui tahapan proses yaitu *cropping*, *forging*, *annealing*, *grinding*, *cutting*, *stamping*, *hardening*, *acid treatment*, *scouring*, *tang tempering*, *oiling*, *drying* dan *final inspection*. Semua kegiatan produksi tersebut dilakukan pada satu departemen yaitu departemen produksi. Gambar 1.1 merupakan gambar *layout* dari departemen produksi PT Jaykay Files Indonesia.



**Gambar 1.1** *Layout* Departemen Produksi PT Jaykay Files Indonesia  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

Gambar 1.1 menunjukkan tata letak peralatan dari departemen produksi. Ada beberapa peralatan yang mengeluarkan panas saat beroperasi yaitu *forging*, *annealing*, *hardening*, dan *tang tempering* sehingga menyebabkan suhu udara di ruangan produksi berdasarkan pengukuran mencapai suhu rata-rata sebesar 35 °C. Dari keadaan tersebut, berdasarkan observasi terhadap pekerja menimbulkan beberapa keluhan akibat panas. Menurut ketentuan yang ditetapkan oleh pemerintah yang berkaitan dengan temperatur tempat kerja, yaitu Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No. SE.51/MEN/1999 tentang

Nilai Ambang Batas untuk Iklim Kerja dan Nilai Ambang Batas untuk Temperatur Tempat Kerja, mengatakan bahwa NAB terendah untuk ruang kerja adalah 25°C dan NAB tertinggi adalah 32,2°C, tergantung pada beban kerja dan pengaturan waktu kerja. Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri, mengatakan bahwa persyaratan terkait suhu udara ruangan adalah 18 – 30 °C. Pada PT Jaykay Files Indonesia terdapat 153 pekerja yang bekerja pada departemen produksi, berikut merupakan data keluhan akibat panas:



**Gambar 1.2** Grafik Keluhan *Heat Stress* Pekerja PT Jaykay Files Indonesia  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia (Observasi)

Gambar 1.2 menunjukkan keluhan yang dirasakan pekerja akibat temperatur yang terlalu panas pada departemen produksi. Terdapat 87 pekerja yang sering melakukan *rest*, 91 pekerja yang sering mengalami *dehydration*, 52 pekerja yang sering mengalami *heat rash*, 23 pekerja yang sering mengalami *heat cramps*, dan 10 pekerja yang sering mengalami *heat exhaustion*, sedangkan *head syncope* tidak pernah ada pekerja yang mengalami keluhan atau berjumlah 0. Banyaknya keluhan akibat suhu panas pada departemen produksi yang dirasakan pekerja perlu untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengukuran *heat stress* dan upaya untuk mengatasi maupun menyelesaikannya. Metode yang dapat digunakan untuk menggambarkan *heat stress* salah satunya adalah *Predicted Mean Vote (PMV) index*.

PMV merupakan *index* yang paling banyak digunakan dalam lingkungan termal untuk memprediksi nilai rata-rata dari keseluruhan sensasi termal yang dirasakan

sekelompok orang (Stanton, 2004). Terdapat standar untuk menentukan kenyamanan termal, pada Standar ISO 7730 disebutkan bahwa salah satu standar kenyamanan termal adalah menetapkan kondisi lingkungan yang bisa diterima untuk kenyamanan. PMV berhubungan dengan 9 skala dan merupakan nilai rata-rata yang menggambarkan bagaimana yang dirasakan oleh seseorang mengenai kondisi *cold* dan *hot*.

Model PMV digunakan untuk menentukan jangkauan sensasi yang dirasakan orang terhadap lingkungan. Untuk mengukur sensasi panas dapat digunakan beberapa parameter dalam model PMV yaitu *air temperature*, *mean radiant temperature*, *operative temperature*, *air velocity*, *relative humidity*, metabolisme tubuh, dan *clothing insulation*. Dengan menggunakan metode PMV akan dapat diketahui besar sensasi panas yang dirasakan dan potensi *heat stress* pekerja pada departemen produksi.

Kenyamanan termal pada lingkungan kerja dibutuhkan agar pekerja dapat bekerja dengan nyaman. Upaya meningkatkan kenyamanan termal dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), setelah nilai PMV yang dirasakan oleh pekerja diketahui. Komputasi dinamika fluida atau CFD adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma (Chung, 2011). Simulasi CFD dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana fluida mengalir dan memperkirakan apa yang akan terjadi pada benda yang mengalami kontak dengan aliran fluida. Untuk meningkatkan kenyamanan termal pada departemen produksi dapat dilakukan dengan cara menambah peralatan, mengubah tata letak maupun ventilasi pada ruangan tersebut. Perubahan yang dilakukan akan mengakibatkan perubahan aliran fluida dan kondisi termal ruangan seperti temperatur, kelembaban, dan kecepatan udara. Setelah dilakukan perubahan, perlu dihitung kenyamanan termal pekerja. Kenyamanan termal pekerja dikatakan meningkat dengan ditunjukkannya perubahan indeks PMV yang semakin mendekati angka 0 (*neutral*). Kenyamanan lingkungan termal meningkat akan berbanding lurus dengan menurunnya keluhan yang dirasakan pekerja dan dapat meningkatkan lingkungan kerja yang efektif, nyaman, aman, sehat dan efisien agar pekerja dapat bekerja dengan maksimal serta tercapainya target produksi pada departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia Sidoarjo.

## 1.2 IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka permasalahan yang diteliti yaitu:

1. Pekerja mengalami keluhan-keluhan akibat panas pada departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia yaitu sering melakukan *rest*, sering mengalami *dehydration*, *heat rash*, *heat cramps*, dan *heat exhaustion*.
2. Belum adanya evaluasi dari PT Jaykay Files Indonesia mengenai potensi *heat stress* pekerja pada departemen produksi.

## 1.3 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang didapat dari permasalahan yang ada adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana level *heat stress* yang terjadi pada pekerja departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia?
2. Bagaimana upaya yang harus dilakukan untuk meningkatkan kenyamanan termal pekerja pada departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia?

## 1.4 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui level *heat stress* yang terjadi pada pekerja departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia menggunakan metode PMV (*Predicted Mean Vote*).
2. Melakukan perbaikan berdasarkan faktor-faktor yang dapat meningkatkan kenyamanan termal pada pekerja pada departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia.

## 1.5 MANFAAT PENELITIAN

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat yang berguna sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada PT Jaykay Files Indonesia mengenai kondisi kenyamanan termal pekerja departemen produksi.
2. Memberikan pertimbangan dan usulan perbaikan kepada PT Jaykay Files Indonesia dalam upaya peningkatan kenyamanan termal pekerja departemen produksi.

## 1.6 BATASAN PENELITIAN

Batasan masalah digunakan untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar lebih terfokus. Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian terbatas pada departemen produksi.
2. Penelitian terbatas pada produksi produk kikir.

## 1.7 ASUMSI PENELITIAN

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pekerja melakukan pekerjaannya tanpa berpindah tempat secara signifikan.
2. Tidak terjadi perubahan jumlah pekerja dan *layout* pada departemen produksi selama penelitian dilakukan.
3. Tidak terjadi transfer panas melalui tembok departemen produksi.
4. *Mean radiant temperature* diasumsikan sama dengan *air temperature*.
5. Pekerja menggunakan pakaian seragam sesuai standar PT Jaykay Files Indonesia.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang dapat menambah wawasan dan menjadi referensi dalam melakukan penelitian. Tinjauan pustaka ini memiliki tujuan untuk memberikan pondasi dalam melakukan penelitian.

### 2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Sebelum penelitian ini dilakukan, telah terdapat beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan dan akan dijadikan acuan untuk penelitian yang akan dilaksanakan. Tabel 2.1 adalah penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

**Tabel 2.1** Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini

No	Penulis	Judul	Metode				Objek Amatan
			PMV	PPD	Kuesioner	CFD	
1.	Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, dkk (2013)	<i>PMV – PPD and Acceptability in Naturally Ventilated Schools</i>	✓	✓	✓	-	Pelajar Italia
2.	Akashi Mochida, Hiroshi Yoshino, dkk (2005)	<i>Methods for Controlling Airflow in and around a Building under Cross-ventilation to Improve Indoor Thermal Comfort</i>	✓	-	-	✓	Universitas Tohoku, Sendai, Jepang
3.	Lusi Susanti, Nike Aulia (2013)	Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang	✓	✓	-	-	Ruang Sekolah SMA Negeri di Padang
4.	Utomo (2015)	Analisis <i>Thermal Comfort</i> Pada Pekerja Departemen Produksi Berdasarkan <i>PMV Index</i> Menggunakan Simulasi CFD	✓	-	-	✓	Departemen Produksi PT. Jaykay Files Indonesia Sidoarjo

1. Penelitian yang berjudul “*PMV-PPD and Acceptability in Naturally Ventilated Schools*” (Alfano, 2013) menyatakan bahwa PMV dan PPD *index* digunakan untuk menghitung *Thermal Comfort* juga efektif untuk menghitung kenyamanan termal pada ruangan yang berhubungan langsung dengan alam. Hasil yang didapatkan melalui analisis objektif berupa PMV-PPD sesuai dengan analisis subjektif berupa *Thermal Sensation Vote Questionnaire*.

2. Penelitian yang berjudul “*Methods for Controlling Airflow in and around a Building under Cross-ventilation to Improve Indoor Thermal Comfort*” (Mochidaa, 2005) berisi tentang penelitian mengenai metode untuk mengontrol aliran udara di dalam dan di sekitar bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan *thermal comfort* di dalam ruangan. Tahap pertama penelitian ini adalah melakukan pengukuran menggunakan metode PMV (*Predicted Mean Vote*) untuk mengevaluasi kondisi *thermal comfort* pada salah satu ruangan yang ada di Universitas Tohoku, Sedai, Jepang. Hasil dari pengukuran metode PMV diketahui bahwa nilai PMV pada ruangan tersebut berada di atas batas atas nilai *thermal comfort* ( $PMV = 0,5$ ). Tahap selanjutnya adalah melakukan usaha peningkatkan laju perpindahan udara yang dianalisis menggunakan prediksi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Hasil dari prediksi CFD menunjukkan bahwa nilai PMV yang berada di atas batas atas nilai *thermal comfort* dapat turun signifikan. Hasil ini didapatkan dengan cara mengubah susunan dari peletakan pohon yang berada di luar ruangan dan pengaturan ulang lokasi jendela pada ruangan tersebut.
3. Penelitian yang berjudul “Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri Di Kota Padang” (Susanti, 2013) berisi tentang penelitian yang bertujuan untuk mewujudkan suasana belajar dan proses pembelajaran peserta didik berada dalam suasana yang nyaman dan memuaskan. Sensasi kenyamanan termal dari pengguna ruang kelas SMAN Kota Padang dapat ditentukan dengan mendapatkan nilai PMV dan persentase PPD berdasarkan perhitungan dan berdasarkan *individual vote* yang diperoleh dari hasil kuisioner. Hasil dari PMV dapat disimpulkan bahwa hampir seluruh SMAN di Kota Padang memiliki sensasi termal ruangan yang sedikit panas dan panas kecuali SMAN 10 yang merasakan kondisi termal ruangan sekolah mereka berada pada kondisi netral. Dari hasil PPD dapat disimpulkan bahwa kenyamanan termal di masing-masing ruang kelas SMA-SMA Negeri di Kota Padang tidak dapat diterima oleh para siswa. Rekomendasi yang dapat diberikan adalah dengan melakukan pendekatan mekanis, yaitu menggunakan AC pada setiap ruang. Namun pendekatan ini membutuhkan biaya operasional yang tidak sedikit.
4. Penelitian yang berjudul “Analisis *Thermal Comfort* Pada Pekerja Departemen Produksi Berdasarkan PMV *Index* Menggunakan Simulasi CFD” berisi tentang penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan termal yang dirasakan pekerja pada departemen produksi PT Jaykay Files Indonesia. *Predicted Mean Vote* (PMV) *Index* dapat digunakan untuk mengetahui kenyamanan termal yang dirasakan

pekerja. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) berfungsi untuk memprediksi aliran udara yang terjadi pada departemen produksi. Dengan menggunakan *PMV Index* dan simulasi CFD dapat dilakukan upaya peningkatan kenyamanan termal berdasarkan hasil analisis dan skenario atau rekomendasi perbaikan.

## 2.2 ERGONOMI

Ergonomi merupakan suatu ilmu yang memuat aturan dalam sebuah lingkungan kerja. Ergonomi erat hubungannya dengan performansi kerja seorang operator, karena pada dasarnya apabila sebuah aktivitas yang tidak mengindahkan aspek ergonomi, maka akan dapat terjadi banyak kecelakaan kerja yang mengakibatkan turunnya performansi kerja. Ergonomi dapat pula dikatakan sebagai ilmu yang mempelajari interaksi manusia dengan pekerjaannya, lingkungan kerjanya serta peralatan yang digunakannya.

Ergonomi atau *ergonomics* sebenarnya berasal dari kata Yunani yaitu “*Ergo*” yang berarti kerja dan “*Nomos*” yang berarti hukum. Dengan demikian ergonomi dimaksudkan sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya (Wignjosuebrot, 2003). Dengan menelaah arti dasar kata tersebut maka dapat diartikan bahwa ergonomi dimaksudkan sebagai disiplin ilmu yang mempelajari manusia dengan pekerjaannya, lingkungan kerja serta peralatan yang digunakannya. Di beberapa wilayah negara, ergonomi dikenal pula dengan sebutan *Human Factor*. Beberapa ahli mendefinisikan ergonomi sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, engineering, manajemen, dan desain atau perancangan (Nurmianto, 1996). Dengan penerapan ergonomi dalam bentuk pengaturan sikap, tata cara kerja dan perencanaan kerja yang tepat adalah syarat enting bagi efisiensi dan produktivitas kerja yang tinggi (Suma'mur, 1989).

## 2.3 LINGKUNGAN KERJA

Lingkungan kerja dalam perusahaan sangat penting untuk diperhatikan manajemen. Lingkungan kerja adalah segala sesuatu yang ada di sekitar para pekerja yang dapat mempengaruhi dirinya dalam menjalankan tugas-tugas yang diembankan (Nitisemito, 2000). Lingkungan kerja yang memuaskan bagi pekerja akan dapat meningkatkan kinerja. Sebaliknya lingkungan kerja yang tidak memuaskan akan dapat menurunkan kinerja dan akhirnya akan menurunkan motivasi pekerja. Secara garis besar, jenis lingkungan kerja

terbagi menjadi dua yaitu lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik (Sedarmayanti, 2009).

### 2.3.1 Lingkungan Kerja Fisik

Lingkungan kerja fisik adalah semua keadaan berbentuk fisik yang terdapat di sekitar tempat kerja yang dapat mempengaruhi karyawan baik secara langsung maupun secara tidak langsung (Sedarmayanti, 2009). Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh dalam aktivitas kerja manusia, salah satunya adalah faktor lingkungan. Temperatur, pencahayaan, kebisingan, getaran, bau, dan lain sebagainya yang terkait dalam sistem sensorik manusia merupakan beberapa contoh dari faktor lingkungan kerja fisik yang akan berpengaruh terhadap hasil kerja manusia. Beberapa kondisi lingkungan kerja fisik berpengaruh langsung terhadap sistem sensorik seperti: cahaya dan penglihatan, kebisingan dan pendengaran, getaran dan syaraf perasa. Lingkungan kerja fisik harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mendukung kinerja dari pekerja agar selalu dalam kondisi yang aman dan nyaman.

Faktor yang dapat mempengaruhi terbentuknya suatu kondisi lingkungan kerja dikaitkan dengan kemampuan karyawan, diantaranya adalah (Sedarmayanti, 2009):

#### 1. Penerangan/Cahaya di Tempat Kerja

Cahaya atau penerangan sangat besar manfaatnya bagi karyawan guna mendapat keselamatan dan kelancaran kerja. Oleh sebab itu perlu diperhatikan adanya penerangan (cahaya) yang terang tetapi tidak menyilaukan. Cahaya yang kurang jelas menyebabkan pekerjaan akan lambat, banyak mengalami kesalahan, dan pada akhirnya pekerjaan kurang efisien, sehingga tujuan organisasi sulit dicapai.

#### 2. Temperatur di Tempat Kerja

Tubuh manusia selalu berusaha untuk mempertahankan keadaan normal dengan suatu sistem tubuh yang sempurna sehingga dapat menyesuaikan diri dengan perubahan yang terjadi di luar tubuh. Kemampuan untuk menyesuaikan diri tersebut ada batasnya, yaitu bahwa tubuh manusia masih dapat menyesuaikan dirinya dengan temperatur luar jika perubahan temperatur luar tubuh tidak lebih dari 20% untuk kondisi panas dan 35% untuk kondisi dingin, dari keadaan normal tubuh. Menurut hasil penelitian, untuk berbagai tingkat temperatur akan memberi pengaruh yang berbeda.

### 3. Kelembaban di Tempat Kerja

Secara bersama-sama temperatur, kelembaban, kecepatan udara bergerak, dan radiasi panas dari udara akan mempengaruhi keadaan tubuh manusia pada saat menerima atau melepaskan panas dari tubuhnya. Suatu keadaan dengan temperatur udara sangat panas dan kelembaban tinggi, akan menimbulkan pengurangan panas dari tubuh secara besar-besaran karena sistem penguapan. Pengaruh lain adalah makin cepatnya denyut jantung karena makin aktifnya peredaran darah untuk memenuhi kebutuhan oksigen.

### 4. Sirkulasi Udara di Tempat Kerja

Oksigen merupakan gas yang dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk menjaga kelangsungan hidup yaitu untuk proses metabolisme. Udara di sekitar dikatakan kotor apabila kadar oksigen dalam udara tersebut telah berkurang dan telah bercampur dengan gas atau bau-bauan yang berbahaya bagi kesehatan tubuh. Dengan cukupnya oksigen di sekitar tempat kerja akan memberikan kesejukan dan kesegaran pada jasmani. Rasa sejuk dan segar selama bekerja akan membantu mempercepat pemulihan tubuh akibat lelah setelah bekerja.

### 5. Kebisingan di Tempat Kerja

Kebisingan adalah bunyi yang tidak dikehendaki oleh telinga. Tidak dikehendaki karena terutama dalam jangka panjang bunyi tersebut dapat mengganggu ketenangan bekerja, merusak pendengaran, dan menimbulkan kesalahan komunikasi, bahkan menurut penelitian, kebisingan yang serius bisa menyebabkan kematian. Karena pekerjaan membutuhkan konsentrasi, maka suara bising hendaknya dihindarkan agar pelaksanaan pekerjaan dapat dilakukan dengan efisien sehingga produktivitas kerja meningkat.

### 6. Getaran Mekanis di Tempat Kerja

Getaran mekanis artinya getaran yang ditimbulkan oleh alat mekanis, yang sebagian dari getaran ini sampai ke tubuh karyawan dan dapat menimbulkan akibat yang tidak diinginkan. Getaran mekanis pada umumnya sangat mengganggu tubuh karena ketidak teraturannya, baik tidak teratur dalam intensitas maupun frekuensinya. Gangguan terbesar terhadap tubuh terjadi apabila frekuensi alam ini beresonansi dengan frekuensi dari getaran mekanis. Secara umum getaran mekanis dapat mengganggu tubuh dalam hal konsentrasi bekerja, datangnya kelelahan, dan timbulnya beberapa penyakit diantaranya: gangguan terhadap mata, syaraf, peredaran darah, otot, tulang, dan lain-lain.

7. **Bau-bauan di Tempat Kerja**  
Adanya bau-bauan di sekitar tempat kerja dapat dianggap sebagai pencemaran, karena dapat mengganggu konsentrasi bekerja, dan bau-bauan yang terjadi terus menerus dapat mempengaruhi kepekaan penciuman.
8. **Tata Warna di Tempat Kerja**  
Menata warna di tempat kerja perlu dipelajari dan direncanakan dengan sebaik-baiknya. Pada kenyataannya tata warna tidak dapat dipisahkan dengan penataan dekorasi. Hal ini dapat dimaklumi karena warna mempunyai pengaruh besar terhadap perasaan. Sifat dan pengaruh warna kadang-kadang menimbulkan rasa senang, sedih, dan lain-lain.
9. **Dekorasi di Tempat Kerja**  
Dekorasi ada hubungannya dengan tata warna yang baik. Dekorasi tidak hanya berkaitan dengan hasil ruang kerja saja tetapi berkaitan juga dengan cara mengatur tata letak, tata warna, perlengkapan, dan lainnya untuk bekerja.
10. **Musik di Tempat Kerja**  
Menurut para pakar, musik yang nadanya lembut sesuai dengan suasana, waktu, dan tempat dapat membangkitkan dan merangsang karyawan untuk bekerja. Oleh karena itu lagu-lagu perlu dipilih dengan selektif untuk dikumandangkan di tempat kerja. Tidak sesuainya musik yang diperdengarkan di tempat kerja akan mengganggu konsentrasi kerja.
11. **Keamanan di Tempat Kerja**  
Guna menjaga tempat dan kondisi lingkungan kerja tetap dalam keadaan aman maka perlu dilakukan upaya untuk menjaga keamanan. Salah satunya dapat memanfaatkan tenaga Satuan Petugas Keamanan (SATPAM).

### **2.3.2 Lingkungan Kerja Non Fisik (Sosial)**

Lingkungan kerja non fisik adalah semua keadaan yang terjadi yang berkaitan dengan hubungan kerja, baik hubungan dengan atasan maupun hubungan sesama rekan kerja, ataupun hubungan dengan bawahan (Sedarmayanti, 2001). Suasana lingkungan kerja yang menyenangkan akan dapat mempengaruhi karyawan dalam pekerjaannya. Menurut Nitisemito (2000), perusahaan hendaknya dapat mencerminkan kondisi yang mendukung kerja sama antara atasan, bawahan maupun yang memiliki status jabatan yang sama di perusahaan. Kondisi yang hendaknya diciptakan adalah suasana

kekeluargaan yang memperhatikan etika dan komunikasi yang baik serta saling menghormati sehingga dapat mendukung kinerja perusahaan.

## 2.4 THERMAL COMFORT

Menurut Karyono (2001), kenyamanan termal adalah respon manusia terhadap rangsangan suhu yang diterima dari lingkungan. Respon yang ditunjukkan manusia dalam hal ini adalah pekerja yaitu rasa panas dan dingin. Rasa panas dan dingin berlebih yang dirasakan pekerja akan dapat menimbulkan terjadinya gangguan kesehatan. Kenyamanan termal terdiri dari dasar fisiologi suatu kenyamanan, efek samping dari ketidaknyamanan dan daerah temperatur secara fisiologi yang berpengaruh terhadap performansi pekerja. Ketidaknyamanan dapat menjadi sebuah gangguan atau bahkan akan menimbulkan efek-efek psikologis ataupun salah satu nyeri fisiologis tergantung pada level dari proses pertukaran panasnya (Nurmianto, 1996). Gangguan kesehatan dapat dialami pekerja apabila temperatur lingkungan kerja berada pada kondisi yang sangat panas maupun dingin. Kenyamanan termal dapat diperoleh ketika panas tubuh yang dihasilkan dari metabolisme dapat keluar dari tubuh secara seimbang. Faktor lingkungan yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah hal yang menentukan keluar masuknya panas dari dalam tubuh antara lain: *air temperature, mean radiant temperature, operative temperature, air velocity*, metabolisme tubuh, dan *clothing insulation*.

### 2.4.1 Heat Stress

*Heat stress* adalah gejala akibat tubuh tidak mampu menyesuaikan panas dengan keadaan lingkungan sekitar (Diharja, 2011). *Heat stress* dapat dialami dan terjadi saat kondisi panas dan pada banyak lingkungan kerja seperti ruang produksi, dapur, dan lain-lain. Pada lingkungan kerja di luar ruangan, sumber panas berasal dari radiasi sinar matahari. Pada saat panas bersamaan dengan stres akibat tekanan kerja maka akan dapat menimbulkan penyakit, gangguan kesehatan dan dapat mengakibatkan kematian. Tekanan panas dapat menyebabkan tingginya angka kesalahan dan kecelakaan kerja yang menyebabkan penurunan efisiensi dan produktivitas kerja. Secara lebih rinci gangguan kesehatan akibat pemaparan suhu lingkungan panas yang berlebihan dapat dijelaskan sebagai berikut (Kroemer-Elbert, 1994):

- a. Gangguan perilaku dan performansi kerja seperti, terjadinya kelelahan, sering melakukan istirahat curian dll.

- b. *Dehydration* adalah suatu kehilangan cairan tubuh yang berlebihan yang disebabkan baik oleh penggantian cairan yang tidak cukup maupun karena gangguan kesehatan. Pada kehilangan cairan tubuh  $< 1,5\%$  gejalanya tidak nampak, kelelahan muncul lebih awal dan mulut mulai kering.
- c. *Heat Rash* adalah keadaan seperti biang keringat atau keringat buntat, gatal kulit akibat kondisi kulit terus basah. Pada kondisi demikian pekerja perlu beristirahat pada tempat yang lebih sejuk dan menggunakan bedak penghilang keringat.
- d. *Heat Cramps* merupakan kejang-kejang otot tubuh (tangan dan kaki) akibat keluarnya keringat yang menyebabkan hilangnya garam natrium dari tubuh yang kemungkinan besar disebabkan karena minum terlalu banyak dengan sedikit garam natrium.
- e. *Head Syncope* atau *Fainting* adalah suatu keadaan yang disebabkan karena aliran darah ke otak tidak cukup karena sebagian besar aliran darah dibawa ke permukaan kulit atau perifer yang disebabkan karena pemaparan suhu tinggi.
- f. *Heat Exhaustion* adalah suatu keadaan yang terjadi apabila tubuh kehilangan terlalu banyak cairan dan atau kehilangan garam. Gejalanya mulut kering, sangat haus, lemah, dan sangat lelah.

#### 2.4.2 Cold Stress

Cuaca dingin yang ekstrim adalah situasi berbahaya yang dapat membuat kesehatan menjadi kondisi yang kritis (Diharja, 2011). Pekerja yang mengalami dingin ekstrim atau bekerja di lingkungan yang dingin memungkinkan untuk terkena *cold stress*. Pada saat suhu turun di bawah normal dan kecepatan angin meningkat, maka panas dalam tubuh dapat dengan lebih cepat meninggalkan tubuh. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan masalah kesehatan antara lain (Diharja, 2011):

1. Hipotermia
  - a. Hipotermia adalah kondisi dimana suhu tubuh terlalu rendah sehingga mempengaruhi otak hingga tidak dapat berpikir dengan jernih dan tubuh menjadi sulit bergerak
  - b. Gejala yang ditimbulkan yaitu menggigil, kelelahan, susah bernafas, kulit membiru, kehilangan keseimbangan tubuh, dan kebingungan
  - c. Penanganan yaitu dipindahkan ke kondisi yang lebih hangat

## 2. *Cold Water Immersion*

*Cold Water Immersion* adalah kondisi *cold stress* yang lebih cepat terjadi dibandingkan hipotermia. Stress dingin ini disebabkan oleh tubuh yang masuk pada air dengan suhu dibawah 70°F. *Cold Water Immersion* lebih cepat terjadi karena air memiliki konduktivitas 25 kali lebih besar daripada udara.

## 3. *Frostbite*

- a. *Frostbite* adalah hilangnya rasa dan warna pada daerah yang terkena dingin. Paling sering mempengaruhi hidung, telinga, pipi, dagu, jari-jari tangan atau kaki.
- b. Gejala gejala *frostbite* adalah: Merasa kesemutan, rasa nyeri hingga kebiruan, dan kulit menjadi menyerupai lilin
- c. Pertolongan pertama untuk *frostbite* adalah benamkan daerah yang terkena pada air hangat (bukan air panas) atau menggunakan panas tubuh seperti panas ketiak dapat digunakan untuk menghangatkan jari-jari yang membeku. Jangan menggosok atau memijat daerah *frostbitten* karena dapat menyebabkan kerusakan jaringan.

## 4. *Trench Foot*

- a. *Trench foot* (Kaki parit) adalah cedera yang dikarenakan paparan kondisi basah dan dingin pada kaki. Jaringan kulit bisamati karena kekurangan oksigen dan nutrisi.
- b. Gejala gejala *trench foot* adalah kemerahan pada kulit, kaki mati rasa, kaki kram, pembengkakan, kesemutan, atau kaki dapat berubah ungu, biru atau abu-abu.
- c. Pertolongan pertama pada penderita parit kaki adalah melepas sepatu atau kaus kaki yang basah kemudian mengeringkan kaki penderita.

## 5. *Chilblains*

- a. *Chilblains* adalah bengkak yang disebabkan oleh paparan suhu di antara 0°F-60°F secara berulang. Paparan dingin menyebabkan kerusakan kelompok pembuluh darah kecil di kulit.
- b. Kemerahan, bengkak, dan gatal-gatal pada *chilblains* biasanya terjadi pada pipi, telinga, jari-jari, dan jari kaki.
- c. Pertolongan pertama penderita *chilblains* adalah menggunakan krim *kortikosteroid* untuk meringankan gatal dan kulit yang bengkak.

## 2.5 INDOOR CLIMATE

*Indoor Climate* menurut Grandjean (1986), adalah suatu kondisi fisik sekeliling dimana kita melakukan suatu aktifitas tertentu yang meliputi hal-hal sebagai berikut: temperatur udara, temperatur permukaan sekeliling, kelembaban udara, dan aliran perpindahan udara. Untuk menunjang pembahasan mengenai *indoor climate*, berikut dianalisa tentang keteraturan panas dalam tubuh manusia yang meliputi: temperatur badan, pengendalian proses panas, transportasi panas oleh aliran darah, berkeringat, gerakan otot cepat, dan pertukaran panas (Nurmianto, 1996).

### 2.5.1 Temperatur Badan

Temperatur tubuh manusia selalu tetap (konstan). Pada bagian dalam otak, jantung, dan didalam perut, temperaturnya berfluktuasi sekitar 37°C yang disebut sebagai temperatur inti/utama (*core temperature*). Suatu *core temperature* yang konstan adalah prasyarat untuk fungsi normal dari fungsi vital yang paling penting. Lawan dari *core temperature* yaitu temperatur yang terdapat didalam otot, tangan, kaki, dan di seluruh bagian kulit (*shell temperature*). Secara psikologis dikatakan oleh Grandjean (1986), bahwa jika temperatur sekeliling sangatlah dingin maka akan ada perbedaan temperatur yang menyolok (*sleep temperature gradient*) pada bagian kulit yaitu dari bagian dalam kulit ke arah keluar kulit.

### 2.5.2 Pengendalian Proses Panas

Mekanisme pengendalian proses panas melalui tubuh manusia sangat penting untuk menjaga agar temperatur inti selalu tetap konstan. Pusat panas terletak pada bagian otak yang mengatur aliran darah melalui pembuluh-pembuluh kulit, misalnya keluarnya keringat. Sel-sel syaraf dari pusat pengendali panas berfungsi menerima informasi tentang temperatur yang melalui tubuh. Kemudian pusat pengendali panas mengirim *impulse* yang diperlukan agar temperatur inti tetap konstan. *Impulse* merupakan transmisi gelombang rangsangan secara fisiologi melalui sel syaraf yang menghasilkan suatu gerakan, misalnya gerakan otot. *Impulse* tersebut akan mengendalikan produksi panas dalam tubuh, sistem sirkulasi panas, dan panas yang hilang dengan keluarnya keringat.

### 2.5.3 Transportasi Panas Oleh Aliran Udara

Hal terpenting dalam pengaturan panas tubuh adalah fungsi transportasi panas oleh darah melalui pembuluh darah, terutama pembuluh kapiler yang berfungsi sebagai

distributor panas dan memindahkan panas dari jaringan hangat ke jaringan dingin. Darah memindahkan panas dari dalam tubuh ke daerah permukaan kulit yang terlebih dahulu didinginkan oleh temperatur di luar tubuh. Apabila bagian di luar tubuh panas maka panas akan dipindahkan ke bagian dalam tubuh yang lain. Kunci dari mekanisme ini adalah dari pengendalian sirkulasi darah di dalam kulit.

#### 2.5.4 Berkeringat

Mekanisme pengaturan yang kedua diatur oleh pusat pengendalian panas adalah keluarnya keringat melalui kulit. Hal tersebut dikendalikan sel syaraf.

#### 2.5.5 Gerakan Otot Cepat

Mekanisme pengaturan yang ketiga yaitu meningkatnya panas yang diproduksi oleh tubuh. Peningkatan tersebut ditandai meningkatnya metabolisme panas pada otot dan organ yang lain. Kondisi tersebut ditandai dengan gerakan otot yang cepat disebut dengan *shivering*.

#### 2.5.6 Pertukaran Panas Pada Tubuh Manusia

Tubuh manusia merubah energi kimia menjadi energi mekanis dan panas. Tubuh menggunakan panas tersebut untuk menjaga temperature inti tetap konstan dan mengurangi keluarnya panas yang berlebihan pada sekeliling luar tubuh. Suatu pertukaran yang tetap dari panas antara tubuh dan sekelilingnya dimaksudkan untuk mengatur pengendalian panas secara fisiologi dan fisika. Proses fisika pada tubuh manusia dibagi menjadi empat bagian (Grandjean, 1986):

1. Konduksi

Pertukaran panas oleh konduksi bergantung pada konduktifitas obyek dan material yang bersentuhan dengan kulit. Konduktifitas panas adalah sangat penting dalam pemilihan material untuk keperluan suatu perancangan yang berada pada stasiun kerja. Misalnya: lantai, mebel dan *handle*.

2. Konveksi

Pertukaran panas melalui proses konveksi tergantung sepenuhnya pada perbedaan temperatur antara kulit dan udara sekeliling, dan juga aliran gerakan udara. Pada kondisi normal, proses ini terhitung sampai 25-30 % dari total proses perpindahan panas dalam tubuh manusia.

### 3. Evaporasi keringat

Hilangnya panas dengan proses keluarnya keringat terjadi karena keringat di bagian kulit tersebut menguap/evaporasi. Menguapnya keringat akan mengkonsumsi energi panas laten. Jumlah panas laten untuk proses evaporasi menurut Grandjean (1986), adalah sebanyak 0,58 kcals per gram air yang menguap. Pada kondisi normal setiap orang akan menguapkan sebanyak satu liter per hari. Berarti akan kehilangan 600 kcal atau sekitar  $\frac{1}{4}$  dari total panas yang hilang per harinya. Apabila temperatur sekeliling melebihi batas ambang kenyamanan maka kulit akan merefleksikannya berupa proses keluarnya keringat yang disertai dengan hilangnya panas. Proses hilangnya panas karena penguapan keringat tersebut tergantung dari luasan kulit yang bersangkutan dan juga pada perbedaan tekanan uap keringat yang berada antara udara dan kulit.

### 4. Radiasi

Tubuh manusia yang panas akan meradiasikan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang relatif panjang, yang diabsorpsi oleh benda lain (obyek atau permukaan benda) dan dikonversikan lagi dalam bentuk panas (Grandjean, 1986). Jadi radiasi adalah pemindahan panas atas dasar gelombang-gelombang elektromagnetik. Proses pertukaran melalui radiasi terjadi diantara tubuh manusia dan sekelilingnya (dinding, benda mati, manusia), dalam kedua arah, sepanjang waktu. Radiasi panas banyak dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, dan aliran udara. Di negara-negara dengan iklim tropis, permukaan obyek pada sekeliling biasanya lebih dingin dari kulit tubuh manusia, sehingga tubuh manusia akan kehilangan sejumlah panas radiant dalam aktifitasnya sehari-hari. Jumlah panas radiant yang hilang dalam sehari oleh seseorang (pakaian lengkap/sempurna) sangat bervariasi sekali tergantung dari kasusnya. Rata-rata panas yang hilang adalah sebesar 1000-1500 kcal dalam sehari, terhitung untuk 40-60 % total panas yang hilang dari tubuh manusia.

Prinsip-prinsip pertukaran panas antara tubuh manusia dan sekelilingnya dapat dikatakan ada empat faktor fisik. Berikut merupakan variabel yang *desicive*:

- a. Temperatur udara (untuk pertukaran panas melalui proses konveksi)
- b. Aliran udara (untuk konveksi)
- c. Temperatur yang berdekatan dengan tubuh manusia: dinding, plafon, lantai (untuk pertukaran panas secara radiasi)
- d. Kelembaban udara relatif (untuk hilangnya panas oleh karena evaporasi keringat).

## 2.6 PREDICTED MEAN VOTE (PMV)

Model *Predicted Mean Vote* (PMV) merupakan *index* yang dikenalkan oleh Profesor Fanger dari *University of Denmark*. PMV digunakan untuk mengindikasikan sensasi dingin (*cold*) dan hangat (*warmth*) yang dirasakan oleh manusia (Fanger, 1970). Menurut Stanton (2004), PMV merupakan *index* yang paling banyak digunakan dalam lingkungan termal untuk memprediksi nilai rata-rata dari keseluruhan sensasi termal yang dirasakan sekelompok orang. Dalam standar ISO 7730 disebutkan bahwa salah satu standar kenyamanan termal adalah menetapkan kondisi lingkungan yang bisa diterima untuk kenyamanan. PMV berhubungan dengan 9 skala dan merupakan nilai rata-rata yang menggambarkan bagaimana yang dirasakan oleh seseorang mengenai kondisi *cold* dan *hot*. Berikut merupakan skala PMV yang mendeskripsikan sensasi termal yang dirasakan oleh manusia berdasarkan standar ISO 7730 yang tergambar pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Skala PMV

PMV	Thermal Sensation
+4	Very Hot
+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly Warm
0	Neutral
-1	Slightly Cool
-2	Cool
-3	Cold
-4	Very Cold

Sumber: Stanton (2004)

Sebuah tes dilakukan oleh Fanger di Denmark untuk mengaplikasikan formula PMV pada seluruh tipe bangunan dan dalam seluruh daerah iklim. Kesimpulan dari penelitian tersebut antara lain:

1. Tidak ada perbedaan yang signifikan dalam persepsi kenyamanan berdasar pada letak geografis atau musim (termasuk daerah tropis)
2. Tidak ada perbedaan yang signifikan berdasar pada umur (karena orang yang lebih tua memiliki tingkat metabolisme yang lebih rendah dinetralkan oleh tingkat keringat yang lebih rendah)
3. Tidak ada perbedaan yang signifikan berdasar pada jenis kelamin
4. Tidak ada perbedaan yang signifikan berdasar pada bentuk tubuh
5. Tidak ada perbedaan yang signifikan berdasar pada asal etnis

### 2.6.1 Parameter yang Mempengaruhi PMV

PMV memperhitungkan faktor yang berhubungan dengan keseimbangan termal dalam tubuh meliputi parameter lungkungan dan tingkat aktivitas. Berikut merupakan parameter yang mempengaruhi nilai PMV:

#### 1. *Metabolic Rate*

Standar ASHRAE 55 (2004) mendefinisikan tingkat metabolisme tubuh adalah tingkat transformasi energi kimia menjadi panas dan kerja mekanik oleh aktivitas metabolik suatu organisme. Metabolisme tubuh dinyatakan dalam satuan luas permukaan tubuh keseluruhan yaitu met, yang didefinisikan pada Persamaan (2-1).

$$1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2 \text{ (18.4 Btu/h}\cdot\text{ft}^2\text{)} \quad (2-1)$$

Sumber: Stanton (2004)

Energi sebanyak 1 met tersebut sama dengan energi yang dihasilkan per satuan luas permukaan dari orang duduk saat istirahat. Tabel 2.3 berikut menunjukkan tabel laju metabolisme tubuh untuk berbagai aktivitas:

**Tabel 2.3** Laju Metabolisme Tubuh Berdasarkan Aktivitas

Aktivitas	Laju Metabolisme (met)	Aktivitas	Laju Metabolisme (met)
<b>Istirahat</b>		<b>Pekerjaan lain</b>	
Tidur	0,7	Reparasi jam tangan, duduk	1,1
Berbaring	0,8	Mengangkat atau mengepak	1,2 – 2,4
Duduk, Membaca	0,9	Bengkel (mengganti ban, dll)	2,2 – 3,0
<b>Pekerjaan Kantor</b>		<b>Mengendarai Kendaraan</b>	
Duduk, menulis	1,0	Mobil	1,5
Duduk, mengetik atau berbicara	1,2 – 1,4	Sepeda Motor	2,0
Membuat file duduk	1,2	Kendaraan Berat	3,2
Berdiri, berbicara	1,2	Pesawat Terbang	1,4
Membuat draft	1,1 – 1,3	Pendaratan	1,8
Pekerjaan kantor lain	1,1 – 1,3	Pesawat Tempur	2,4
Membuat file berdiri	1,4	<b>Aktivitas Senggang</b>	
<b>Berjalan (permukaan datar)</b>		Memancing	1,2 – 2,0
2 mph (0,89 m/s)	2,0	Golf dan berjalan	1,4 – 2,6
3 mph (1,34 m/s)	2,6	Golf menggunakan golf cart	1,4 – 1,8
4 mph (1,79 m/s)	3,8	Berdansa	2,4 – 4,4
<b>Pekerjaan Domestik</b>		Kebugaran	3,0 – 4,0
Berbelanja	1,4 – 1,8	Tenis	3,6 – 4,6
Memasak	1,6 – 2,0	Bola dan raket	5,0 – 7,2
Membersihkan rumah	2,0 – 3,4	Basket	5,0 – 7,6
Mencuci dan menyetrika	2,0 – 3,6	Gulat atau tinju	7,0 – 8,7
<b>Pekerjaan Kayu</b>			
Menggergaji dengan mesin	1,8 – 2,2		
Menggergaji dengan tangan	4,0 – 4,8		
Memahat kayu	5,6 – 6,4		

Sumber: ASHRAE *Standard* 55 (2004)

## 2. *Clothing Insulation*

*Clothing insulation* atau hambatan pakaian adalah isolasi termal yang diakibatkan oleh pakaian yang dikenakan (ASHRAE, 2004). *Clothing insulation* memiliki pengaruh langsung terhadap kenyamanan termal dan keseimbangan panas yang dirasakan manusia. Hambatan pakaian dapat dinyatakan dalam satuan Clo.

$$1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ K m}^2 / \text{W} \quad (2-2)$$

Sumber: Stanton (2004)

1 Clo setara dengan jumlah isolasi pakaian yang memungkinkan seseorang menjaga keseimbangan panas saat istirahat pada suhu 21°C dalam ruangan berventilasi normal (*air movement* = 0,1 m/s). Apabila suhu ruangan berada di atas suhu tersebut, maka orang akan merasa berkeringat dan apabila di bawah suhu tersebut, maka orang akan merasa kedinginan.

- a. Jika nilai isolasi yang ditunjukkan pada tabel *clothing ensembles* sudah cukup mewakili pakaian yang digunakan, maka nilai tabel ini dapat langsung digunakan. Tabel 2.4 berikut menjelaskan nilai Clo dari *clothing ensemble*.

**Tabel 2.4** Nilai Clo dari *Clothing Ensemble*

Deskripsi <i>clothing ensemble</i>	I <sub>cl</sub> (clo)
Celana, kaos lengan pendek	0,36
Celana, kemeja lengan pendek	0,57
Celana, kemeja lengan panjang	0,61
Celana, kemeja lengan panjang, jas	0,96
Celana, kemeja lengan panjang, rompi, t-shirt, dan jas	0,96
Celana, kemeja lengan panjang, sweater lengan panjang, T-shirt	1,01
Celana, kemeja lengan panjang, sweater lengan panjang, T-shirt, jas, dan celana panjang	1,30
Sweat pants, sweat shirt	0,74
Atasan piyama lengan panjang, celana piyama panjang, sandal (tanpa kaus kaki)	0,96
Rok selutut, kemeja lengan pendek, stoking, sandal	0,54
Rok selutut, kemeja lengan panjang, androk panjang, stoking	0,67
Rok selutut, kemeja lengan panjang, androk, stoking, sweater lengan panjang	1,10
Rok selutut, kemeja lengan panjang, androk, stoking, jas	1,04
Rok sepanjang ankle, kemeja lengan panjang, jas, stoking	1,10
Baju lengan panjang, T-shirt	0,72
<i>Cattlepack</i> , Kemeja lengan panjang, T-shirt	0,89
T-shirt, pakaian dalam lengan panjang, celana panjang	1,37

Sumber: ASHRAE *Standard 55* (2004) (Terjemahan)

- b. Jika perlu menambahkan atau mengurangi pakaian yang ada pada tabel *clothing ensembles*, maka dapat digunakan tabel isolasi *garment* sebagai faktor penyesuaian. Tabel 2.5 berikut menjelaskan nilai Clo dari isolasi *garment*.

**Tabel 2.5** Nilai Clo Isolasi *Garment*

Deskripsi <i>clothing ensemble</i>	$I_{cl}$ (clo)	Deskripsi <i>clothing ensemble</i>	$I_{cl}$ (clo)
<b>Pakaian dalam</b>		<b>Pakaian dan Rok</b>	
Bra	0,01	Rok (tipis)	0,14
Celana dalam wanita	0,03	Rok (tebal)	0,23
Dalaman celana pria	0,04	Baju tanpa lengan, tanpa kerah (tipis)	0,23
Kaos Oblong	0,08	Baju tanpa lengan, tanpa kerah (tebal), seperti jumper	0,27
Androk	0,14	Baju lengan pendek (tipis)	0,29
Dalaman celana pria panjang	0,15	Baju lengan panjang (tipis)	0,33
Kaos kaki sepanjang ankle	0,02	Rompi (tipis)	0,13
Stoking	0,02	Rompi (tebal)	0,22
Sandal	0,02	Lengan panjang (tipis)	0,25
Sepatu	0,02	Lengan panjang (tebal)	0,36
Sandal (Tebal)	0,03		
Kaos kaki sebetis	0,03	<b>Jaket jas dan rompi</b>	
Kaos kaki selutut (tebal)	0,06	Rompi (tipis)	0,10
Sepatu bot	0,10	Rompi (tebal)	0,17
<b>Kaos dan Blus</b>		Jas kancing tunggal (tipis)	0,36
Blus tanpa kerah	0,12	Jas kancing tunggal (tebal)	0,44
Kaos rajut lengan pendek	0,17	Jas kancing dobel (tipis)	0,42
Kemeja lengan pendek	0,19	Jas kancing dobel (tebal)	0,48
Kemeja lengan panjang	0,25		
Kemeja flanel lengan panjang	0,34	<b>Pakaian Tidur dan Jubah</b>	
Kaos lengan panjang	0,34	Gaun pendek tanpa lengan (tipis)	0,18
<b>Celana</b>		Gaun panjang tanpa lengan (tipis)	0,20
Celana pendek	0,06	Gaun rumah sakit lengan pendek	0,31
Celana jalan pendek	0,08	Jubah pendek lengan pendek (tipis)	0,34
Celana bahan tipis	0,15	Piyama lengan pendek (tipis)	0,42
Celana bahan tebal	0,24	Gaun panjang lengan panjang (tebal)	0,46
Celana olahraga	0,28	Jubah panjang lengan pendek (tebal)	0,48
<i>Cattlepack</i>	0,30	Piyama lengan panjang (tebal)	0,57
Baju kerja	0,49	Jubah panjang lengan panjang (tebal)	0,69

Sumber: ASHRAE *Standard 55* (2004)

### 3. *Air Temperature*

*Air temperature* atau suhu udara adalah suhu rata-rata yang berada di sekitar seseorang pada lokasi dan waktu tertentu (ASHRAE, 2004). Suhu diukur

menggunakan termometer yang berhubungan langsung dengan udara tetapi tanpa memperhatikan kelembaban dan radiasi. Sehingga suhu udara dapat juga diartikan pula sebagai suhu bola kering (*dry bulb temperature*). Suhu dinyatakan dalam satuan derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ), atau Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

#### 4. Mean Radiant Temperature

*Mean Radiant Temperature* (MRT) berhubungan dengan jumlah radiasi panas yang dikeluarkan dari sebuah permukaan (ASHRAE, 2004). Hal ini bergantung pada kemampuan material dalam menyerap atau memancarkan panas atau disebut *emmissivity*. Selain itu MRT juga tergantung pada luas permukaan dari sebuah objek. Konsep MRT timbul dari kenyataan bahwa perukaran energi radiasi antara dua benda sebanding dengan emisivitasnya.

MRT dapat diukur menggunakan beberapa cara, antara lain *menggunakan two-sphere radiometer*, *constant-air-temperature sensor*, atau *black-globe thermometer*. *Black-globe thermometer* terdiri atas bola hitam dengan sensor temperatur di tengahnya seperti bola termometer raksa dan *thermocople* atau *resistance*. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$MRT = \left[ (GT + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v_a^{0,6}}{\varepsilon \times D^{0,4}} (GT - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (2-3)$$

Sumber: Stanton (2004)

Dimana:

MRT = *mean radiant temperature* ( $^{\circ}\text{C}$ )

GT = *globe temperature* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$v_{ar}$  = kecepatan relatif udara terhadap tubuh manusia (m/s)

$\varepsilon$  = emissivitas bola

D = diameter bola (m)

$t_a$  = *suhu udara* ( $^{\circ}\text{C}$ )

Pada penelitian ini *Mean Radiant Temperature* (MRT) diasumsikan sama dengan *air temperature*. Menurut Cigler (2012), pengukuran yang rumit untuk MRT dapat diasumsikan sama dengan *air temperature* karena pada ruang *indoor* nilai MRT tidak berbeda jauh dengan *air temperature*.

#### 5. Operative Temperature

*Operative temperature* (OT) adalah gabungan dari pengaruh suhu udara dan MRT atau dapat dikatakan sebagai rata-rata *dry-bulb temperature* dan MRT (ASHRAE,

2004). OT juga didefinisikan sebagai efek kombinasi dari perpindahan panas konveksi dan radiasi.

#### 6. *Air Velocity*

*Air velocity* atau kecepatan udara didefinisikan sebagai laju pergerakan udara pada suatu titik tanpa memperhatikan arah (ASHRAE, 2004). Menurut standar ASHRAE 55, kecepatan udara adalah rata-rata dari kecepatan udara yang mengenai tubuh pada suatu lokasi dan waktu. Kecepatan udara yang disarankan pada ruangan dibawah 0,5 m/s. Kecepatan udara dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s).

#### 7. *Relative Humidity*

*Relative humidity* (RH) atau kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah uap air di udara dengan jumlah uap air di udara yang mampu ditahan pada suhu dan tekanan udara tertentu (ASHRAE, 2004). Cara untuk mengukur jumlah RH di udara adalah menggunakan sistem termometer bola basah dan bola kering. Pada suatu lokasi dengan RH tinggi maka kemampuan tubuh untuk berkeringat (evaporasi) akan berkurang. Dengan berkurangnya kemampuan untuk berkeringat maka kemampuan *heat loss* tubuh juga akan berkurang. Lokasi dengan nilai RH yang rendah atau sangat kering (RH<25%) juga tidak nyaman bagi tubuh karena efeknya pada selaput lendir. Level kelembaban relatif yang disarankan oleh Balaras (2007) pada ruangan adalah sekitar 30% hingga 70%.

### 2.6.2 Fungsi PMV

Ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk mendapatkan nilai PMV. Cara yang bisa digunakan antara lain: menggunakan pengukuran langsung dengan menggunakan sensor atau menggunakan persamaan dibawah ini, namun memerlukan bantuan program komputer untuk solusi penyelesaian  $t_{cl}$  dan  $h_c$ . Menurut Fanger (1970), perhitungan *thermal comfort* berdasarkan persamaan PMV terlalu rumit apabila dilakukan menggunakan aritmatika manual dan umumnya menggunakan bantuan komputer. ASHRAE (2004) menyediakan kalkulator PMV yang dibuat berdasarkan bahasa pemrograman dengan beberapa penyesuaian. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai PMV:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3}x[5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42x[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}x[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (2-4)$$

Dimana:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 (M - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [t_{cl} + 273]^4 - (MRT + 273)^4 \} + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (2-5)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{ketika } 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1 \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \sqrt{v_{ar}} & \text{ketika } 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1 \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (2-6)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{ketika } I_{cl} < 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{ketika } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} \end{cases} \quad (2-7)$$

Sumber: Stanton (2004)

Keterangan:

PMV = *Predicted Mean Vote*

M = nilai metabolisme dari area permukaan tubuh ( $\text{W/m}^2$ )

W = kegiatan eksternal = 0 untuk kebanyakan aktivitas ( $\text{W/m}^2$ )

$I_{cl}$  = daya tahan termal pada pakaian ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )

$f_{cl}$  = rasio area permukaan area berpakaian dengan area tidak berpakaian

$t_a$  = temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ )

MRT = *mean radiant temperature* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$v_{ar}$  = kecepatan relatif udara terhadap tubuh (m/s)

$p_a$  = *partial water vapour pressure* (Pa)

$h_c$  = koefisien *convective heat transfer* ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )

$t_{cl}$  = permukaan temperatur pakaian ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 2.7 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas, dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya (Munson, 2005). Prinsip dari CFD adalah ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya adalah pembagian ruang yang disebut tadi. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip tersebut yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain

penerapan prinsip ini adalah *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan terkenal pada tahun 70-an yang awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia. Namun seiring dengan perkembangannya industri, ditahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contoh sekarang ini banyak sekali paket-paket *software* CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa *stress* yang terjadi pada desain yang dibuat. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

1. Aliran dan panas
2. Transfer massa
3. Perubahan fasa seperti pada proses *melting*, pengembunan dan pendidihan
4. Reaksi kimia seperti pembakaran
  - a. Gerakan mekanis seperti piston dan *fan*
  - b. Tegangan dan tumpuan pada benda solid
  - c. Gelembung elektromagnetik

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah perhitungan yang mengkhususkan pada fluida (Munson, 2005). Mulai dari aliran fluida, *heat transfer*, dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Penghitungan dengan CFD dapat dilakukan atas dasar prinsip-prinsip mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, dan spesies. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan. Kontrol penghitungan tersebut akan melibatkan dan memanfaatkan persamaan-persamaan yang berkaitan. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang membangkitkan dengan memasukan parameter apa saja yang terlibat dalam *domain*. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan melalui persamaan-persamaan yang terlibat. Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama yaitu:

1. *Preprocessor*

*Preprocessor* adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*.

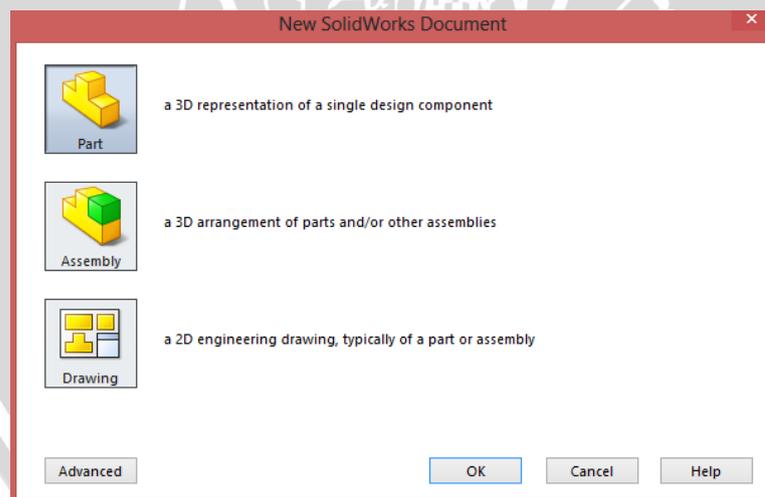
2. *Processor*

*Processor* adalah tahap selanjutnya, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data *input* dengan persamaan yang terlibat secara *iteratif*. Hal tersebut berarti penghitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit.

3. *Post processor*

*Post processor* adalah tahap akhir, dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

Hal paling mendasar mengapa konsep CFD (*software* CFD) banyak digunakan dalam dunia industri adalah dengan CFD dapat dilakukan analisis terhadap suatu sistem dengan lebih efektif dan efisien. Dengan menggunakan CFD maka biaya eksperimen dan waktu yang panjang dalam melakukan eksperimen dapat dikurangi. Dengan demikian proses *design engineering* yang dilakukan menjadi lebih singkat. Hal ini yang mendasari pemakaian konsep CFD merupakan pemahaman lebih dalam terhadap suatu masalah yang akan diselesaikan atau dalam hal ini terkait karakteristik aliran fluida dengan melihat hasil dari grafik, kontur, atau animasi. Gambar 2.1 adalah *user interface* simulasi CFD dari *software* Solidwork 2014.



**Gambar 2.1** User Interface Software Solidwork 2014

## BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan langkah-langkah sistematis yang akan dilakukan dalam penelitian. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode dalam melakukan penelitian ini dimana tahapannya dimulai dengan identifikasi masalah, studi pustaka dan lapangan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil dan pembahasan, dan penarikan kesimpulan saran.

### 3.1 JENIS PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif merupakan penelitian yang bertujuan untuk memberikan deskripsi secara sistematis, objektif, dan akurat sebagai evaluasi untuk pengambilan keputusan bagi pihak yang berwenang. Tujuan dari penelitian deskriptif adalah mencari penjelasan atas suatu fakta atau kejadian yang sedang terjadi, misalnya kondisi atau hubungan yang ada, pendapat yang sedang berkembang, akibat atau efek yang terjadi, atau kecenderungan yang sedang berlangsung (Mardalis, 1999).

### 3.2 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT Jaykay Files Indonesia yang berlokasi di Jalan Sukodono No 33 Gedangan, Sidoarjo, Jawa Timur. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan April 2014 sampai dengan Oktober 2015.

### 3.3 LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

Langkah-langkah sistematis dalam suatu penelitian sangat dibutuhkan untuk mempermudah dalam pengerjaan penelitian. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, dan tahap analisis dan pembahasan.

#### 3.3.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan (*Field Research*)

Studi lapangan merupakan suatu metode dimana peneliti secara langsung terjun secara langsung ke lapangan atau perusahaan untuk mengetahui permasalahan-permasalahan yang terdapat pada lapangan atau perusahaan secara langsung.

## 2. Studi Literatur (*Library Research*)

Studi literatur merupakan suatu metode untuk memperoleh data dengan studi literatur di perpustakaan atau membaca sumber-sumber data lainnya yang berhubungan dengan pembahasan. Studi literatur digunakan untuk memberikan landasan teori yang relevan untuk membantu proses pengerjaan dan penyelesaian penelitian yang dilakukan. Sumber literatur diperoleh dari buku cetak, jurnal ilmiah, serta studi terhadap penelitian terdahulu terkait dengan topik penelitian.

## 3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal untuk mengetahui dan memahami suatu permasalahan yang ada di PT Jaykay Files Indonesia. Permasalahan tersebut adalah permasalahan mengenai kenyamanan termal pada lingkungan kerja.

## 4. Rumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi permasalahan, peneliti merumuskan permasalahan yang ada sesuai dengan kenyataan di lapangan, yaitu bagaimana potensi *heat stress* dan bagaimana cara meningkatkan kenyamanan lingkungan termal pekerja departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia.

## 5. Penetapan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian perlu ditentukan agar penulisan skripsi dapat dilakukan sistematis dan sesuai dengan permasalahan yang dibahas. Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan. Hal ini ditujukan untuk mengukur keberhasilan dari suatu penelitian.

### 3.3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah pencatatan informasi atau keterangan maupun karakteristik sebagian atau seluruh elemen populasi yang menunjang dan mendukung penelitian. Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari obyek penelitian dan diamati pada tempat pelaksanaan penelitian. Data tersebut didapatkan melalui observasi secara langsung dan wawancara. Berikut merupakan data yang termasuk dalam data primer:
  - a. Wawancara: digunakan untuk mengetahui masalah yang dirasakan oleh pekerja maupun perusahaan. Wawancara merupakan metode pengumpulan data dengan cara berkomunikasi langsung dengan pihak-pihak yang berhubungan langsung dengan PT Jaykay Files Indonesia. Dalam penelitian

ini, wawancara dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang dirasakan oleh pekerja maupun perusahaan.

- b. Observasi: digunakan untuk mengetahui detail *layout* departemen produksi, nilai metabolisme tubuh, hambatan pakaian, suhu udara, kecepatan udara, dan kelembaban relatif yang diukur pada lingkungan kerja.
2. Data sekunder adalah sumber data yang diperoleh secara tidak langsung, baik berupa data hasil dari pengolahan data primer maupun yang didapatkan dari referensi yang ada berupa dokumen atau arsip-arsip perusahaan yang dapat mendukung data primer. Data yang telah tersedia ataupun telah tersajikan dari pihak perusahaan yang menjadi tempat penelitian ini, antara lain:
    - a. Profil Perusahaan
    - b. Struktur Organisasi
    - c. *Layout* Perusahaan
    - d. *Layout* Departemen Produksi
    - e. Dimensi Ukuran Ruang
    - f. Dimensi Ukuran Peralatan dan Mesin

### 3.3.3 Tahap Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan diolah dan analisis, adapun langkah pengolahan data sebagai berikut:

1. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Kondisi Eksisting  
 Pembuatan simulasi CFD kondisi eksisting dilakukan berdasarkan data primer dan sekunder yang telah didapatkan baik pengukuran secara langsung maupun data dari perusahaan. Pembuatan simulasi CFD dilakukan dengan membuat *part* sesuai ukuran dari elemen-elemen yang ada pada departemen produksi, yang selanjutnya digabungkan dengan cara *assembly*. Kemudian dilakukan *input* data sesuai kondisi lingkungan kerja termal hasil pengukuran. Setelah itu dilakukan *running* untuk mengetahui kondisi eksisting yang sesuai dengan parameter PMV hasil pengukuran pada departemen produksi.
2. Perhitungan Nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) Kondisi Eksisting  
 Perhitungan nilai PMV dilakukan berdasarkan data perolehan dari tahap pengumpulan data yang berada pada hasil simulasi CFD kondisi eksisting untuk mengetahui level *heat stress* yang dialami pekerja departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia. Dari nilai PMV kondisi eksisting tersebut maka akan dapat

diketahui area pengamatan memiliki nilai PMV yang tinggi atau rendah. Dengan nilai PMV yang tinggi maka akan dapat mengganggu pekerja dalam melakukan pekerjaannya, sehingga perlu dilakukan skenario perbaikan.

3. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Skenario Perbaikan

Ada 2 rekomendasi perbaikan yang dilakukan dalam simulasi CFD dengan melakukan skenario perbaikan sebagai alternatif untuk memperbaiki kondisi lingkungan kerja termal yang ada pada departemen produksi. Untuk membuat 2 skenario perbaikan dilakukan langkah-langkah yang sama yaitu langkah yang dilakukan adalah dengan membuat *part* dalam hal ini menambah peralatan yang dapat digunakan untuk menurunkan nilai PMV yang tinggi. Kemudian dilakukan *input* data dari peralatan yang ditambahkan tersebut. Setelah itu dilakukan *running* untuk mengetahui kondisi termal area pekerja hasil simulasi CFD skenario perbaikan.

4. Perhitungan Nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) Skenario Perbaikan

Perhitungan nilai PMV dari 2 skenario perbaikan dilakukan dengan langkah yang sama yaitu berdasarkan data perolehan dari hasil simulasi CFD skenario perbaikan sesuai area pekerja yang diamati untuk mengetahui level *heat stress* yang dialami pekerja departemen produksi di PT Jaykay Files Indonesia. Dari nilai PMV skenario perbaikan tersebut maka akan dapat diketahui area pengamatan memiliki nilai PMV yang tinggi atau rendah. Dengan nilai PMV skenario perbaikan maka akan dapat nilai PMV yang menurun dari kondisi eksisting sehingga dapat mengurangi potensi pekerja mengalami *heat stress*.

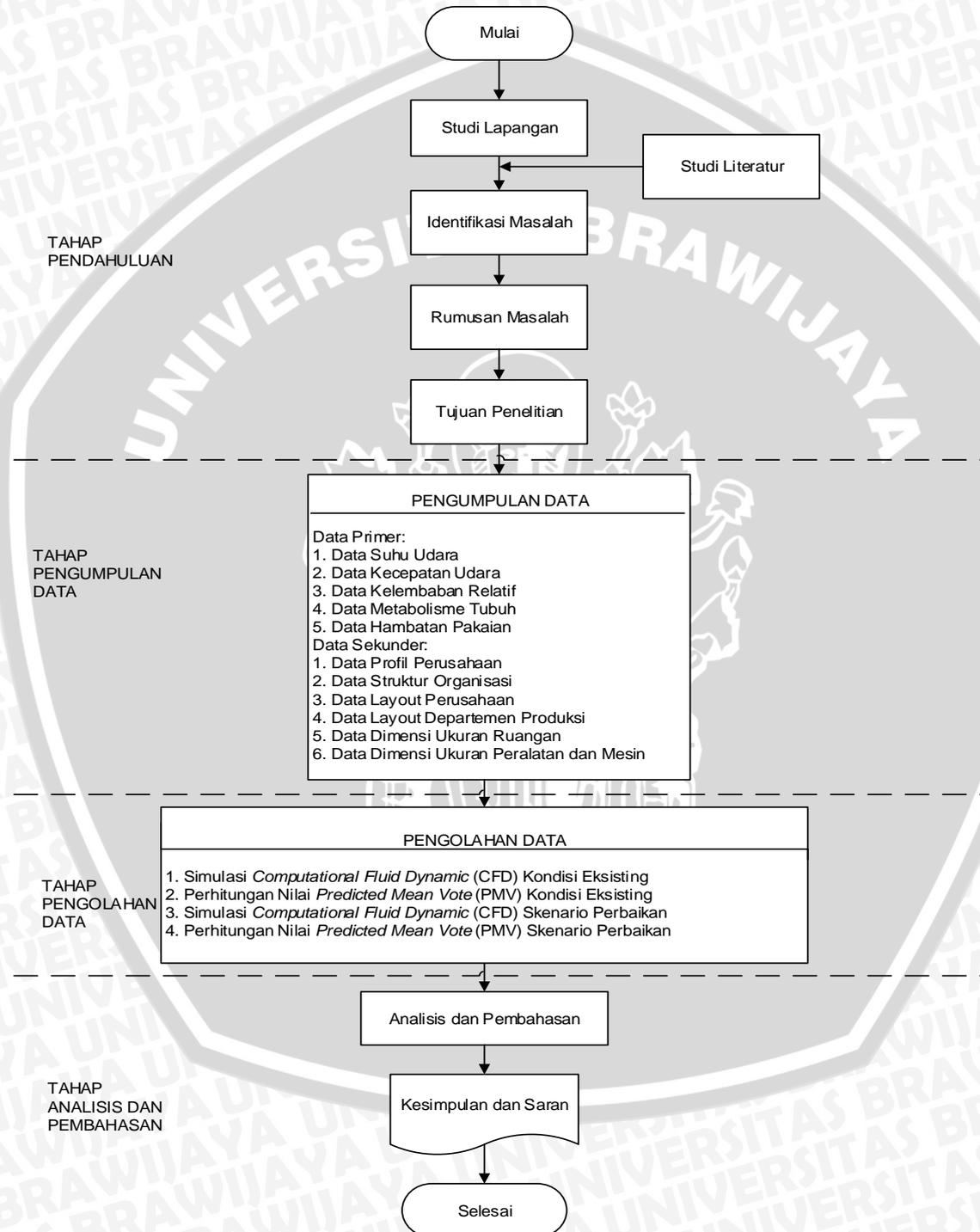
### 3.3.4 Tahap Analisis dan Pembahasan

Pada tahap selanjutnya akan dilakukan analisis dan pembahasan, dengan demikian akan dapat diambil suatu kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan kepada perusahaan.

1. Tahap analisis dan pembahasan dilakukan setelah tahap pengolahan data selesai. Hasil dari pengolahan data dipakai sebagai acuan untuk solusi yang tepat untuk permasalahan yang ada.
2. Kesimpulan dan saran merupakan tahap akhir dari penelitian ini. Kesimpulan berisi tentang ringkasan yang diperoleh dari hasil pengumpulan, pengolahan, dan analisis yang menjawab tujuan penelitian yang ditetapkan. Saran berisi tentang masukan yang ditujukan kepada berbagai pihak dalam menindaklanjuti penelitian ini.

### 3.4 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian adalah tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, dan tahap analisis dan pembahasan. Berikut adalah diagram alir dari penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan akan diuraikan mengenai gambaran umum PT Jaykay Files Indonesia, penjelasan tentang data-data yang telah dikumpulkan dan melakukan pengolahan data. Berdasarkan hasil pengolahan data akan dapat dilakukan pembahasan sehingga didapatkan hasil penelitian yang nantinya dapat menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian serta dapat diberikan rekomendasi perbaikan.

#### 4.1 GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

Dalam subbab gambaran umum perusahaan akan dijelaskan mengenai profil perusahaan, struktur organisasi, proses produksi, hasil produksi dan tata letak perusahaan PT Jaykay Files Indonesia.

##### 4.1.1 Profil Perusahaan

PT Jaykay Files Indonesia merupakan perusahaan yang didirikan sejak tahun 1974, dengan izin lokasi pada tanggal 18 Maret 1974 oleh *Group Raymond Limited* (induk perusahaan) yang beralamatkan di Mumbai (Bombai) India, antara lain M/s Jaykay Org., Zug (Switzerland); M/s Gani Djemat & Partners, Jakarta Indonesia.

Adapun tujuan berdirinya perusahaan ini pada dasarnya bukan hanya mengejar keuntungan semata, melainkan untuk menunjang kebutuhan masyarakat. Tujuan lain adalah untuk menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia pada umumnya dan masyarakat sekitar pada khususnya. Latar belakang berdirinya perusahaan adalah didorong oleh suatu kebutuhan dalam negeri dalam hal perindustrian, khususnya pada kebutuhan kikir dan perusahaan ini merupakan perusahaan pelopor atau pabrik kikir pertama di Indonesia. Pada tahun 1974 telah diadakan perluasan (diversifikasi) produksi mata bor (*wist drill*), dengan sasaran yang dituju merupakan pasar lokal maupun luar negeri (ekspor).

Selanjutnya untuk memenuhi kebutuhan pasar saat ini yang lebih kompetitif (bersaing) dengan berbagai perusahaan lain, terutama perusahaan dengan produk sejenis, maka PT Jaykay Files Indonesia telah meningkatkan mutu/kualitas produk agar lebih efektif untuk memenuhi permintaan pasar dalam negeri maupun luar negeri. Untuk peningkatan atau pengembangan mutu produk dengan standar internasional, sebagai upaya untuk menghadapi pasar bebas, maka perusahaan berusaha bekerja keras semaksimal mungkin dan telah berhasil mendapatkan pengakuan mutu dari Badan

Akreditasi Nasional atau Internasional yaitu dengan mendapat Sertifikat ISO-9002; 1994/SNI-19-9002 pada tanggal 28 Mei 1997 hingga sekarang, yang dikeluarkan oleh Sucofindo *International Certification Service* (PT. SUCOFINDO I.C.S) Jakarta (Indonesia) dengan nomor organisasi QSC-00043.

#### 4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

PT Jaykay Files Indonesia memiliki visi dan misi sebagai pandangan dan tujuan yang harus dicapai untuk dapat bersaing dengan perusahaan-perusahaan lain yang sejenis. Berikut ini adalah penjelasan visi dan misi dari PT Jaykay Files Indonesia:

1. Visi PT Jaykay Files Indonesia

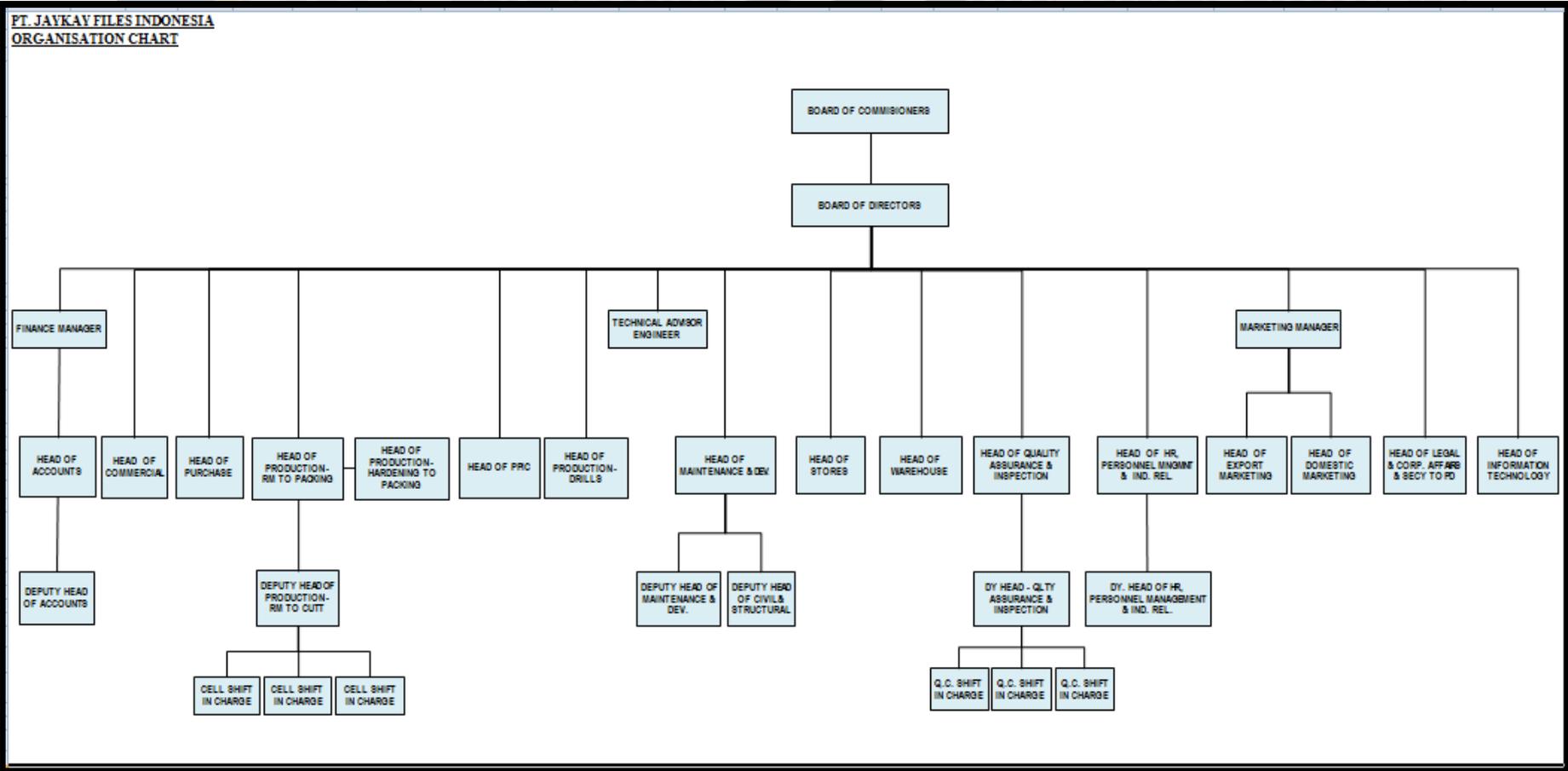
Visi PT Jaykay Files Indonesia adalah menjadi perusahaan manufaktur yang memproduksi kikir dan mata bor dengan kualitas yang tinggi serta dapat diterima oleh semua lapisan konsumen dan menjadi perusahaan produksi kikir dan mata bor di Asia Tenggara.

2. Misi PT Jaykay Files Indonesia

- a. Memproduksi kikir dan mata bor dengan kualitas tinggi secara berkelanjutan.
- b. Perusahaan mengikut sertakan semua karyawan untuk merasa bertanggung jawab atas kelancaran jalannya produksi tanpa hambatan dan seluruh karyawan mempunyai rasa memiliki perusahaan.
- c. Menciptakan suasana lingkungan kerja yang kondusif dan penuh tanggung jawab serta menciptakan koordinasi yang baik antar bagian sehingga tercapai tujuan yang diinginkan.
- d. Meningkatkan kesejahteraan karyawan untuk mendorong produktifitas dan efisiensi kerja melalui peningkatan SDM.
- e. Menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat luas untuk dapat meningkatkan taraf hidupnya.

#### 4.1.3 Struktur Organisasi

Struktur organisasi pada PT Jaykay Files Indonesia mempunyai seorang pemimpin dan beberapa divisi di bawahnya. Divisi-divisi tersebut memiliki tujuan untuk menjalankan tugas dalam upaya mencapai tujuan perusahaan. Pada gambar 4.1 merupakan struktur organisasi pada PT Jaykay Files Indonesia.



Gambar 4.1 Struktur Organisasi Perusahaan  
Sumber: Arsip PT Jaykay Files Indonesia

#### 4.1.4 Proses Produksi

Pada subbab ini menjelaskan tentang proses produksi kikir maupun mata bor mulai dari mengolah logam sebagai bahan baku hingga menjadi produk akhir berupa produk kikir dan mata bor.

##### 4.1.4.1 Proses Produksi Produk Kikir

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan dalam proses produksi produk kikir pada departemen produksi:

###### 1. *Cropping*

Proses *cropping* adalah proses pemotongan bahan baku sesuai dengan spesifikasi produk menggunakan mesin *cropping*. Terdapat 3 buah mesin *cropping* dengan 2 jenis mesin berukuran sedang dan ukuran besar, yang dapat menghasilkan dua jenis bahan baku produk kikir dengan ukuran *small taper* dan *large taper*. Dari hasil *cropping* dikumpulkan disatu wadah dan proses selanjutnya yaitu proses *Forging*.



**Gambar 4.2** Mesin *Cropping* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

###### 2. *Forging*

Proses *forging* adalah proses pembuatan tangkai pada kikir dengan jalan ditempa secara otomatis menggunakan mesin *Automatic Forging Hammer Tonase Machine*. Proses tersebut adalah proses melakukan pemanasan pada salah satu ujung bahan dan kemudian melakukan tempa secara berputar sehingga membentuk tangkai yang panjang sebagai tangkai kikir.



**Gambar 4.3** *Automatic Forging Hammer Tonase Machine* Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

### 3. *Annealing*

Proses *annealing* adalah sebuah proses pelunakan baja dengan dilakukan pemanasan baja dan kemudian didinginkan secara alami secara perlahan-lahan sehingga dicapai perubahan struktur dan kekerasan yang merata atau tidak terjadi retakan-retakan pada permukaan besi. Kapasitas mesin dapat menampung bahan sebanyak 2,3 ton.



**Gambar 4.4** *Annealing Furnance Machine* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

### 4. *Grinding*

Proses *grinding* adalah proses penghilangan kerak dan decarburasi dengan cara pengurangan permukaan sehingga permukaan besi menjadi halus. Proses tambahan dilakukan terlebih dahulu yaitu proses pemotongan tangkai, sebelum dilakukan proses *grinding*. Tangkai dipotong sesuai spesifikasi yang telah ditentukan. Setelah spesifikasi tangkai sudah sesuai, proses selanjutnya adalah proses *grinding*. Proses ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu :

- a. Proses *grinding* menggunakan mesin (sisi-sisi kikir)

- b. Proses *grinding* secara manual (*Edge Setting Process*)
- c. Proses *grinding* untuk sudut kikir (*Stripping*)



**Gambar 4.5** Mesin *Grinding* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia



**Gambar 4.6** Mesin Gerinda pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

##### 5. *Cutting*

Proses *cutting* adalah proses pembuatan gigi kikir dengan cara pemotongan atau pembentukan gigi kikir sesuai spesifikasi standar perusahaan dengan bentuk produk yang telah ditentukan perusahaan.



**Gambar 4.7** Mesin *Cutting* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 6. *Stamping*

Proses *stamping* adalah proses pemberian stempel atau merk pada kikir. Proses ini hanya dilakukan untuk memberikan merk pada pangkal tangkai kikir dengan merk perusahaan. Proses selanjutnya dilakukan proses pelurusan bahan secara manual.



**Gambar 4.8** Proses *Stamping* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 7. *Hardening*

Proses *hardening* adalah proses pengerasan kikir dengan cara dipanaskan dan setelah itu didinginkan secara cepat. Bahan dimasukkan ke dalam tungku hingga bahan terlihat merah menyala kemudian dimasukkan dalam cairan pendingin selama 3 detik.



**Gambar 4.9** Tempat Proses *Hardening* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 8. *Acid Treatment*

Proses *acid treatment* adalah proses pembersihan kikir dari sisa-sisa garam *hardening* dengan cara perendaman HCL. Tahap pertama adalah proses mencelupkan atau merendam dalam larutan asam dan dibilas dengan air untuk menghilangkan sisa larutan asam pada proses *hardening*. Kemudian dilakukan perendaman menggunakan air soda selama 15 menit agar bahan tidak mudah korosi, setelah itu dilakukan pembilasan dengan air.



**Gambar 4.10** Proses *Acid Treatment* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 9. *Scouring*

Proses *scouring* adalah proses pembersihan kikir tahap kedua berupa pembersihan dengan cara penyemprotan pasir *silica*. Proses tersebut dilakukan dengan bahan dilewatkan pada mesin *scouring* dan di dalam mesin bahan disemprot dengan pasir *silica*.



**Gambar 4.11** Proses *Scouring* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 10. *Tang Tempering, Oiling, Drying*

Proses *tang tempering* adalah proses pewarnaan tangkai. Bahan tersebut dipanaskan dengan cara ditancapkan pada pasir panas sehingga warna tangkai berubah menjadi gelap dan kemudian dicelupkan pada oli (proses *oiling*). Setelah itu dilakukan proses *drying* yaitu proses pengeringan dengan cara disemprotkan udara panas oleh mesin *blower*.



**Gambar 4.12** Proses *Tang Tempering* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia



**Gambar 4.13** Proses *Drying* pada Proses Produksi Kikir  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 11. *Final Inspection*

Proses terakhir adalah *final inspection* yaitu proses melihat dan memilah hasil produk sesuai dengan kualitas yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

#### 4.1.5 Hasil Produksi

Berikut ini merupakan jenis-jenis produk kikir yang diproduksi oleh PT Jaykay Files Indonesia.

1. *Flat Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus). Contoh jenis *flat files* : 4" *Flat Bastard File*, 8" *Second Cut File*.
2. *Hand Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus). Contoh jenis *Hand files* : 6" *Hand Second Cut*.
3. *Half Round Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus). Contoh jenis *Half Round Files* : 8" *Half Round Smooth Cut*.
4. *Round Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus).
5. *Square Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus).
6. *Triangular Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus).
7. *Warding Files*, mempunyai enam macam ukuran : 3", 3,5", 4", 6", 8", dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus).
8. *Knife Files*, mempunyai enam macam ukuran : 6", 8", 10", 12", dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus).

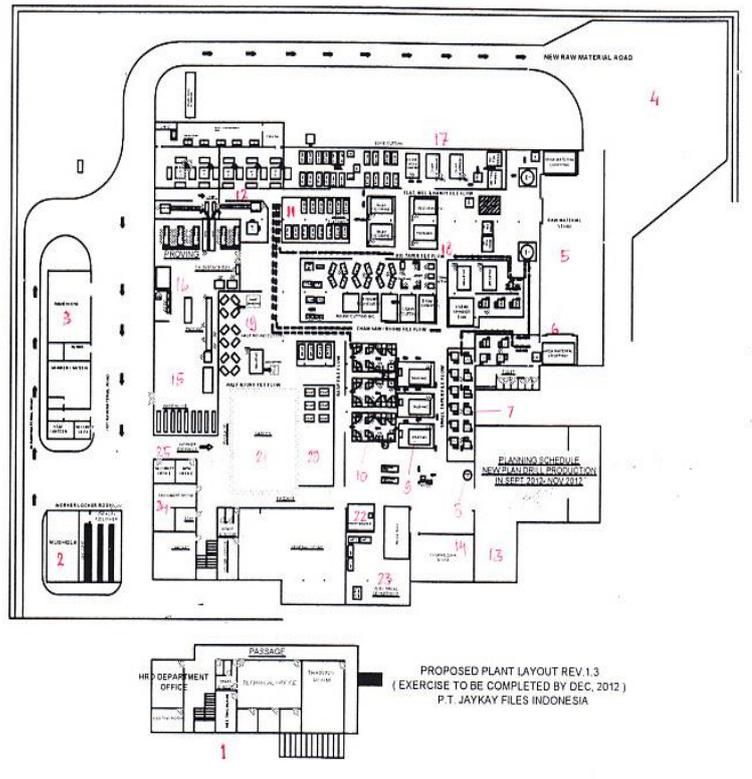
9. *Duoble Ended Saw Files*, mempunyai enam macam ukuran : 6", 7", 8", 9", 10" dan mempunyai satu macam jenis kerataan : *Second cut* (kasar sedang).
10. *Pit Saw Files*, mempunyai enam macam ukuran : 4", 4,5", 5", 6", dan mempunyai satu macam jenis kerataan : *Second cut* (kasar sedang).
11. *Feather Edge Files*, mempunyai dua macam ukuran : 5", 6", dan mempunyai satu macam jenis kerataan : *Second cut* (kasar sedang).
12. *Round Chain Saw Files*
13. *Rasp Files*, mempunyai tiga bentuk : *Flat*, *Half Round*, *Round*, *Cabinet Rasp*, serta mempunyai enam macam ukuran : 4", 6", 8", 10", 12", 14" dan mempunyai tiga macam jenis kerataan : *Bastard* (kasar), *Second cut* (kasar sedang), *Smooth* (halus).
14. *Shoe Raps Files*, mempunyai dua macam ukuran : 8", dan 10" serta hanya tersedia satu kerataan saja yakni, *bastard* (kasar).
15. *Horse Raps Files*, mempunyai dua bentuk : *without tang*, *with tang*, serta mempunyai dua ukuran : 12", 14" dan tersedia satu kerataan saja yakni, *bastard* (kasar).
16. *Special Files*, mempunyai enam macam bentuk : *Flat With Chip Breaking Groove Files*, *Hobby Rasp Files*, *File and Rasp Combination*, *Handy File*, *Flat Handle File*, *Flat Handle Heavy File*, dan *Flat Super Light Second Cut Files*.

#### 4.1.6 Tata Letak Perusahaan

PT Jaykay Files Indonesia dibangun di atas lahan seluas 26.610 m<sup>2</sup> dengan letak perusahaan di Kota Industri Sidoarjo Jawa Timur yang beralamatkan Jalan Sukodono No.33, Desa Keboan Sikep Kecamatan Gedangan, Kabupaten Sidoarjo.

Fasilitas yang dimiliki PT Jaykay Files Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Mushola Karyawan
2. Kantin Karyawan
3. Tempat parkir
4. Lapangan *Volley Ball*
5. Training bagi staff/karyawan



**Gambar 4.14** Layout Perusahaan  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

Keterangan :

1. Kantor (*HRD Departement Office, Technical Office, Training Room*)
2. Mushola, klinik kesehatan, dan locker karyawan
3. *Ware House* (Gudang penyimpanan)
4. *Area Raw Material (Reject)*
5. *Raw Material Stock*
6. *Area Raw Material Cropping*
7. *Mesin Automatic Hummer (Forging)*
8. *Mesin Annealing*
9. *Mesin Gerinda*
10. *Mesin Edge Cutting*
11. *Mesin Stamp* (Pemberian label)
12. *Area pengerasan logam (Hardening)*
13. *Area Acid threatment*
14. *Area Pengeringan*
15. *Ware House*
16. *Area packing*

17. Area Produksi *Flat, Mill, and hand File*
18. Area Produksi *Big Taper*
19. Areaan produksi *Half Round File*
20. Ruang *Quality Control*
21. *Garden*
22. Ruang *Maintenance*
23. Ruang Listrik
24. *Document Room*
25. *Security Office*

#### 4.2 PENGUMPULAN DATA

Pada sub bab pengumpulan data ini akan diuraikan mengenai data yang diperoleh dari perusahaan dan data hasil observasi yang dilakukan pada departemen produksi PT Jaykay Files Indonesia. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mengetahui data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan *Predicted Mean Vote (PMV) Index* dan proses pembuatan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Dalam tahap pengumpulan data dibutuhkan alat untuk mengumpulkan data tersebut, yaitu:

1. *Air velometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur *air temperature, air velocity, mean radiant temperature, dan relative humidity*. Alat ini digunakan untuk melakukan pengukuran secara langsung pada departemen produksi.



**Gambar 4.15** Air Velometer

2. *Roll meter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur panjang, lebar dan tinggi (dimensi) dari peralatan dan ruang pada departemen produksi.



**Gambar 4.16** Roll Meter

#### 4.2.1 Data Layout Departemen Produksi

Departemen produksi PT Jaykay Files Indonesia memiliki luas 72,6 meter x 63,59 meter dan tinggi 9 meter. Pada ruangan ini terdapat lima pintu pada beberapa sisi ruangan. Dimensi ukuran dari ruangan dan lima pintu pada departemen produksi ditunjukkan pada Tabel 4.1. Bentuk ruangan, letak pintu 1 sampai dengan 5 dapat dilihat pada Gambar 1.1.

**Tabel 4.1** Dimensi Ukuran dari Bagian Departemen Produksi

No.	Bagian	Ukuran (meter)		
		Panjang	Lebar	Tinggi
1.	Ruangan	72,6	63,59	9
2.	Pintu 1	-	2,5	8
3.	Pintu 2	-	2,5	8
4.	Pintu 3	-	3	8
5.	Pintu 4	-	3	8
6.	Pintu 5	-	3	8

Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

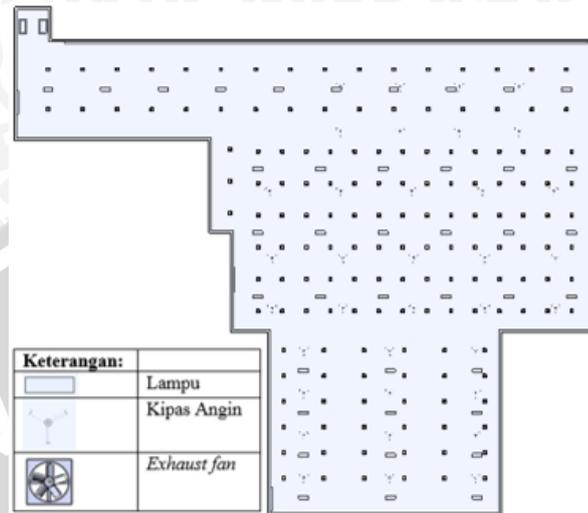
Pada departemen produksi terdapat beberapa peralatan dan mesin yang memiliki dimensi yang berbeda-beda. Dimensi dari peralatan yang ada pada departemen produksi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Dimensi Peralatan dan Mesin pada Departemen Produksi

No.	Nama Peralatan atau Mesin	Dimensi (cm)		
		Panjang	Lebar	Tinggi
1.	<i>Cropping</i>	150	150	182
2.	<i>Forging</i>	137	122	150
3.	<i>Annealing</i>	330	307	45
4.	<i>Tang Cutting</i>	110	80	60
5.	<i>Grinding</i>	400	158	461
6.	<i>Edge Setting</i>	100	80	153
7.	<i>Edging</i>	120	130	80
8.	<i>Stripping</i>	180	80	85
9.	<i>Small Up Cutting</i>	105	65	158
10.	<i>Big Up Cutting</i>	187	69	180
11.	<i>Stamping</i>	180	100	80
12.	<i>Straightening</i>	180	100	80
13.	<i>Hardening</i>	185	185	82
14.	<i>Bak Acid Threatment</i>	185	70	100
15.	<i>Scouring</i>	180	150	212
16.	<i>Conveyor Scouring</i>	552	61	100
17.	<i>Tang Tempering</i>	124	98	85

Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

Pada departemen produksi terdapat peralatan yang dipasang pada langit-langit ruangan. Peralatan yang terdapat pada langit-langit ruangan antara lain adalah kipas angin dan *exhaust fan*. Berikut ini adalah gambar *layout* peralatan pada langit-langit departemen produksi yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.17** *Layout* Peralatan di Langit-Langit Departemen Produksi

Dari Gambar 4.17 maka nama peralatan, jumlah, fungsi, dan dimensi peralatan pada langit-langit departemen produksi ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Peralatan pada Langit-Langit Departemen Produksi

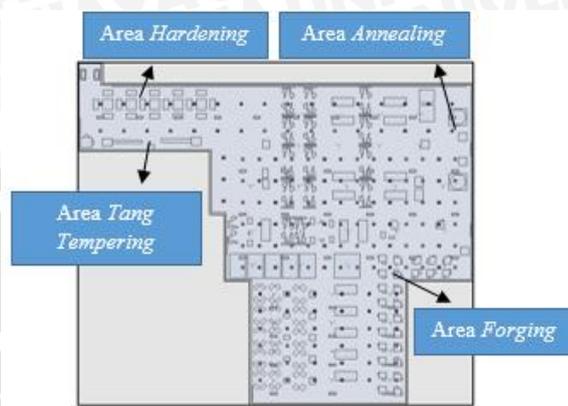
No.	Nama Alat	Jumlah	Fungsi	Dimensi		
				Panjang	Lebar	Tinggi
1.	Kipas Angin	35 buah	Menghasilkan angin dalam ruangan	60 cm	20 cm	50 cm
2.	<i>Exhaust Fan</i>	155 buah	Menyedot udara dalam ruangan untuk dialirkan ke luar	45 cm	45 cm	10 cm
3.	Lampu	40 buah	Memberikan cahaya atau penerangan dalam ruangan	120 cm	40 cm	10 cm

Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

#### 4.2.2 Data *Thermal* Hasil Pengukuran

Data *thermal* adalah data yang digunakan untuk perhitungan *Predicted Mean Vote* (PMV) *index*. Data tersebut meliputi *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity*. Pengukuran data *thermal* pada saat observasi diletakkan pada area pernapasan pekerja yaitu pada tinggi 1,5 meter dari permukaan tanah untuk perhitungan kenyamanan termal. Berdasarkan referensi titik-titik dilakukan pengukuran adalah lokasi dimana seorang pekerja paling banyak melakukan aktivitasnya. Lokasi pengukuran tersebut berjumlah 4 titik pengukuran dari 4 titik yang menghasilkan

sumber panas dari ruangan yang terdapat pada departemen produksi dengan diwakili oleh satu orang untuk dilakukan pengukuran pada proses yang sama. Titik 1 adalah area pekerja *forging*, titik 2 adalah area pekerja *annealing*, titik 3 adalah area pekerja *hardening*, dan titik 4 adalah area pekerja *tang tempering*. Area pengukuran dari 4 titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Layout Titik Pengukuran Area Pekerja

Pengambilan data *thermal* pada departemen produksi dilakukan pada hari Selasa, Kamis, dan Sabtu pada pukul 10.00 sampai dengan pukul 12.00. Pengambilan data dilakukan selama 3 hari agar dapat lebih merepresentasikan keadaan nyata di departemen produksi. Menurut ASHRAE (2004), pengukuran dilakukan pada waktu puncak aktivitas atau ketika semua pekerja sedang beraktivitas. Pengambilan data meliputi data *air temperature* ( $^{\circ}\text{C}$ ), *air velocity* (m/s), dan *relative humidity* (%). Pengukuran dilakukan sesuai dengan standar ASHRAE, untuk periode pengukuran *relative humidity* dilakukan seperti periode pengukuran *air temperature*. Pengambilan data dilakukan dengan periode pengukuran sebagai berikut:

1. *Air velocity* merupakan rata-rata kecepatan udara yang diukur dalam rentang waktu tiga menit selama paling sedikit dua jam.
2. *Air temperature* dan *relative humidity* merupakan rata-rata suhu dan kelembaban relatif yang diukur setiap lima menit atau kurang selama paling sedikit 2 jam.

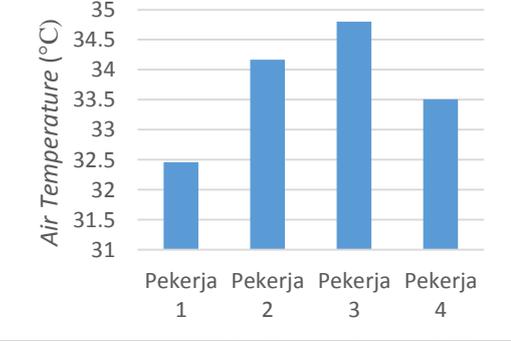
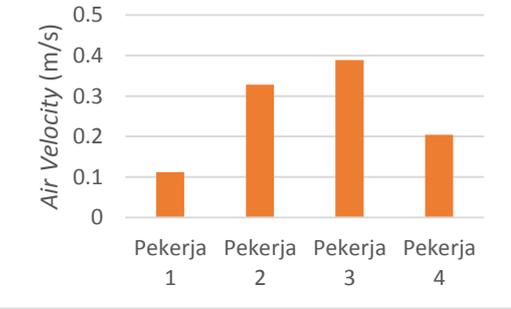
Data *thermal* hasil dari pengukuran ditunjukkan pada Lampiran 1. Rekapitulasi rata-rata hasil pengumpulan data *thermal* yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Rekapitulasi Rata-Rata Hasil Pengumpulan Data *Thermal*

Area Pekerja	Air Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Air Velocity (m/s)	Relative Humidity (%)
Pekerja 1	32,46	0,112	49,21
Pekerja 2	34,17	0,328	52,62
Pekerja 3	34,80	0,389	42,45
Pekerja 4	33,51	0,204	48,74

Dari Tabel 4.4 rekapitulasi rata-rata hasil pengukuran data *thermal* maka dapat ditunjukkan interpretasi dari data yang telah dikumpulkan tersebut berupa grafik perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Grafik Perbandingan Hasil Pengumpulan Data *Thermal*

Data Thermal	Grafik	Keterangan										
<p><i>Air Temperature</i> (°C)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Perbandingan Air Temperature</b></p>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Perbandingan Air Temperature</caption> <thead> <tr> <th>Pekerja</th> <th>Air Temperature (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>32.46</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>34.1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>34.8</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>33.5</td> </tr> </tbody> </table>	Pekerja	Air Temperature (°C)	1	32.46	2	34.1	3	34.8	4	33.5	<p><i>Air temperature</i> di lokasi pekerja 1 hingga pekerja 4 memiliki nilai yang berbeda-beda. Suhu udara tertinggi sebesar 34,80°C ada pada pekerja 3 dan suhu terendah sebesar 32,46 °C ada pada pekerja 1.</p>
Pekerja	Air Temperature (°C)											
1	32.46											
2	34.1											
3	34.8											
4	33.5											
<p><i>Air Velocity</i> (m/s)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Perbandingan Air Velocity</b></p>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Perbandingan Air Velocity</caption> <thead> <tr> <th>Pekerja</th> <th>Air Velocity (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.112</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.32</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.389</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>	Pekerja	Air Velocity (m/s)	1	0.112	2	0.32	3	0.389	4	0.2	<p><i>Air velocity</i> di lokasi pekerja 1 hingga pekerja 4 memiliki nilai yang berbeda-beda. Kecepatan angin tertinggi sebesar 0,389 m/s ada pada pekerja 3 dan kecepatan angin terendah sebesar 0,112 m/s ada pada pekerja 1.</p>
Pekerja	Air Velocity (m/s)											
1	0.112											
2	0.32											
3	0.389											
4	0.2											
<p><i>Relative Humidity</i> (%)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Perbandingan Relative Humidity</b></p>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Perbandingan Relative Humidity</caption> <thead> <tr> <th>Pekerja</th> <th>Relative Humidity (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>49.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>52.62</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>42.45</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>49.5</td> </tr> </tbody> </table>	Pekerja	Relative Humidity (%)	1	49.5	2	52.62	3	42.45	4	49.5	<p><i>Relative humidity</i> di lokasi pekerja 1 hingga pekerja 4 memiliki nilai yang berbeda-beda. Kelembaban relatif tertinggi sebesar 52,62% ada pada pekerja 2 dan kelembaban relatif terendah sebesar 42,45% ada pada pekerja 3.</p>
Pekerja	Relative Humidity (%)											
1	49.5											
2	52.62											
3	42.45											
4	49.5											

### 4.2.3 Data Aktivitas Pekerja

Data aktivitas pekerja adalah data dari aktivitas yang dilakukan oleh pekerja yang meliputi faktor nilai laju metabolisme (*metabolic rate*) dan hambatan dari pakaian yang digunakan (*clothing insulation*). Berikut ini adalah hasil pengumpulan data untuk setiap faktor terkait dengan aktivitas pekerja:

#### 1. Data Laju Metabolisme Tubuh (*Metabolic Rate*)

Pada setiap pekerja laju metabolisme tubuh (*metabolic rate*) memiliki perbedaan dikarenakan aktivitas yang dilakukan oleh setiap pekerja tersebut berbeda sesuai dengan pekerjaan masing-masing. Penilaian laju metabolisme dari aktivitas pekerja dinilai berdasarkan aktivitas yang dilakukan dalam waktu 30 menit hingga 1 jam. Kategori kerja pada aktivitas pekerja diperlukan untuk menentukan nilai *metabolic rate* yang sesuai dengan aktivitas yang dilakukan pekerja. Berdasarkan aktivitas pekerja maka terdapat 3 penilaian kategori kerja yaitu ringan, sedang, dan berat. *Range* kategori ringan adalah 1,2 hingga 1,6, kategori sedang adalah 1,7 hingga 2,0, dan kategori berat adalah 2,1 hingga 2,4. *Range* tersebut didapat sesuai aktivitas pekerja yang sesuai dengan Tabel 2.3. Nilai *metabolic rate* berdasarkan kategori kerja yang dilakukan oleh pekerja ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Nilai *Metabolic Rate* Berdasarkan Kategori Kerja

Jenis Pekerjaan	Kategori Kerja	Nilai <i>Metabolic Rate</i> (met)
1	Ringan	1,2 – 1,6
2	Sedang	1,7 – 2,0
3	Berat	2,1 – 2,4

Kategori kerja ringan, sedang, dan berat didapat dari hasil diskusi dengan departemen produksi. Kategori ringan adalah dimana pekerja melakukan pekerjaan tidak secara *repetitive* dan berada pada lingkungan kerja yang tidak terlalu panas. Kategori sedang adalah dimana pekerja melakukan pekerjaan tidak secara *repetitive* dan berada pada lingkungan kerja yang panas. Kategori berat adalah dimana pekerja melakukan pekerjaan secara *repetitive* dan berada pada lingkungan kerja yang panas.

#### 2. Data Hambatan Pakaian (*Clothing Insulation*)

Setiap pekerja di departemen produksi harus menggunakan pakaian yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Pakaian yang digunakan oleh pekerja departemen produksi adalah seragam yang terdiri dari baju kerja, kaos oblong, celana bahan tipis, dalaman celana pria, *ear plug*, masker, sarung tangan, kaos kaki sepanjang ankle, dan sepatu.



**Gambar 4.19** Seragam Pekerja Departemen Produksi  
Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

### 4.3 PENGOLAHAN DATA

Data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan pengolahan data untuk dapat diketahui hasil dari pengolahan data tersebut sehingga dapat dilakukan analisa yang selanjutnya dapat untuk diberikan rekomendasi perbaikan.

#### 4.3.1 Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Departemen Produksi

Pada pembuatan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dari departemen produksi dilakukan tahapan-tahapan proses untuk melakukan simulasi tersebut. Tahapan-tahapan proses tersebut adalah pembuatan *Three Dimension Computer Aided Design* (3D CAD) *Model* dari departemen produksi, melakukan *running* simulasi melalui tahap *preprocessor*, *processor*, dan *post processor* sampai dengan didapatkan *output* untuk dilakukan penilaian dan evaluasi kenyamanan termal pekerja pada departemen produksi.

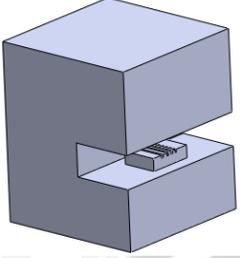
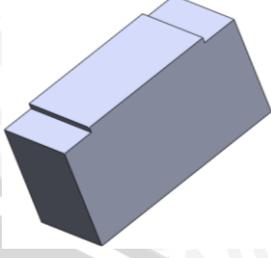
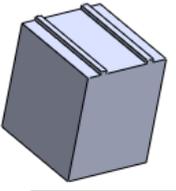
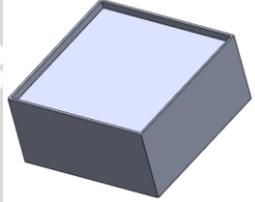
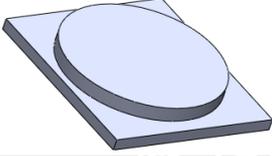
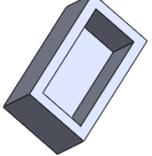
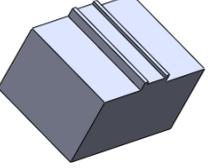
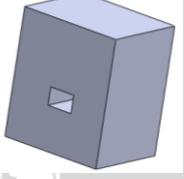
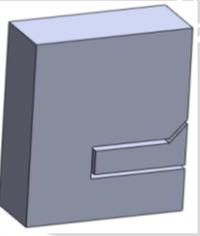
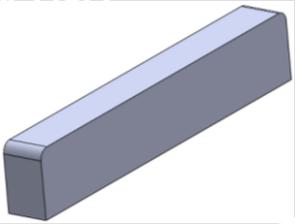
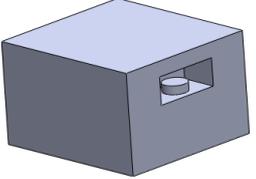
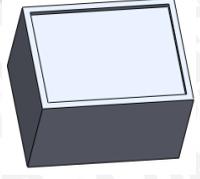
##### 4.3.1.1 Pembuatan 3D CAD *Model* dari Departemen Produksi

Pembuatan 3D *Computer Aided Design* (CAD) *Model* adalah membuat benda, peralatan maupun mesin yang ada pada departemen produksi dalam bentuk 3D CAD *Model* menggunakan *software* SolidWork 2014. Langkah dalam pembuatan 3D CAD *Model* yaitu:

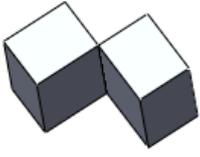
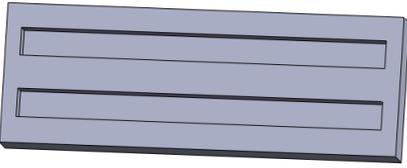
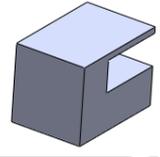
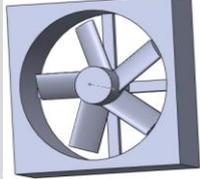
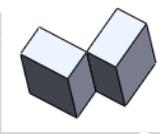
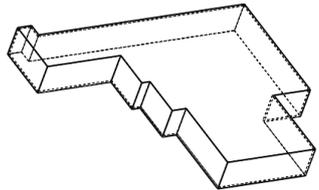
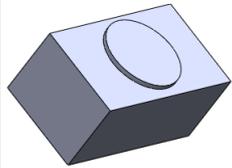
1. Pembuatan *Part* Departemen Produksi

Dari data dimensi geometri yang sudah dikumpulkan kemudian digambarkan sesuai ukuran benda tersebut. Berikut ini adalah hasil 3D CAD *Model* dari ruangan departemen produksi dan peralatan maupun mesin yang ada di dalam ruangan tersebut yang ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 3D CAD Model Peralatan dan Mesin di Departemen Produksi

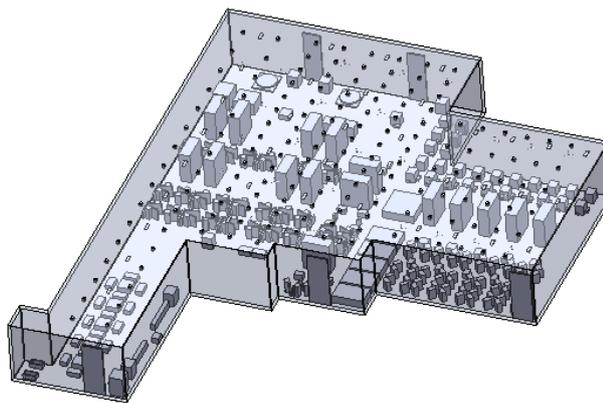
No.	Alat / Mesin	No.	Alat/Mesin
1.	<i>Cropping</i> 	12.	<i>Straightening</i> 
2.	<i>Forging</i> 	13.	<i>Hardening</i> 
3.	<i>Annealing</i> 	14.	<i>Bak Acid Threatment</i> 
4.	<i>Tang Cutting</i> 	15.	<i>Scouring</i> 
5.	<i>Grinding</i> 	16.	<i>Conveyor Scouring</i> 
6.	<i>Edge Setting</i> 	17.	<i>Tang Tempering</i> 

**Tabel 4.7** 3D CAD Model Peralatan dan Mesin di Departemen Produksi (Lanjutan)

No.	Alat / Mesin	No.	Alat/Mesin
7.	<i>Edging</i> 	18.	Lampu 
8.	<i>Stripping</i> 	19.	<i>Exhaust Fan</i> 
9.	<i>Small Up Cutting</i> 	20.	Kipas Angin 
10.	<i>Big Up Cutting</i> 	21.	Ruangan 
11.	<i>Stamping</i> 		

## 2. Pembuatan *Assembly* Departemen Produksi

*Part* dari 3D CAD ruangan, peralatan maupun mesin yang sudah dibuat menggunakan *software* SolidWork 2014 kemudian digabungkan atau dilakukan *assembly* dengan cara disusun atau diletakkan sesuai dengan *layout* pada departemen produksi. Hasil dari *assembly* yang telah dilakukan dapat dilihat dalam pandangan 3D pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Hasil *Assembly 3D CAD Model* Departemen Produksi

#### 4.3.1.2 *Running Simulasi CFD Model Eksisting*

Departemen produksi yang telah selesai dibuat dalam bentuk *3D CAD Model* untuk langkah berikutnya dapat digunakan untuk simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Simulasi CFD dapat dijalankan dengan menggunakan fitur *Fluid Simulation* pada *software* Solidwork 2014. Ada 3 bagian utama dalam proses perhitungan CFD yaitu:

1. *Preprocessor*

*Preprocessor* merupakan tahap dimana dilakukan *input* data mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition* hingga proses *meshing* dan untuk menentukan proses perhitungan pada saat simulasi CFD dijalankan. Langkah-langkah pengaturan atau *general settings* dalam simulasi CFD berupa *user interface* pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* Solidwork 2014 adalah sebagai berikut:

- a. *Analysis Type*

Jenis analisis yang digunakan merupakan jenis analisis internal dengan gravitasi bumi diperhitungkan dan model berbasis pada sumbu X.

- b. *Fluids*

Jenis fluida yang dianalisis adalah *air* (udara) tipe aliran *laminar* dan *turbulent* agar analisis dapat mempertimbangkan aliran udara baik secara paralel maupun secara berputar-putar. Analisis ini juga mempertimbangkan faktor *humidity* (kelembaban).

- c. *Wall Conditions*

Kondisi tembok yang digunakan adalah jenis *adiabatic wall*. Tembok tersebut adalah tembok yang tidak mentransferkan panas dan udara dari kedua sisi.

d. *Initial Conditions*

Inisialisasi kondisi dari faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi simulasi CFD. Perlu pengaturan untuk *thermodynamic parameters* dan *humidity*. *Thermodynamic parameters* diatur pada suhu 1 atm dan suhu 28 °C. *Humidity* diatur dengan *relative humidity* 70%, *reference pressure* 1 atm.

Proses selanjutnya setelah pengaturan awal pada *general settings* selesai dilakukan adalah mendefinisikan kondisi *thermal* awal dari departemen produksi. Hal yang mempengaruhi kondisi *thermal* adalah lingkungan, peralatan maupun mesin yang ada pada suatu ruangan. Dari kondisi tersebut maka dapat mempengaruhi *air velocity*, *air temperature*, dan *relative humidity* yang ada pada departemen produksi. *Boundary condition* merupakan kondisi *thermal* awal. Data pada *boundary condition* didapat dari pengukuran langsung di lapangan selama 3 hari dan dari spesifikasi peralatan yang ada dari pihak perusahaan. *Boundary conditions* dari kondisi *thermal* pada lokasi yang terdapat pada departemen produksi dapat ditunjukkan pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** *Boundary Conditions* Departemen Produksi

No.	<i>Boundary Conditions</i>	Lokasi	<i>Air Temperature</i> (°C)	<i>Air Velocity</i> (m/s)	<i>Air Flow</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Relative Humidity</i> (%)
1.	<i>Inlet 1</i>	Pintu 1	30	0,051	-	70
2.	<i>Inlet 2</i>	Pintu 2	30	0,049	-	70
3.	<i>Inlet 3</i>	Pintu 3	30	0,052	-	70
4.	<i>Inlet 4</i>	Pintu 4	30	0,047	-	70
5.	<i>Inlet 5</i>	Pintu 5	30	0,044	-	70
6.	<i>Inlet 6</i>	Kipas Angin	30	2,700	-	75
7.	<i>Outlet 1</i>	<i>Exhaust fan</i>	-	-	1,472	-

*Inlet* adalah area untuk memasukkan udara dan *outlet* adalah area untuk mengeluarkan udara. Dari Tabel 4.8 dapat diketahui *inlet* dan *outlet* yang ada pada departemen produksi, berikut merupakan penjelasan tentang *inlet* dan *outlet* yang ada pada departemen produksi:

a. Pintu 1

Pintu 1 adalah tempat dimana penghubung antara departemen produksi dan ruang *raw material* sehingga didefinisikan sebagai *inlet*. Dari pengukuran yang

dilakukan secara langsung di departemen produksi maka diketahui kecepatan udara yang masuk melalui pintu 1 sebesar 0,051 m/s.

b. Pintu 2

Pintu 2 adalah tempat dimana penghubung antara departemen produksi dan ruang *raw material* sehingga didefinisikan sebagai *inlet*. Dari pengukuran yang dilakukan secara langsung di departemen produksi maka diketahui kecepatan udara yang masuk melalui pintu 2 sebesar 0,049 m/s.

c. Pintu 3

Pintu 3 adalah tempat dimana penghubung antara departemen produksi dan lingkungan luar sehingga didefinisikan sebagai *inlet*. Dari pengukuran yang dilakukan secara langsung di departemen produksi maka diketahui kecepatan udara yang masuk melalui pintu 3 sebesar 0,052 m/s.

d. Pintu 4

Pintu 4 adalah tempat dimana penghubung antara departemen produksi dan lingkungan luar sehingga didefinisikan sebagai *inlet*. Dari pengukuran yang dilakukan secara langsung di departemen produksi maka diketahui kecepatan udara yang masuk melalui pintu 4 sebesar 0,047 m/s.

e. Pintu 5

Pintu 5 adalah tempat dimana penghubung antara departemen produksi dan lingkungan luar sehingga didefinisikan sebagai *inlet*. Dari pengukuran yang dilakukan secara langsung di departemen produksi maka diketahui kecepatan udara yang masuk melalui pintu 5 sebesar 0,044 m/s.

f. Kipas Angin

Kipas angin berfungsi untuk mengalirkan angin dalam ruangan dalam hal ini departemen produksi. Kipas angin didefinisikan sebagai *inlet*. Setiap kipas angin dalam departemen produksi menghasilkan kecepatan udara sebesar 2,7 m/s yang didapat dari spesifikasi kipas angin sesuai data dari perusahaan.

g. *Exhaust fan*

*Exhaust fan* berfungsi sebagai tempat keluarnya udara yang ada dalam departemen produksi. *Exhaust fan* didefinisikan sebagai *outlet*. Masing-masing *exhaust fan* dapat menghisap udara sebesar 1,472 m<sup>3</sup>/s. Spesifikasi tersebut didapat dari data yang dimiliki perusahaan.

*Boundary condition* yang telah selesai didefinisikan maka proses yang dilakukan berikutnya adalah mendefinisikan peralatan atau mesin dalam departemen produksi

yang memproduksi panas dan dapat mempengaruhi udara sekitar dalam ruangan. Peralatan atau mesin yang menghasilkan panas akan dapat mempengaruhi *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* dalam ruangan. Sumber panas tersebut didefinisikan dalam satuan Watt untuk sumber panas untuk permukaan benda (*surface source*). Berikut merupakan peralatan atau mesin yang menghasilkan laju perpindahan panas (*heat transfer rate*) yang ditunjukkan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** *Heat Transfer Rate* pada Departemen Produksi

No.	Peralatan/Mesin	<i>Heat Transfer Rate</i> (Watt)
1.	<i>Forging</i>	80000
2.	<i>Annealing</i>	82500
3.	<i>Hardening</i>	85000
4.	<i>Tang Tempering</i>	6050
5.	Lampu	100

Sumber: PT Jaykay Files Indonesia

Dari Tabel 4.9 dapat diketahui peralatan atau mesin yang menjadi sumber panas yang ada pada departemen produksi, berikut merupakan penjelasan tentang peralatan atau mesin yang ada pada departemen produksi:

a. *Forging*

*Forging* adalah sumber panas pada departemen produksi pada area pekerja 1. Mesin *forging* berjumlah 26 buah. Pada saat proses produksi berlangsung *heat transfer rate* yang digunakan untuk masing-masing mesin adalah sebesar 80.000 watt.

b. *Annealing*

*Annealing* adalah sumber panas pada departemen produksi pada area pekerja 2. Mesin *annealing* berjumlah 3 buah tetapi pada saat ini yang digunakan hanya 2 buah karena ada 1 mesin yang tidak dipakai. Pada saat proses produksi berlangsung *heat transfer rate* yang digunakan untuk masing-masing mesin adalah sebesar 82.500 watt.

c. *Hardening*

*Hardening* adalah sumber panas pada departemen produksi pada area pekerja 3. Mesin *Hardening* berjumlah 5 buah. Pada saat proses produksi berlangsung *heat transfer rate* yang digunakan untuk masing-masing mesin adalah sebesar 85.000 watt.

d. *Tang Tempering*

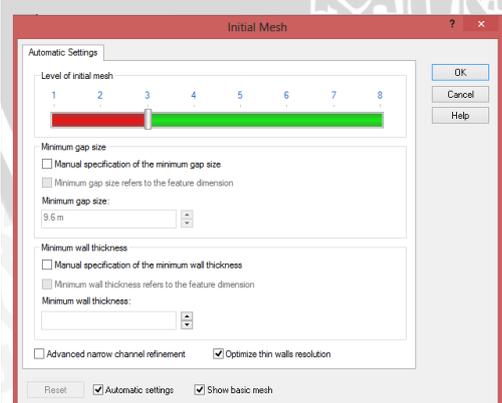
*Tang tempering* adalah sumber panas pada departemen produksi pada area pekerja 4. Mesin *Tang tempering* berjumlah 1 buah. Pada saat proses produksi berlangsung *heat transfer rate* yang digunakan untuk mesin tersebut adalah sebesar 6050 watt.

e. *Lampu*

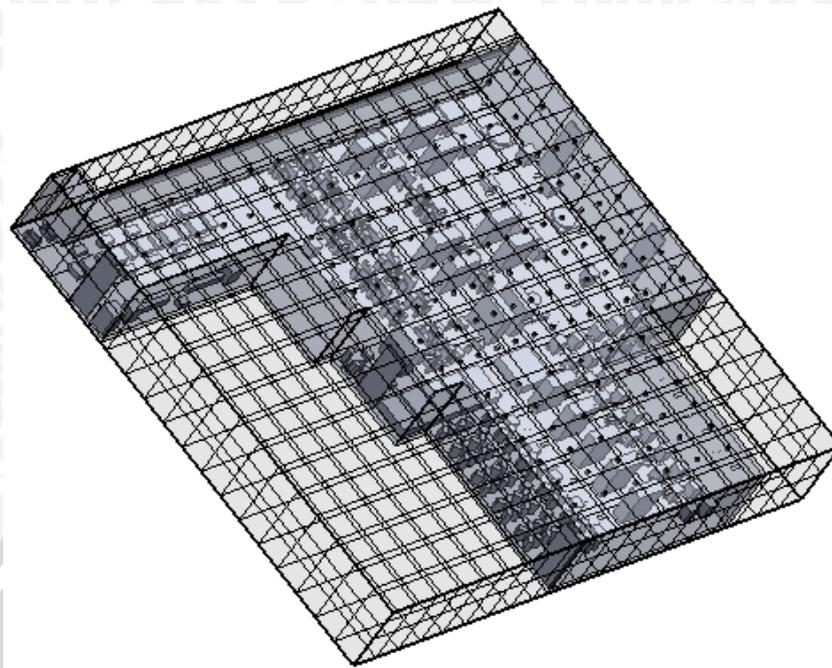
Lampu adalah sumber panas pada departemen produksi yang didefinisikan sebagai *heat source* 5. Lampu yang digunakan berjumlah 40 pasang. Pada saat proses produksi berlangsung untuk satu pasang lampu daya yang digunakan adalah sebesar 100 watt.

Proses selanjutnya adalah melakukan *meshing* atau pembagian ruangan departemen produksi pada jumlah *grid* tertentu. Banyak sedikitnya *grid* dalam simulasi dapat mempengaruhi lama waktu dalam proses simulasi dan ketepatan dalam analisis. *Level of initial mesh* adalah pilihan *level* yang tersedia dalam *software* untuk membagi jumlah *grid* pada objek yang dianalisis. Hasil analisis akan lebih akurat dan mendekati kondisi nyata ketika *level of initial mesh* semakin besar tetapi memerlukan waktu yang lama pada saat objek disimulasikan (*run*). Tabel 4.10 menunjukkan pengaturan *automatic settings* untuk *meshing* yang diatur pada departemen produksi.

**Tabel 4.10** *Initial Mesh* Simulasi CFD

<i>Initial Mesh</i>	<b>Keterangan</b>
<p><i>Automatic Settings</i></p> 	<p><i>Level of initial mesh</i> yang digunakan adalah angka yang direkomendasikan oleh <i>software</i> pada angka 3. Angka tersebut adalah rekomendasi dengan pertimbangan waktu analisis yang sesuai dan hasil yang tepat.</p>

Setelah langkah pembagian *grid* melalui *initial mesh* dengan menggunakan *level of initial mesh* dengan *automatic settings* selesai dilakukan maka akan didapatkan hasil *grid* sesuai dengan yang direkomendasikan *software* agar hasil yang didapat lebih akurat dan merepresentasikan keadaan nyata pada saat dijalankan (*run*). Gambar 4.21 menunjukkan hasil *meshing* dalam bentuk pembagian *grid* pada simulasi CFD.



Gambar 4.21 Pembagian Grid dari Initial Meshing

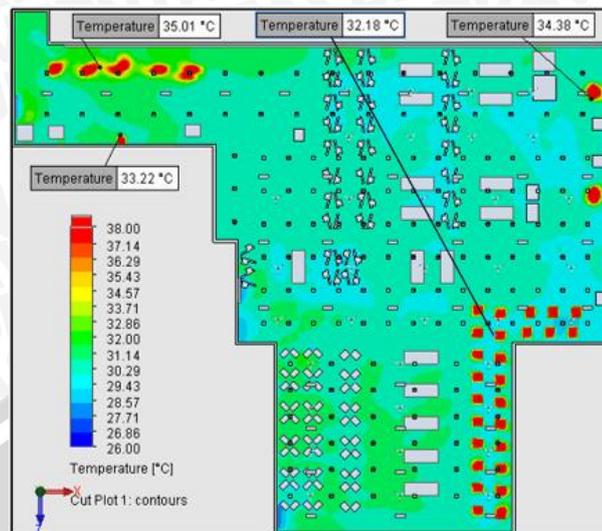
2. *Processor*

Tahap *processor* atau perhitungan data *input* adalah tahap melakukan *run* dari model simulasi CFD yang telah dibuat menggunakan *software* SolidWork 2014, pada penelitian ini adalah model departemen produksi. *Run* dari model simulasi CFD dapat dilakukan setelah proses *meshing* selesai dilakukan. Tahap *processor* berlangsung secara otomatis hingga diperoleh hasil simulasi CFD yang merepresetasikan keadaan nyata di departemen produksi.

3. *Post Processor*

Tahap *post processor* adalah tahap dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar atau grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu. Tahap ini dapat dilakukan setelah tahap *processor* atau perhitungan selesai dilakukan. Dengan *post processor* maka akan dapat diketahui kondisi *thermal* dari ruangan departemen produksi. Setelah kondisi *thermal* diketahui dapat dilakukan analisis dari hasil tersebut. Simulasi CFD dapat diinterpretasikan pada sebuah bidang datar (*cut plot*). Pada *cut plot* gambar ditentukan setinggi 1,5 meter dari sumbu X atau setinggi dengan area pernafasan manusia. Hasil dari *post processor* dapat menggambarkan sebaran *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* pada *cut plot* yang sudah ditentukan 1,5 meter dari permukaan tanah. Berikut ini merupakan tampak atas dari interpretasi hasil simulasi CFD pada ketinggian 1,5 meter:

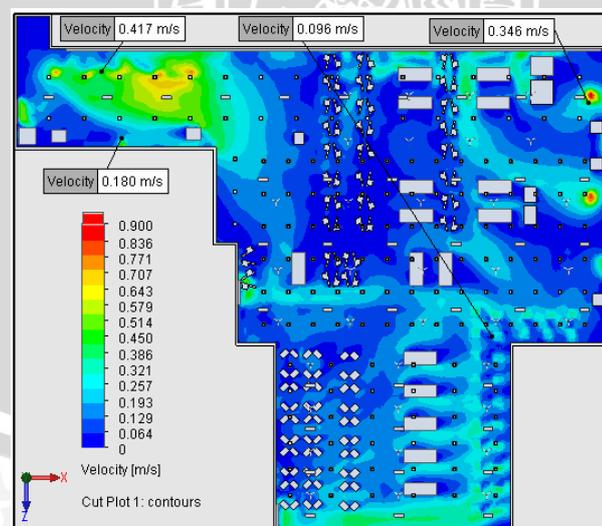
a. Sebaran Air Temperature



Gambar 4.22 Sebaran Air Temperature Hasil Simulasi CFD

Dari Gambar 4.22 dapat diketahui bahwa sebaran *air temperature* pada ketinggian 1,5 meter pada departemen produksi memiliki sebaran suhu antara rentang 26 °C untuk warna biru tua hingga suhu 38 °C untuk warna merah. Suhu udara pada lokasi-lokasi pengukuran cukup tinggi dan dapat dikatakan melebihi batas nyaman *temperature* manusia pada saat bekerja. *Temperature* tertinggi pada lokasi pengukuran berada pada suhu 35,01°C pada area pekerja 3 yaitu proses *hardening* dan *temperature* terendah berada pada suhu 32,18°C pada area pekerja 1 yaitu proses *forging*.

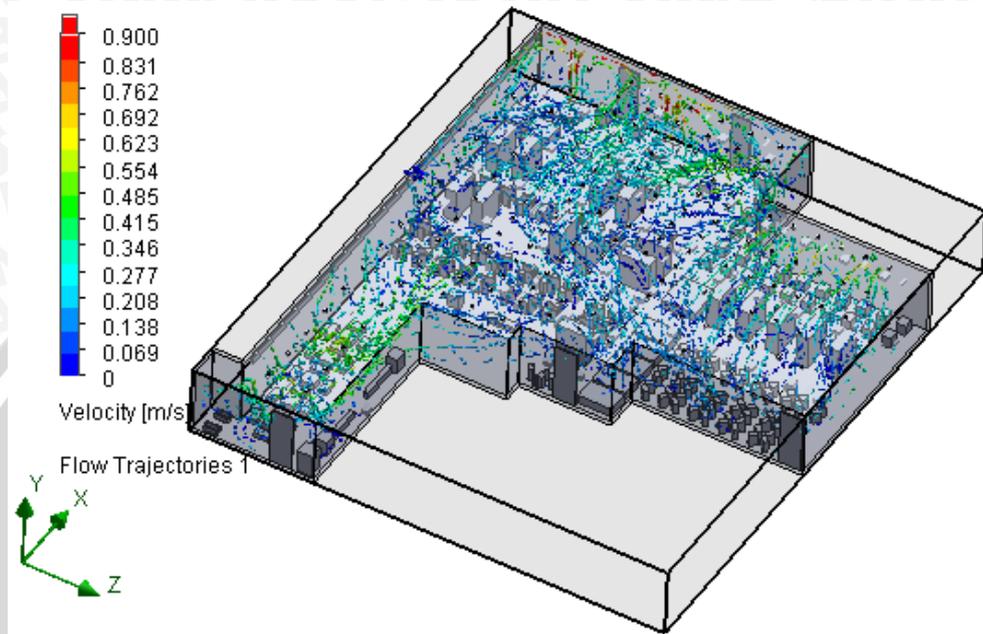
b. Sebaran Air Velocity



Gambar 4.23 Sebaran Air Velocity Hasil Simulasi CFD

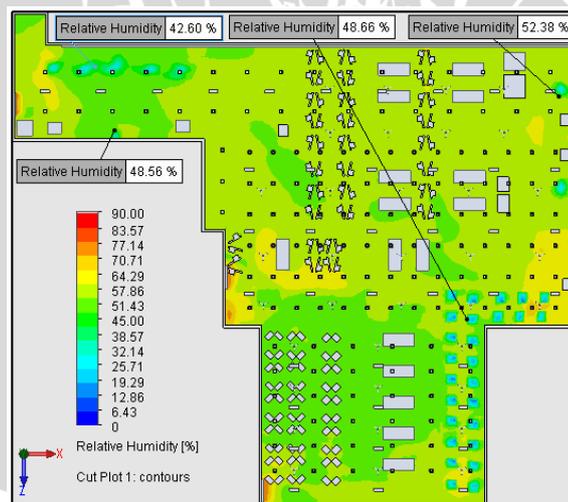
Dari Gambar 4.23 dapat diketahui bahwa sebaran *air velocity* pada ketinggian 1,5 meter pada departemen produksi memiliki sebaran antara rentang 0 m/s untuk warna biru tua hingga 0,9 m/s untuk warna merah. *Air velocity* pada lokasi-lokasi pengukuran cukup aman untuk pekerja bekerja, hanya satu lokasi yang sedikit berada diatas batas

nyaman. Menurut referensi ruangan dengan kecepatan udara dibawah 0,5 m/s masih dapat dikategorikan nyaman. Kecepatan udara tertinggi sebesar 0,417 m/s berada pada area pekerja 3 yaitu proses *hardening* dan kecepatan udara terendah sebesar 0,096 m/s berada pada area pekerja 1 yaitu proses *forging*. Interpretasi aliran udara pada departemen produksi dapat dilihat pada Gambar 4.24.



**Gambar 4.24** Aliran Udara Hasil Simulasi CFD

c. Sebaran *Relative Humidity*



**Gambar 4.25** Sebaran *Relative Humidity* Hasil Simulasi CFD

Dari Gambar 4.25 dapat diketahui bahwa sebaran *relative humidity* pada ketinggian 1,5 meter pada departemen produksi memiliki sebaran antara rentang 0 % untuk warna biru tua hingga 90% untuk warna merah. *Relative humidity* pada lokasi-lokasi pengukuran cukup aman untuk pekerja bekerja karena berada pada batas nyaman. Berdasarkan referensi, nilai kelembaban relatif yang ada pada ruangan dikatakan aman berada pada rentang 30 % hingga 70%. Kelembaban relatif tertinggi sebesar 52,38%

berada pada area pekerja 2 yaitu proses *annealing* dan kelembaban relatif terendah sebesar 42,60% berada pada area pekerja 3 yaitu proses *hardening*. Berikut ini adalah rekapitulasi data *thermal* hasil simulasi CFD model eksisting yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Data *Thermal* Hasil Simulasi CFD Model Eksisting

Titik Ukur	Air Temperature (°C)	Air Velocity (m/s)	Relative Humidity (%)
Pekerja 1	32,18	0,096	48,66
Pekerja 2	34,38	0,346	52,38
Pekerja 3	35,01	0,417	42,60
Pekerja 4	33,22	0,180	48,56

#### 4.3.1.3 Validasi Simulasi CFD Model Eksisting

Proses validasi adalah proses yang dilakukan untuk mengetahui model simulasi CFD yang dibuat apakah sudah merepresentasikan keadaan nyata pada departemen produksi. Cara untuk melakukan validasi yaitu data *thermal* hasil pengukuran langsung yang telah dikumpulkan dibandingkan dengan data *thermal* yang didapatkan dari hasil simulasi CFD. Data yang dibandingkan berupa data *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* pada titik-titik lokasi karyawan yang telah ditentukan. Perbandingan data *thermal* pengukuran dan hasil simulasi CFD ditunjukkan pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Perbandingan Data *Thermal* Pengukuran dan Hasil Simulasi CFD

Titik Ukur	Air Temperature (°C)		Air Velocity (m/s)		Relative Humidity (%)	
	Pengukuran	CFD	Pengukuran	CFD	Pengukuran	CFD
Pekerja 1	32,46	32,18	0,112	0,096	49,21	48,66
Pekerja 2	34,17	34,38	0,328	0,346	52,62	52,38
Pekerja 3	34,80	35,01	0,389	0,417	42,45	42,60
Pekerja 4	33,51	33,22	0,204	0,180	48,74	48,56

Data *thermal* pengukuran dan hasil simulasi CFD yang telah dibandingkan kemudian dilakukan uji validasi menggunakan bantuan *software* SPSS 19.0. Model simulasi CFD dikatakan valid apabila data *thermal* pengukuran dan hasil simulasi CFD tidak memiliki perbedaan rata-rata. Uji perbedaan rata-rata (*compare means*) dari data dilakukan dengan menggunakan *Independent T-Test*. Uji validasi tersebut ditunjukkan pada Lampiran 2. Dari uji validasi yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata antara data *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* hasil pengukuran dengan hasil simulasi CFD. Kesimpulan yang dapat diambil adalah simulasi CFD yang dibuat valid atau sudah merepresentasikan keadaan nyata.

#### 4.3.2 Penilaian *Thermal Comfort* Pekerja Departemen Produksi

*Thermal comfort* atau kenyamanan termal adalah respon manusia terhadap rangsangan suhu yang diterima dari lingkungan (Karyono, 2001). Penilaian *thermal comfort* dari pekerja departemen produksi dilakukan berdasarkan *Predicted Mean Vote (PMV) Index*. Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk melakukan penilaian PMV adalah sebagai berikut:

1. Melakukan Penilaian *Metabolic Rate* atau Laju Metabolisme Pekerja.

Penilaian ini berdasarkan aktivitas yang dilakukan pekerja di departemen produksi yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dimana terdapat kategori kerja yang sesuai dengan aktivitas pekerja dan didapatkan dari diskusi dengan pihak departemen produksi yang melibatkan pekerja pada area pengamatan. Nilai *metabolic rate* dinyatakan dalam satuan met berdasarkan Tabel 2.3 dengan rentang 1,2 met hingga 2,4 met. Menurut ASHRAE (2004), nilai metabolisme yang berupa *range* digunakan dengan cara disesuaikan dengan kategori beban kerjanya. Kategori beban kerja terbagi atas 3 kategori yaitu ringan, sedang, dan berat dengan nilai *metabolic rate* yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Langkah selanjutnya adalah menilai *metabolic rate* untuk masing-masing pekerja. Berdasarkan diskusi dengan pihak departemen produksi dan dilihat dari aktivitas sesuai pada Tabel 4.3, aktivitas yang dipilih yang sesuai dengan aktivitas di departemen produksi yaitu mengangkat. Alasan dipilihnya mengangkat pada Tabel 2.3 laju metabolisme berdasarkan aktivitas adalah sebelum material diletakkan pada mesin selalu ada proses mengangkat material untuk diletakkan pada mesin, setelah proses pada mesin selesai maka material tersebut juga diangkat dan diletakkan pada tempat atau wadan yang telah disediakan pada departemen produksi. Aktivitas mengangkat memiliki rentang nilai 1,2 met hingga 2,4 met, sehingga hasil diskusi dengan departemen produksi mengambil keputusan bahwa untuk rentang nilai terendah digunakan untuk pekerjaan ringan dan rentang tertinggi digunakan untuk pekerjaan berat, seangkan untuk kategori sedang diperoleh dari nilai tengah rentang nilai yaitu 1,8 met. Kategori kerja yang telah ditentukan oleh departemen produksi dapat digunakan untuk pemberian nilai *metabolic rate* yang sesuai dengan aktivitas yang dilakukan pekerja yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai *Metabolic Rate* Pekerja Departemen Produksi

Area Pekerja	Jenis Pekerjaan	Kategori Kerja	Nilai <i>Metabolic Rate</i> (met)
1	<i>Forging</i>	Berat	2,4 met
2	<i>Annealing</i>	Sedang	1,8 met
3	<i>Hardening</i>	Berat	2,4 met
4	<i>Tang Tempering</i>	Sedang	1,8 met

Dari Tabel 4.13 dapat diketahui bahwa aktivitas yang dilakukan oleh pekerja masuk dalam kategori sedang dan berat sesuai hasil diskusi dengan pihak perusahaan. Aktivitas dengan kategori kerja berat dilakukan oleh pekerja 1 dan pekerja 3 dengan nilai *metabolic rate* 2,4 met. Sedangkan aktivitas dengan kategori sedang dilakukan oleh pekerja 2 dan pekerja 4 dengan nilai *metabolic rate* 1,8 met. Proses *forging* dikategorikan berat karena satu pekerja harus menangani 4 mesin secara *repetitive* dan berada pada lingkungan yang panas. Proses *Annealing* dikategorikan sedang karena aktivitas kerja mengangkat kikir dalam jumlah banyak ke dalam tungku tidak secara *repetitive* tetapi berada pada lingkungan yang panas, pada saat proses berlangsung pekerja harus sering mengontrol mesin. Proses *hardening* dikategorikan berat karena proses yang terjadi pada lingkungan panas ini berlangsung secara *repetitive* dan cenderung cepat dalam proses mengangkat kikir ke mesin dan mengangkat hasil proses untuk dimasukkan ke dalam cairan *Hcl*. Proses *tang tempering* dikategorikan sedang karena proses yang berlangsung pada lingkungan panas ini berlangsung secara *repetitive* tetapi tidak terus menerus tergantung pada pesanan.

## 2. Melakukan Penilaian *Clothing Insulation* atau Hambatan Pakaian Pekerja.

Penilaian ini berdasarkan pakaian kerja yang digunakan oleh pekerja di departemen produksi. Nilai *clothing insulation* dinyatakan dalam satuan Clo. Pakaian yang digunakan oleh pekerja departemen produksi adalah seragam yang terdiri dari baju kerja, kaos oblong, celana bahan tipis, dalaman celana pria, *ear plug*, masker, sarung tangan, kaos kaki sepanjang ankle, dan sepatu yang ditunjukkan pada gambar 4.19. Berdasarkan standar ASHRAE dengan menggunakan cara ketiga untuk penilaian *clothing insulation*, maka cara perhitungannya adalah dengan menjumlahkan nilai hambatan dari setiap *item* pakaian yang digunakan. Penilaian untuk *clothing insulation* yang digunakan pekerja departemen produksi dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Nilai *Clothing Insulation* Pekerja

No.	Item Pakaian	Nilai
1.	Baju kerja	0,49 Clo
2.	Kaos oblong	0,08 Clo
3.	Celana bahan tipis	0,04 Clo
4.	Dalaman celana pria	0,15 Clo
5.	Ear plug	0,00 Clo
6.	Masker	0,00 Clo
7.	Sarung tangan	0,00 Clo
8.	Kaos kaki sepanjang ankle	0,02 Clo
9.	Sepatu	0,02 Clo
<b>Total</b>		<b>0,80 Clo</b>

Dari penilaian total *item* dari *clothing insulation* yang digunakan pekerja pada departemen produksi maka didapatkan nilai total sebesar 0,80 Clo. Nilai tersebut berpengaruh terhadap transfer panas dari tubuh pekerja ke lingkungan kerja begitu juga sebaliknya. Total nilai *clothing insulation* yang didapat digunakan sebagai *input* dalam perhitungan PMV *Index*.

3. Melakukan Perhitungan Nilai *Predicted Mean Vote (PMV) Index* Pekerja.

*Thermal comfort* yang dirasakan pekerja pada departemen produksi dapat diketahui melalui perhitungan nilai PMV *Index*. Perhitungan PMV *Index* dilakukan berdasarkan Persamaan (2-1) hingga (2-7). Contoh langkah-langkah perhitungan PMV untuk area pekerja 1 adalah sebagai berikut:

a. Melakukan konversi satuan *metabolic rate* dan *clothing insulation*

$$M = 2,4 \text{ met}$$

$$= 139,68 \text{ W/m}^2$$

$$I_{cl} = 0,80 \text{ Clo}$$

$$= 0,124 \text{ m}^2\text{K/W}$$

b. Melakukan perhitungan  $f_{cl}$ ,  $h_c$ , dan  $t_{cl}$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 I_{cl} \text{ karena } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$= 1,05 + (0,645 \times 0,124)$$

$$= 1,130$$

$$h_c = 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ karena } 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1 \sqrt{v_{ar}}$$

$$= 2,38 (t_{cl} - 32,18)^{0,25}$$

$$= 3,826 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} t_{cl} &= 35,7 - 0,028 (M - W) - I_{cl} \{3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [t_{cl} + 273]^4 - (MRT + 273)^4\} + \\ &\quad f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \\ &= 35,7 - 0,028 (139,68 - 0) - I_{cl} \{(3,96 \times 10^{-8} \times 1,130) \times [t_{cl} + 273]^4 - \\ &\quad (32,18 + 273)^4\} + (1,130 \times 3,826) \times (t_{cl} - 32,18) \\ &= 32,3 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

c. Melakukan perhitungan nilai PMV

$$\begin{aligned} \text{PMV} &= (0.303e^{-0.036M} + 0,028) \{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} x [5733 - \\ &\quad 6.99(M - W) - p_a] - 0.42x[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - \\ &\quad p_a) 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} 1,060x[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + \\ &\quad 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PMV} &= (0.303e^{-0.036 \times 139,68} + 0,028) \{(139,68 - 0) - 3.05 \times 10^{-3} x [5733 - \\ &\quad 6.99(2139,68 - 0) - 2338] - 0.42x[(139,68 - 0) - 58.15] - \\ &\quad 1.7 \times 10^{-5} x 139,68 (5867 - 2338) - (0.0014 \times 139,68) \times (34 - \\ &\quad 32,18) - 3.96 \times 10^{-8} x 1,060 x [(33,6 + 273)^4 - (32,18 + 273)^4] - \\ &\quad 1,060 \times 3,749(33,6 - 32,18)\} \end{aligned}$$

$$\text{PMV} = 2,74$$

Dalam mempermudah perhitungan PMV berdasarkan rumus pada Persamaan (2-1) hingga (2-7), sehingga penelitian ini menggunakan bantuan kalkulator PMV dalam perhitungannya. Berdasarkan referensi, perhitungan *thermal comfort* berdasarkan persamaan PMV terlalu rumit apabila dilakukan menggunakan aritmatika manual dan umumnya menggunakan bantuan komputer. ASHRAE (2004) menyediakan kalkulator PMV yang dibuat berdasarkan bahasa pemrograman dengan beberapa penyesuaian. Kalkulator tersebut dibuat menggunakan *Microsoft Excel* dan *Microsoft Visual Basic for Application* untuk *input* sehingga dapat membantu menyelesaikan perhitungan untuk mengetahui nilai *PMV index*. *User interface* dari kalkulator PMV dapat dilihat pada Gambar 4.26.

**KALKULATOR PMV**  
**PT Jaykay Files Indonesia**  
Jl. Sukodono, Gedangan,  
Sidoarjo 61202, Jawa Timur, Indonesia

Parameter	Nilai
Clothing Insulation (clo)	0,80
Air Temperature (°C)	32,18
Mean Radiant Temperature (°C)	32,18
Activity Level (met)	2,4
Air Velocity (m/s)	0,096
Relative Humidity (%)	48,70

Parameter	Hasil
PMV	2,74

Copyright © 2015 Galih Setyo Utomo - PT. Jaykay Files Indonesia  
& Industrial Engineering UB

**Gambar 4.26** User Interface Kalkulator PMV

*Input* yang telah didapatkan dari hasil pengukuran dan menentukan nilai *clothing insulation* serta *metabolic rate* digunakan untuk dimasukkan dalam kalkulator PMV. Setelah dimasukkan dalam kalkulator PMV maka akan dilakukan perhitungan menggunakan kalkulator PMV untuk melihat *thermal comfort* pada departemen produksi. *Input* data yang digunakan adalah data *thermal* hasil simulasi CFD dan nilai MRT diasumsikan sama dengan nilai *air temperature* ( $t_a$ ). Tabel 4.15 menunjukkan *input* dan hasil dari perhitungan PMV pada pekerja departemen produksi untuk kondisi eksisting.

**Tabel 4.15** Hasil Perhitungan PMV *Index* Departemen Produksi Kondisi Eksisting

Pekerja	$t_a$ (°C)	MRT (°C)	$v_{ar}$ (m/s)	Rh (%)	$I_{cl}$ (clo)	M (met)	PMV
1	32,18	32,18	0,096	48,66	0,80	2,4	2,75
2	34,38	34,38	0,346	52,38	0,80	1,8	2,85
3	35,01	35,01	0,417	42,60	0,80	2,4	3,20
4	33,22	33,22	0,180	48,56	0,80	1,8	2,58

Pada Tabel 4.15 digunakan simbol antara lain *air temperature* ( $t_a$ ), *mean radiant temperature* (MRT), *air velocity* ( $v_{ar}$ ), *relative humidity* (Rh), *clothing insulation* ( $I_{cl}$ ), *metabolic rate* (M), *predicted mean vote* (PMV). Setelah dilakukan langkah-langkah perhitungan terlihat bahwa faktor yang menyebabkan besarnya PMV *Index* adalah faktor *air temperature* dan MRT. Hasil nilai PMV menunjukkan sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja departemen produksi. Dari Tabel 4.16 dapat diketahui bahwa nilai

PMV tertinggi dirasakan pekerja 3 dengan nilai 3,20 yang berarti bahwa sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja adalah panas (*hot*) dan PMV terendah dirasakan pekerja 4 dengan nilai 2,58 yang berarti bahwa sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja adalah hangat (*warm*). Dampak yang ditimbulkan dari keadaan tersebut adalah pekerja mengalami keluhan *heat stress* seperti pekerja sering melakukan *rest*, sering mengalami *dehydration*, sering mengalami *heat rash*, sering mengalami *heat cramps*, dan sering mengalami *heat exhaustion*.

#### 4.3.3 Rekomendasi Perbaikan

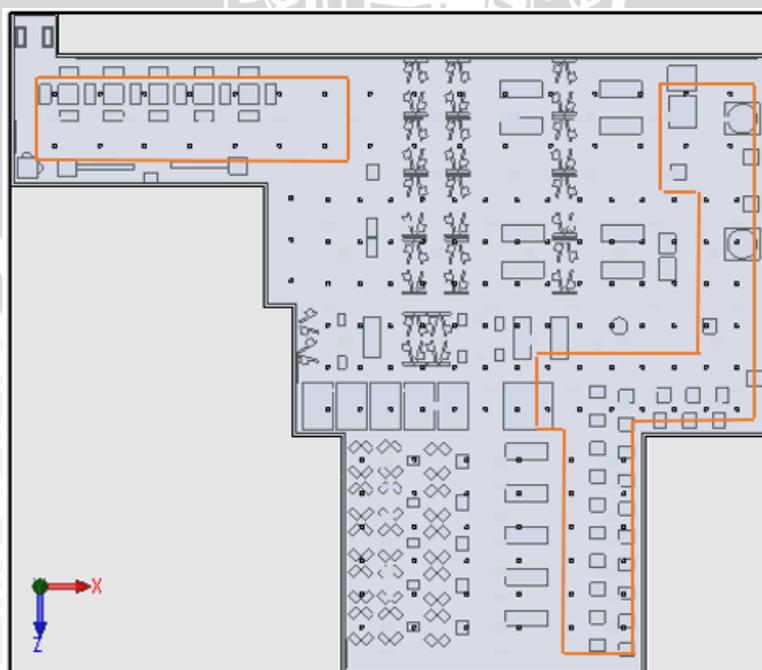
Hasil dari PMV *index* yang hasil perhitungan menunjukkan bahwa pekerja merasakan ketidaknyamanan dalam bekerja karena nilai PMV *Index* masih berada pada kisaran nilai yang panas (*hot*). Dampak yang dirasakan pekerja apabila bekerja dalam kondisi panas secara terus-menerus adalah pekerja dapat mengalami *heat stress*. Berdasarkan referensi, *heat stress* adalah gejala akibat tubuh tidak mampu menyesuaikan panas dengan keadaan lingkungan sekitar. Dari keadaan tersebut dibutuhkan suatu upaya perbaikan untuk meminimasi potensi terjadinya *heat stress* dan bertujuan untuk meningkatkan *thermal comfort* pekerja pada departemen produksi sehingga pekerja dapat bekerja dengan nyaman dan aman. Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri, mengatakan bahwa persyaratan terkait tata cara pelaksanaan agar ruang kerja industri memenuhi persyaratan kesehatan perlu dilakukan upaya-upaya seperti bila suhu udara lebih dari 30 °C perlu menggunakan alat penata udara seperti *Air Conditioner* (AC), *exhaust fan*, dan lain-lain. Dari diskusi dengan pihak perusahaan, saran yang diberikan juga perlu menambahkan AC atau *exhaust fan* agar departemen produksi dapat lebih nyaman untuk bekerja.

##### 4.3.3.1 Rekomendasi Perbaikan 1

Pada kondisi eksisting terjadi permasalahan utama pada *air temperature* yang terlalu tinggi sedangkan *air velocity* dan *relative humidity* berada pada kondisi aman atau berada dalam batas aman sesuai dengan standar ASHRAE (2004). Dengan demikian rekomendasi perbaikan yang diberikan berdasarkan parameter utama yaitu *air temperature*. *Air temperature* di dalam ruangan hasil pengukuran rata-rata berada pada rentang 32 °C hingga 35 °C sedangkan di luar ruangan adalah 28 °C sehingga terdapat perbedaan yang signifikan dari nilai tersebut. Penyebab dari kondisi panas berlebih

dalam departemen produksi adalah sumber panas yang berasal dari mesin yang menghasilkan panas pada saat terjadinya proses *forging*, *annealing*, *hardening*, dan *tang tempering*. Sirkulasi udara yang dilihat dari interpretasi aliran udara pada simulasi CFD model eksisting dalam departemen produksi dapat diketahui bahwa udara panas sulit untuk keluar ruangan dan menyebabkan panas dalam departemen produksi.

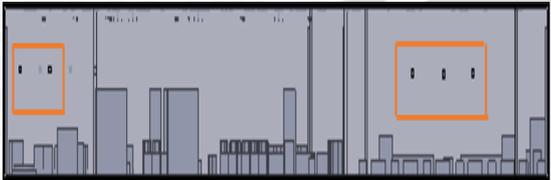
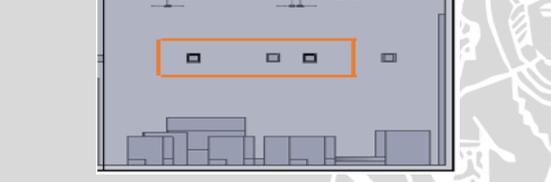
Dari permasalahan yang sama pada penelitian lain sebenarnya bisa dengan membuka sirkulasi udara dengan ventilasi berupa jendela tetapi pada departemen produksi kurang memungkinkan untuk dilakukan karena ada batas dinding yang bersebelahan langsung dengan departemen lain. Meskipun ada beberapa sisi yang tidak bersebelahan langsung dengan departemen produksi tetapi tidak disarankan karena akan membuat ruang departemen produksi menjadi berdebu atau masuknya kotoran secara berlebih. Karena permasalahan tersebut maka rekomendasi perbaikan yang sesuai adalah *exhaust fan* yang awalnya menggunakan model KDK 45 GSC maka dilakukan pergantian dengan model KDK 65 GSC merupakan model tertinggi di kelasnya. Daya hisap dari *exhaust fan* awal sebesar  $5200 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $1,472 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ditingkatkan menjadi  $8040 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ). *Exhaust fan* yang diganti hanya yang berada di atas setiap mesin yang menjadi sumber panas pada ruangan yaitu berjumlah 52 buah dari total 155 buah. Penambahan daya hisap tersebut diharapkan dapat membuat *air temperature* dalam ruangan menjadi turun. Berikut adalah *layout exhaust fan* yang akan diganti dengan *exhaust fan* baru yang mempunyai daya hisap lebih tinggi dari sebelumnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.27.



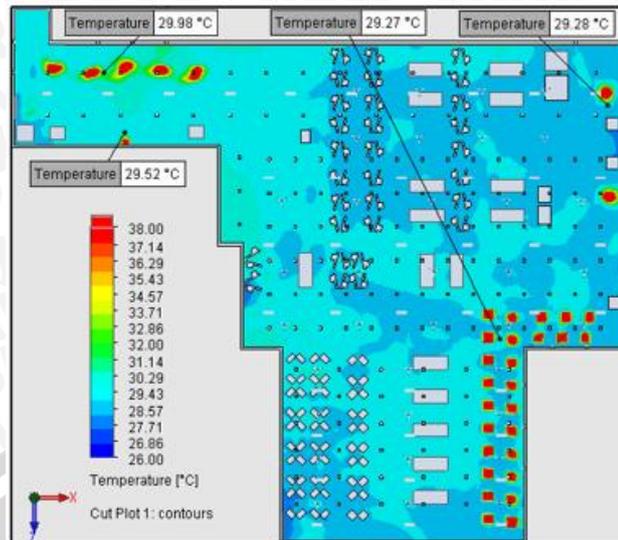
Gambar 4.27 Layout Exhaust Fan Baru Dalam Garis Orange

Selain itu, dilakukan dilakukan penambahan *exhaust fan* yang memiliki daya hisap sebesar  $8040 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ) yang diletakkan pada dinding. *Exhaust fan* dinding tersebut juga diberikan untuk mesin-mesin yang menjadi sumber panas pada departemen produksi. Jumlah *exhaust fan* dinding yang ditambahkan sebanyak 10 buah, dengan penempatan lokasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Letak *Exhaust Fan* Dinding Rekomendasi Perbaikan 1

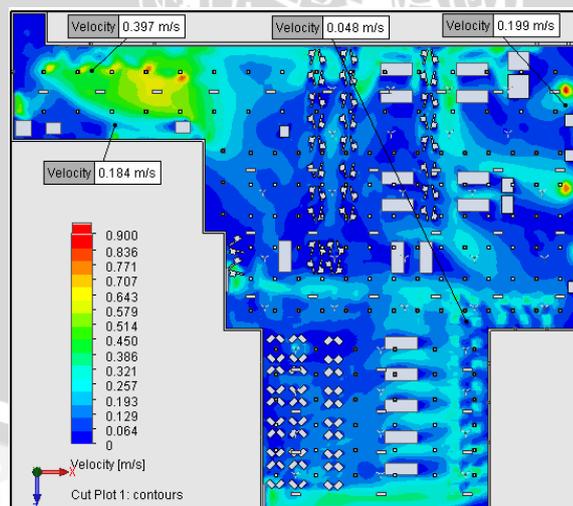
Letak <i>Exhaust Fan</i> Dinding	Keterangan
	<p><i>Exhaust fan</i> dinding diletakkan pada dinding proses <i>annealing</i> sebanyak 2 buah dan <i>hardening</i> sebanyak 3 buah, jadi total pada dinding tersebut terdapat 5 <i>exhaust fan</i> dinding.</p>
	<p><i>Exhaust fan</i> dinding diletakkan pada dinding proses <i>forging</i> pada sisi seberang pintu 5 yaitu berjumlah 3 buah karena letak mesin yang cukup banyak.</p>
	<p><i>Exhaust fan</i> dinding diletakkan pada dinding proses <i>forging</i> yang pada sisi seberang <i>exhaust fan</i> dinding <i>annealing</i> yaitu berjumlah 2 buah.</p>

Implementasi perubahan daya hisap dilakukan pada skenario perbaikan menggunakan simulasi CFD dengan mengganti *input* daya hisap awal dengan daya hisap baru yang memiliki kemampuan lebih besar dari sebelumnya dan juga pada *exhaust fan* dinding. *Input* yang pada awalnya sebesar  $5200 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $1,472 \text{ m}^3/\text{s}$ ) diganti menjadi  $8040 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Tahapan dalam melakukan simulasi CFD sama seperti pada saat menjalankan simulasi CFD kondisi eksisting. Berikut ini adalah rekomendasi perbaikan 1 berupa gambar *output* dari simulasi CFD setelah mengalami perubahan *input* yang telah didefinisikan.



**Gambar 4.28** Sebaran Air Temperature Rekomendasi Perbaikan 1

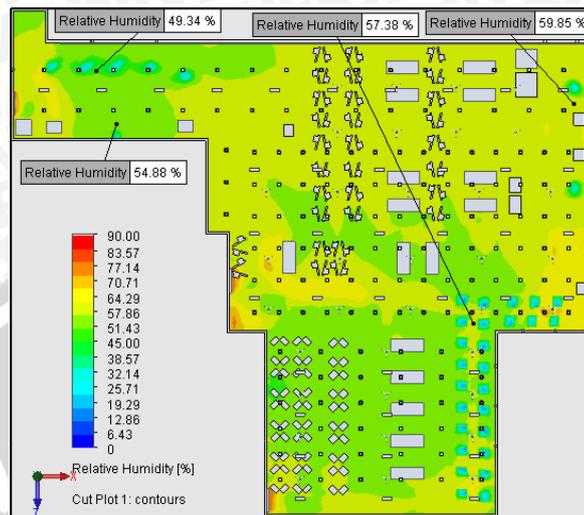
Pada Gambar 4.28 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan *air temperature* apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting. Rentang hasil *air temperature* pada rekomendasi perbaikan 1 adalah 29,27 °C hingga 29,98 °C. Berkurangnya *air temperature* tersebut disebabkan karena udara panas pada sekitar proses *hardening* dapat keluar melalui *exhaust fan* dinding yang telah dipasang. Karena udara panas sekitar yang belum dapat keluar secara maksimal dan ditambah dengan mesin yang memiliki panas yang tinggi maka penurunan *air temperature* belum bisa signifikan pada proses *hardening*. Tetapi secara keseluruhan *air temperature* pada departemen produksi dikatakan terjadi penurunan bila dibandingkan dengan kondisi eksisting.



**Gambar 4.29** Sebaran Air Velocity Rekomendasi Perbaikan 1

Pada Gambar 4.29 dapat diketahui bahwa *air velocity* berada pada rentang 0,048 m/s hingga 0,397 m/s. Nilai *air velocity* 0,397 m/s tersebut dikarenakan udara yang masuk dari pintu 3 dekat *hardening* pada awalnya cukup tinggi dan ditambah dengan adanya *exhaust fan* dinding maka udara akan lebih cepat masuk ke dalam *outlet*

tersebut. Apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting maka didapatkan sedikit peningkatan pada kecepatan angin karena penambahan *exhaust fan* dinding pada dinding dekat proses *hardening*.



**Gambar 4.30** Sebaran *Relative Humidity* Rekomendasi Perbaikan 1

Pada Gambar 4.30 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan *relative humidity* bila dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hasil dari rekomendasi perbaikan 1 menunjukkan bahwa terjadi rentang *relative humidity* sebesar 49,34% hingga 59,85%. *Relative humidity* terkecil berada pada pekerja 3 yaitu *hardening* dan *relative humidity* terbesar berada pada pekerja 2 yaitu *annealing*. Peningkatan tersebut masih dalam batas aman dalam *relative humidity* yang baik untuk pekerja.

Hasil yang sudah didapat pada rekomendasi perbaikan 1 kemudian dilakukan perhitungan ulang *thermal comfort* pada pekerja departemen produksi menggunakan *PMV index* dengan cara yang sama pada saat perhitungan *PMV index* kondisi eksisting. Pada Tabel 4.17 akan disajikan data dan hasil perhitungan *PMV index* dari rekomendasi perbaikan 1 yang telah dilakukan.

**Tabel 4.17** Hasil Perhitungan *PMV Index* Rekomendasi Perbaikan 1

Pekerja	$t_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$MRT$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$v_{ar}$ (m/s)	$Rh$ (%)	$I_{cl}$ (clo)	M (met)	PMV
1	29,27	29,27	0,048	57,38	0,80	2,4	2,36
2	29,28	29,28	0,199	59,85	0,80	1,8	1,91
3	29,98	29,98	0,397	49,34	0,80	2,4	2,36
4	29,52	29,52	0,184	54,88	0,80	1,8	1,93

Nilai *PMV index* yang ditunjukkan Tabel 4.17 menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai *PMV* kondisi eksisting dengan rekomendasi perbaikan 1. Pada kondisi eksisting nilai *PMV* terendah berada pada pekerja 4 yaitu 2,61 dan tertinggi adalah

pekerja 3 yaitu 3,49, setelah dilakukan rekomendasi perbaikan 1 maka nilai PMV terendah berada pada pekerja 2 yaitu 1,91 dan tertinggi adalah pekerja 1 dan pekerja 3 yaitu 2,36. Dari rekomendasi perbaikan 1 didapat bahwa pekerja 1 dan pekerja 3 memiliki nilai +2 yang berarti sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja adalah hangat (*warm*). Sedangkan pekerja 2 dan pekerja 4 memiliki nilai +1 yang berarti sedikit hangat (*slightly warm*). Sehingga dapat dikatakan terjadi penurunan potensi keluhan *heat stress* pada pekerja departemen produksi.

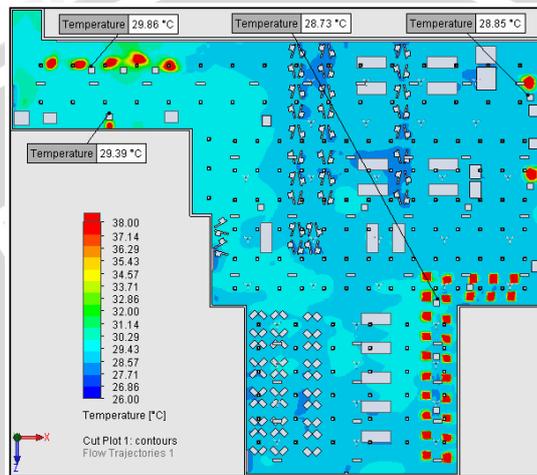
#### 4.3.3.2 Rekomendasi Perbaikan 2

Setelah melakukan rekomendasi perbaikan 1 dengan menggunakan penggantian daya hisap *exhaust fan* dengan daya hisap yang lebih besar dan penambahan *exhaust fan* dinding maka terjadi penurunan *air temperature* karena parameter utama yang dilihat adalah upaya untuk menurunkan *air temperature* pada departemen produksi yang tinggi. Pada rekomendasi perbaikan 2 diberikan rekomendasi perbaikan dengan menambahkan *Air Conditioner* (AC) dengan daya hisap *exhaust fan* yang sama seperti kondisi awal agar departemen produksi menjadi lebih nyaman dan tidak kotor atau berdebu. Ada 15 AC sebesar 1,5 PK untuk tiap AC yang diletakkan diberbagai sisi departemen produksi, terdiri dari 2 AC duduk sebesar 1950 Watt yang ditunjukkan dengan kotak berwarna kuning dan 13 AC atap sebesar 1900 Watt yang ditunjukkan dengan kotak warna merah yang berada di langit-langit departemen produksi. 2 AC duduk diletakkan pada sisi utara dan timur pada bagian tengah setiap sisi tersebut. 13 AC atap diletakkan pada langit-langit yang terdiri dari 3 AC pada langit-langit proses *hardening* dan 1 AC pada langit-langit proses *tang tempering*, 3 AC diletakkan pada bagian tengah departemen produksi, 2 AC pada langit-langit proses *annealing*, dan 4 AC pada langit-langit proses *forging* dekat lokasi pekerja 1. Pada Gambar 4.31 dapat dilihat letak AC duduk dan AC atap pada departemen produksi.



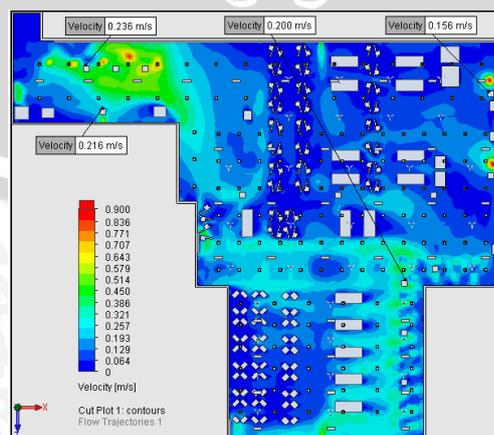
Gambar 4.31 Letak *Air Conditioner* Rekomendasi Perbaikan 2

Penempatan posisi AC dan jumlah yang ditambahkan sesuai pada Gambar 4.31 diharapkan efektif dan efisien agar pada departemen produksi terjadi lingkungan kerja yang nyaman dan bersih dengan menjangkau seluruh sisi ruangan. Langkah-langkah untuk menjalankan simulasi CFD sama seperti saat menjalankan simulasi CFD kondisi eksisting dan rekomendasi perbaikan 1, hanya perlu menambahkan AC dan *input* data. Berikut ini adalah rekomendasi perbaikan 2 berupa gambar *output* dari simulasi CFD setelah mengalami perubahan *input* yang telah didefinisikan.



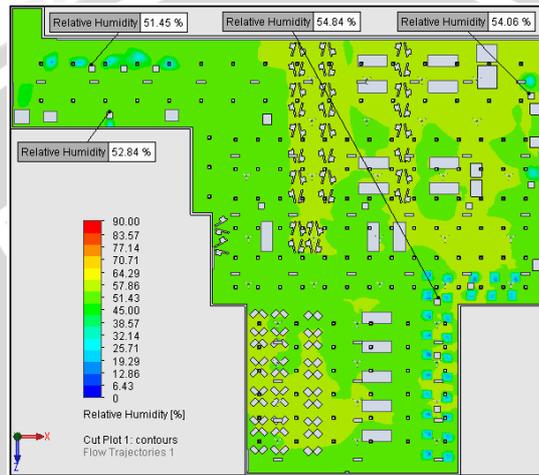
**Gambar 4.32** Sebaran Air Temperature Rekomendasi Perbaikan 2

Pada Gambar 4.32 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan *air temperature* bila dibandingkan dengan kondisi eksisting dan rekomendasi perbaikan 1. Rentang hasil *air temperature* pada rekomendasi perbaikan 3 adalah 28,73°C hingga 29,86°C. Dengan *air temperature* tertinggi berada pada pekerja 3 dan *air temperature* terendah berada pada pekerja 1. Berkurangnya *air temperature* secara keseluruhan pada area pekerja disebabkan karena penempatan AC yang efektif dan efisien dengan hembusan udara dingin yang dikeluarkan dari AC tersebut dapat menjangkau ke seluruh ruangan departemen produksi.



**Gambar 4.33** Sebaran Air Velocity Rekomendasi Perbaikan 2

Pada Gambar 4.33 dapat diketahui bahwa *air velocity* berada pada rentang 0,156 m/s hingga 0,236 m/s. *Air velometer* tertinggi berada pada pekerja 3 dan *air velometer* terendah berada pada pekerja 1. Pada rekomendasi perbaikan 2 ini apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting dan rekomendasi perbaikan 1 terjadi penurunan dan sedikit peningkatan kecepatan angin dikarenakan lokasi *inlet* pintu yang langsung masuk dan mengarah pada titik lokasi pekerja tersebut ditambah dengan hembusan udara dari AC tetapi masih berada pada batas aman.



**Gambar 4.34** Sebaran *Relative Humidity* Rekomendasi Perbaikan 2

Pada Gambar 4.34 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan *relative humidity* bila dibandingkan dengan rekomendasi perbaikan 1. Hasil dari rekomendasi perbaikan 2 menunjukkan bahwa terjadi rentang *relative humidity* sebesar 51,45% hingga 54,84%. *Relative humidity* terkecil berada pada pekerja 3 yaitu *hardening* dan *relative humidity* terbesar berada pada pekerja 1 yaitu *forging*. Pada nilai *relative humidity* rekomendasi perbaikan 2 baik untuk pekerja melakukan pekerjaan karena dalam batas aman *relative humidity* yang disarankan.

Hasil yang sudah didapat pada rekomendasi perbaikan 2 kemudian dilakukan perhitungan ulang *thermal comfort* pekerja departemen produksi menggunakan PMV *index*. Pada Tabel 4.18 akan disajikan hasil perhitungan PMV *index* dari rekomendasi perbaikan 2 yang telah dilakukan.

**Tabel 4.18** Hasil Perhitungan PMV *Index* Rekomendasi Perbaikan 2

Pekerja	$t_a$ (°C)	MRT (°C)	$v_{ar}$ (m/s)	Rh (%)	$I_{cl}$ (clo)	M (met)	PMV
1	28,73	28,73	0,200	54,84	0,80	2,4	2,21
2	28,85	28,85	0,156	54,06	0,80	1,8	1,81
3	29,86	29,86	0,236	51,45	0,80	2,4	2,37
4	29,39	29,39	0,216	52,84	0,80	1,8	1,88

Nilai *PMV index* yang ditunjukkan Tabel 4.18 menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai *PMV* rekomendasi perbaikan 1 dengan rekomendasi perbaikan 2. Pada rekomendasi perbaikan 1 nilai *PMV* terendah berada pada pekerja 2 yaitu 2,05 dan tertinggi adalah pekerja 3 yaitu 2,80, setelah dilakukan rekomendasi perbaikan 2 maka nilai *PMV* terendah berada pada pekerja 2 yaitu 1,81 dan tertinggi adalah pekerja 3 yaitu 2,37. Dari rekomendasi perbaikan 2 yang dilakukan diketahui bahwa pekerja 1 dan pekerja 3 memiliki nilai +2 yang berarti sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja adalah hangat (*warm*). Sedangkan pekerja 2 dan pekerja 4 memiliki nilai +1 yang berarti sedikit hangat (*slightly warm*). Sehingga dapat dikatakan terjadi penurunan potensi keluhan *heat stress* pekerja departemen produksi.

#### 4.4 ANALISIS BIAYA

Dari rekomendasi perbaikan yang telah dilakukan maka untuk rekomendasi perbaikan 1 yaitu dengan mengganti *exhaust fan* lama sebanyak 52 buah dan menambahkan 10 *exhaust fan* baru model KDK 65 GSC dengan total sebanyak 62 buah. Sedangkan rekomendasi perbaikan 2 yaitu dengan menambahkan 2 AC duduk dan 13 AC atap. Perbandingan biaya pengadaan dari penambahan *exhaust fan* dan AC dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20.

**Tabel 4.19** Biaya Pengadaan *Exhaust Fan*

<i>Exhaust Fan</i>	Harga per Buah	Jumlah	Total Harga
1 <i>exhaust fan</i>	Rp 820.000,-	62 buah	Rp 50.840.000,-

**Tabel 4.20** Biaya Pengadaan *Air Conditioner*

<i>Air Conditioner</i>	Harga per buah	Jumlah	Total Harga
1 AC duduk	Rp 10.250.000,-	2 buah	Rp 20.500.000,-
1 AC atap	Rp 13.300.000,-	13 buah	Rp 172.900.000,-
		<b>Total</b>	Rp 193.400.000,-

Dari segi biaya pembelian *exhaust fan* dan AC maka dapat dilihat bahwa untuk membeli *exhaust fan* memerlukan biaya sebesar Rp 50.840.000,- sedangkan untuk membeli AC memerlukan biaya sebesar Rp 193.400.000,- sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa untuk membeli 15 AC lebih mahal dibandingkan membeli 62 *exhaust fan*. Jadi dilihat dari biaya pengadaan lebih baik untuk menambahkan *exhaust fan* pada departemen produksi.

Perbandingan biaya dari segi tarif listrik yang dikeluarkan dari penggunaan *exhaust fan* dan AC dapat dilihat dari Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

**Tabel 4.21** Perhitungan *Exhaust Fan*

Keterangan	Perhitungan <i>Exhaust Fan</i>
1 buah	245 Watt
62 buah	245 Watt x 62 = 15190 Watt
62 buah	15,19 kW
Pemakaian 1 bulan (512 h)	15,19 kW x 512 h = 7777,28 kWh
Tarif listrik 1 bulan	7777,28 kWh x Rp 1108,7 per kWh = Rp 8.622.670,-

**Tabel 4.22** Perhitungan *Air Conditioner*

Keterangan	Perhitungan <i>Air Conditioner</i>
1 AC Duduk	1950 Watt
2 AC Duduk	1950 Watt x 2 = 3900 Watt
1 AC Atap	1900 Watt
13 AC Atap	1900 Watt x 13 = 24700 Watt
15 AC (2 AC Duduk + 13 AC Atap)	3900 Watt + 24700 Watt = 28600 Watt
15 AC (2 AC Duduk + 13 AC Atap)	28,6 kW
Pemakaian 1 bulan (512 h)	28,6 kW x 512 h = 14643,2 kWh
Tarif listrik 1 bulan	14643,2 kWh x Rp 1108,7 per kWh = Rp 16.234.916,-

Dari hasil perhitungan biaya tarif listrik selama 1 bulan diketahui bahwa untuk penggunaan *exhaust fan* memerlukan biaya sebesar Rp 8.622.670,- sedangkan untuk penggunaan AC memerlukan biaya sebesar Rp 16.234.916,- sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa lebih baik menggunakan *exhaust fan* daripada AC karena tarif listrik yang dikeluarkan selama 1 bulan juga lebih murah menggunakan *exhaust fan* dibanding dengan AC. Berdasarkan analisis biaya yang dilakukan dari segi pengadaan dan tarif listrik selama 1 bulan dari *exhaust fan* dan AC maka disarankan untuk melakukan rekomendasi perbaikan 1 dengan menambahkan *exhaust fan* karena biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan dan tarif listrik selama 1 bulan lebih efisien dibandingkan dengan melakukan rekomendasi perbaikan 2 yaitu dengan menambahkan AC.

#### 4.5 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari rekomendasi perbaikan yang telah dilakukan dengan simulasi CFD dan melakukan perhitungan ulang nilai *PMV index* maka dapat dilakukan analisis hasil dan pembahasan dengan melihat kondisi eksisting berdasarkan *thermal comfort* pekerja yang telah dihitung dalam pengolahan data. Nilai *PMV index* berasal dari *metabolic rate* (met), *clothing insulation* (clo), *air temperature* (°C), *mean radiant temperature* (°C), *air velocity* (m/s), dan *relative humidity* (%) dari titik lokasi pekerja yang telah ditentukan.

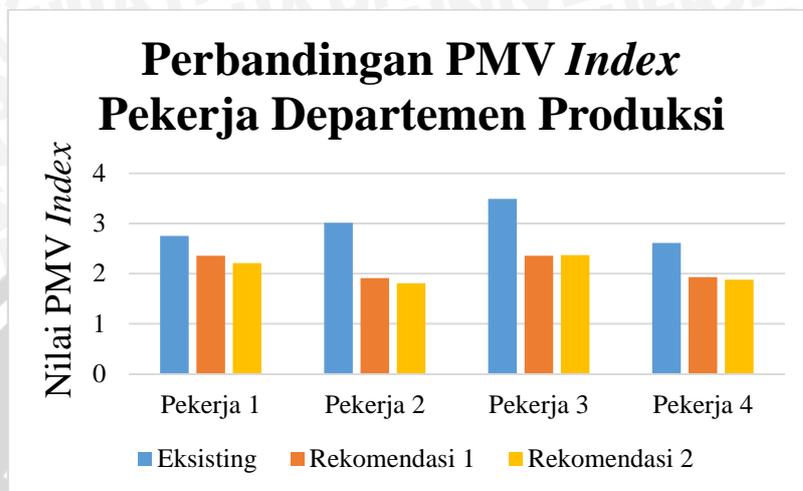
Dari hasil pengolahan data didapatkan nilai *metabolic rate* untuk pekerja 1 dan 3 adalah 2,4 met dan pekerja 2 dan 4 adalah 1,8 met. *Clothing insulation* dari seragam kerja yang digunakan oleh pekerja departemen produksi adalah 0,80 Clo. Nilai yang telah diketahui tersebut bersama nilai *air temperature*, *mean radiant temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* dimasukkan ke dalam persamaan *PMV index*. Berdasarkan standar ASHRAE (2004) nilai *PMV index* dapat dihitung menggunakan bantuan kalkulator *PMV* dalam *software Microsoft Excel* dan *Microsoft Visual Basic for Application*.

Setelah dilakukan perhitungan *thermal comfort* menggunakan *PMV index* maka selanjutnya dilakukan simulasi CFD dari kondisi eksisting. Simulasi kondisi eksisting yang telah valid atau sudah merepresentasikan keadaan nyata di departemen produksi kemudian dilakukan analisis faktor apa saja yang mempengaruhi kondisi di lapangan dan rekomendasi perbaikan apa yang tepat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Langkah yang dilakukan adalah melakukan rekomendasi perbaikan yang diimplementasikan pada simulasi CFD. Setelah didapatkan *output* dari hasil simulasi CFD, dilakukan perhitungan ulang *thermal comfort* dengan *PMV index*. Pada penelitian ini terdapat 2 rekomendasi perbaikan yang dilakukan. Hasil yang didapat pada kondisi eksisting, rekomendasi perbaikan 1, dan rekomendasi perbaikan 2 dibandingkan untuk dilakukan analisis. Perbandingan nilai *PMV index* kondisi eksisting, rekomendasi perbaikan 1 dan rekomendasi perbaikan 2 disajikan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Perbandingan Nilai *PMV Index*

Pekerja	Perbandingan <i>Predicted Mean Vote (PMV) Index</i>		
	Eksisting	Rekomendasi Perbaikan	
		1	2
Pekerja 1	2,75	2,36	2,21
Pekerja 2	3,01	1,91	1,81
Pekerja 3	3,49	2,36	2,37
Pekerja 4	2,61	1,93	1,88

Dari Tabel 4.23 perbandingan nilai PMV *index* maka dapat ditampilkan pada sebuah grafik untuk melihat perbandingan kondisi eksisting dan kondisi dimana sudah mengalami rekomendasi perbaikan. Perbandingan nilai PMV *index* berupa grafik akan ditampilkan pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Nilai PMV *Index*

Kondisi eksisting nilai PMV *Index* menunjukkan bahwa nilai tertinggi ada pada pekerja 3 dengan nilai sebesar 3,49, diikuti dengan pekerja 2 dengan nilai 3,01. Nilai +3 berarti bahwa sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja 3 yaitu pekerja *hardening* dan *annealing* adalah panas (*hot*). Sedangkan pekerja 1 yaitu *forging* dan pekerja 4 yaitu *tang tempering* memiliki nilai PMV sebesar 2,75 dan 2,61. Nilai +2 berarti bahwa sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja 1 dan pekerja 4 adalah hangat (*warm*). Sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja departemen produksi dapat menimbulkan potensi *heat stress* yang berlebih pada pekerja, apabila terus berada pada kondisi tersebut maka akan menyebabkan potensi *heat stress* atau terkena *strong heat stress*. Dengan keadaan demikian diperlukan perbaikan pada lingkungan departemen produksi.

Rekomendasi perbaikan 1 dilakukan dengan parameter utama yaitu *air temperature* yang tinggi pada departemen produksi terbukti dari keluhan *heat stress* yang dialami pekerja departemen produksi. Rekomendasi perbaikan 1 dilakukan untuk mengurangi udara panas akibat mesin yang menjadi sumber panas pada ruangan saat melakukan proses produksi. Rekomendasi perbaikan 1 dilakukan dengan mengubah *exhaust fan* yang awalnya menggunakan model KDK 45 GSC maka dilakukan pergantian dengan model KDK 65 GSC merupakan model tertinggi di kelasnya. Daya hisap dari *exhaust fan* awal sebesar 5200 m<sup>3</sup>/h (1,472 m<sup>2</sup>/s) ditingkatkan menjadi 8040 m<sup>3</sup>/h (2,23 m<sup>2</sup>/s). *Exhaust fan* yang diganti hanya yang berada di atas setiap mesin yang

menjadi sumber panas pada ruangan yaitu berjumlah 52 buah dari total 155 buah. Kemudian dilakukan penambahan *exhaust fan* pada dinding dengan spesifikasi yang sama seperti *exhaust fan* yang diganti dengan daya hisap sebesar  $8040 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,23 \text{ m}^2/\text{s}$ ). Terdapat penambahan *exhaust fan* dinding sebanyak 10 buah terdiri dari 3 buah *exhaust fan* pada dinding dekat *hardening* karena untuk mencoba mengurangi udara panas pada pekerja 3, pada pekerja 1 yaitu *forging* ada 5 buah dengan sisi yang pertama dua buah dan sisi kedua tiga buah, dan untuk *annealing* juga ditambahkan 2 buah *exhaust fan* dinding. Dari perubahan tersebut maka didapatkan hasil penurunan nilai *PMV Index* pada semua pekerja. Pekerja 1 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 2,75 menurun menjadi 2,36. Pekerja 2 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 3,01 menurun menjadi 1,91. Pekerja 3 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 3,49 menurun menjadi 2,36. Pekerja 4 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 2,61 menurun menjadi 1,93. Dari nilai tersebut maka hasil dari rekomendasi 1 adalah nilai *PMV* pekerja 1 dan 3 mengalami penurunan yaitu berada pada +1 yang berarti sedikit hangat (*slightly warm*), sedangkan pekerja 2 dan 4 berada pada +2 yang berarti hangat (*warm*). Dengan nilai tersebut maka pekerja departemen produksi untuk resiko terkena *strong heat stress* berkurang menjadi *moderate heat stress*.

Rekomendasi perbaikan 2 dilakukan sebagai alternatif yang berbeda dari rekomendasi perbaikan 1 yaitu dengan cara menambahkan *Air Conditioner* (AC) pada departemen produksi. Ada 15 AC yang diletakkan diberbagai sisi departemen produksi, terdiri dari 2 AC duduk dan 13 AC atap yang berada di langit-langit departemen produksi. 2 AC duduk diletakkan pada sisi utara dan timur pada bagian tengah setiap sisi tersebut. 13 AC atap diletakkan pada langit-langit yang terdiri dari 3 AC pada langit-langit proses *hardening* dan 1 AC pada langit-langit proses *tang tempering*, 3 AC diletakkan pada bagian tengah departemen produksi, 2 AC pada langit-langit proses *annealing*, dan 4 AC pada langit-langit proses *forging* dekat lokasi pekerja 1. Dari perubahan tersebut maka didapatkan hasil penurunan nilai *PMV Index* pada semua pekerja. Pekerja 1 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 2,75 menurun menjadi 2,21. Pekerja 2 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 3,01 menurun menjadi 1,81. Pekerja 3 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 3,49 menurun menjadi 2,37. Pekerja 4 yang awalnya memiliki nilai *PMV* sebesar 2,61 menurun menjadi 1,88. Dari nilai tersebut maka hasil dari rekomendasi 2 adalah nilai *PMV* pekerja 1 dan pekerja 3 mengalami penurunan yaitu berada pada +2 yang berarti hangat (*warm*). Pekerja 2 dan pekerja 4 mengalami penurunan *PMV* yaitu berada pada nilai +1 yang berarti sedikit

hangat (*slightly warm*). Dengan nilai tersebut maka pekerja departemen produksi untuk resiko terkena *strong heat stress* berkurang menjadi *moderate heat stress*.

Rekomendasi perbaikan 1 dan rekomendasi perbaikan 2 apabila diterapkan maka perlu melakukan pergantian dan penambahan *exhaust fan* dengan daya hisap yang lebih besar dan perlu menambahkan AC duduk serta AC atap. Dengan menerapkan rekomendasi perbaikan maka dapat mengurangi potensi pekerja mengalami *strong heat stress*. Sebaiknya apabila perusahaan ingin menerapkan rekomendasi perbaikan tersebut, dapat menerapkan rekomendasi perbaikan 1 dan rekomendasi perbaikan 2 berdasarkan nilai *PMV index* yang tidak jauh berbeda dari kedua rekomendasi perbaikan tersebut. Dengan parameter utama yang dipilih adalah *air temperature* maka rekomendasi perbaikan 1 dan rekomendasi perbaikan 2 dapat dipilih karena semua nilai *air temperature* pada titik area pekerja yang telah ditentukan memiliki nilai dibawah 30°C, dimana berada pada batas aman *air temperature* dan dapat membuat ruangan lebih bersih. Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri, mengatakan bahwa persyaratan terkait suhu udara ruangan adalah 18 – 30°C.

Selain menggunakan nilai *PMV index* dan *air temperature* sebagai dasar pemilihan rekomendasi perbaikan, maka berdasarkan kelebihan dan kekurangan menggunakan *exhaust fan* dan AC didapatkan kesimpulan bahwa rekomendasi perbaikan 1 dengan menggunakan *exhaust fan* lebih tepat digunakan untuk departemen produksi. Dengan menggunakan *exhaust fan* maka dapat membuang udara panas di dalam ruangan, hemat biaya, daya lebih efisien, dan lebih ramah lingkungan sehingga dapat meningkatkan produktivitas, meningkatkan kualitas udara dalam ruangan, dan membuat pekerja lebih nyaman untuk bekerja. Sedangkan dengan menggunakan AC maka biaya yang dikeluarkan lebih mahal, daya lebih besar, dan kurang ramah terhadap lingkungan. Dengan demikian dipilih rekomendasi perbaikan 1 yang tepat digunakan pada departemen produksi. Dari rekomendasi perbaikan yang telah dilakukan tersebut dapat mengurangi terjadinya keluhan potensi *heat stress* yang berlebih sehingga pekerja dapat bekerja lebih aman dan nyaman daripada sebelumnya.

Dari segi biaya pengadaan dan tarif listrik selama 1 bulan maka rekomendasi perbaikan 1 dengan menggunakan *exhaust fan* lebih baik daripada rekomendasi perbaikan 2 dengan menggunakan AC karena biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan dan pembayaran tarif listrik lebih murah dan efisien. Sedangkan rekomendasi perbaikan

2 lebih mahal untuk biaya pengadaan dan pembayaran tarif listrik selama 1 bulan. Dapat dilihat dari biaya pembelian *exhaust fan* dan AC memerlukan biaya sebesar Rp 50.840.000,- sedangkan untuk membeli AC memerlukan biaya sebesar Rp 193.400.000,-. Dari hasil perhitungan biaya tarif listrik selama 1 bulan diketahui bahwa untuk penggunaan *exhaust fan* memerlukan biaya sebesar Rp 8.622.670,- sedangkan untuk penggunaan AC memerlukan biaya sebesar Rp 16.234.916,- sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa lebih baik menggunakan *exhaust fan* daripada AC karena tarif listrik yang dikeluarkan selama 1 bulan juga lebih murah menggunakan *exhaust fan* dibanding dengan AC. Dengan melihat dari nilai *PMV index*, *air temperature*, kelebihan menggunakan *exhaust fan*, dan dari segi biaya pengadaan serta tarif listrik selama 1 bulan dari penambahan *exhaust fan* maka disarankan untuk menggunakan rekomendasi perbaikan 1 untuk diterapkan di departemen produksi.

Berdasarkan referensi, lingkungan kerja adalah segala sesuatu yang ada di sekitar para pekerja yang dapat mempengaruhi dirinya dalam menjalankan tugas-tugas yang diembankan. Jadi selain berpengaruh terhadap kesehatan pekerja, lingkungan kerja dalam hal ini *thermal comfort* pekerja pada departemen produksi yang memuaskan bagi pekerja akan dapat meningkatkan kinerja. Sebaliknya lingkungan kerja yang tidak memuaskan akan dapat menurunkan kinerja dan akhirnya akan menurunkan motivasi pekerja.



## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran sebagai masukan berdasarkan penelitian yang ditujukan kepada perusahaan dan penelitian yang selanjutnya.

### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang analisis *thermal comfort* pada pekerja departemen produksi berdasarkan *Predicted Mean Vote (PMV) Index* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *PMV index* dapat digunakan untuk mengukur level *heat stress* pada pekerja departemen produksi berdasarkan persamaan PMV atau menggunakan bantuan kalkulator PMV. Dari hasil perhitungan *PMV index* menunjukkan bahwa nilai PMV pekerja 1 adalah 2,75, pekerja 2 adalah 3,01, pekerja 3 adalah 3,49, dan pekerja 4 adalah 2,61. Pekerja 1 dan 4 berada pada nilai +2 yang berarti hangat (*warm*), sedangkan pekerja 2 dan 3 berada pada nilai +3 yang berarti panas (*hot*). Apabila berlangsung dalam waktu yang lama maka sensasi *thermal* yang dirasakan pekerja departemen produksi dapat menimbulkan potensi *heat stress* yang berlebih dan dapat mengganggu kesehatan serta kenyamanan dalam bekerja.
2. Rekomendasi perbaikan dilakukan karena nilai *PMV index* kondisi eksisting yang masih tinggi yang disebabkan *air temperature* pada departemen produksi berada di luar batas aman pekerja untuk bekerja dan dapat menimbulkan potensi *heat stress*. Rekomendasi perbaikan 1 dilakukan dengan mengubah daya hisap dari *exhaust fan* awal sebesar 5200 m<sup>3</sup>/h (1,472 m<sup>3</sup>/s) yang berjumlah 52 buah dari total 155 buah ditingkatkan menjadi 8040 m<sup>3</sup>/h (2,23 m<sup>3</sup>/s) dan dilakukan penambahan *exhaust fan* pada dinding sebanyak 10 buah dengan spesifikasi yang sama seperti *exhaust fan* baru dengan mengeluarkan biaya pengadaan sebesar Rp 50.840.000,- dan tarif listrik selama 1 bulan sebesar Rp 8.622.670,-. Rekomendasi perbaikan 2 dilakukan sebagai alternatif yang berbeda dari rekomendasi perbaikan 1 yaitu dengan cara menambahkan 15 *air conditioner (AC)* terdiri dari 13 AC atap dan 2 AC duduk pada departemen produksi dengan mengeluarkan biaya pengadaan sebesar Rp 193.400.000,- dan tarif listrik selama 1 bulan sebesar Rp 16.234.916,-. Dari rekomendasi perbaikan 1 dan 2 didapatkan penurunan nilai *PMV index* yang cukup

signifikan, dengan nilai PMV yang cenderung mendekati +2 yang berarti hangat (*warm*) sehingga dapat menurunkan resiko pekerja mengalami potensi *heat stress* berlebih. Berdasarkan batas aman *air temperature*, nilai PMV *index*, kelebihan menggunakan *exhaust fan*, dan analisis biaya maka rekomendasi perbaikan 1 akan menjadi pilihan yang tepat. Dengan menurunnya nilai PMV *index* hasil rekomendasi perbaikan maka dapat dikatakan *thermal comfort* pada pekerja departemen produksi meningkat sehingga dapat meningkatkan kenyamanan dalam bekerja dan meningkatkan produktivitas pada pekerja departemen produksi PT Jaykay Files Indonesia.

## 5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya untuk meningkatkan *thermal comfort* seharusnya mempertimbangkan dari segi estetika dan waktu pengukuran yang lebih lama agar dapat lebih merepresentasikan keadaan nyata di tempat penelitian.
2. Untuk perusahaan tempat dilakukan penelitian ini diharapkan agar dapat mempertimbangkan atau menerapkan rekomendasi perbaikan yang telah diberikan sehingga pekerja departemen produksi dapat bekerja lebih nyaman dan aman serta tercapai target produksi yang ditetapkan perusahaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfano, F.R., Ianniello, E. & Pallela, B.I., 2013, "PMV-PPD and Acceptability in Naturally Ventilated Schools", *Proceeding of Building and Environment*. Vol 67, hlm 129-137.
- ASHRAE, 2004, *ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta: Tullie Circle.
- Balaras, C. A., Dascalaki, E., & Gaglia, A, 2007, "HVAC and Indoor Thermal Conditions in Hospital Operating Rooms", *Journal of Energy and Buildings*, Vol 39, No.4, hlm 454-461.
- Chung, T.J., 2011, *Computational Fluid Dynamics*, London: Cambridge University Press.
- Cigler, J., Privaza, S., Vana, Z., Zacekova, E., & Ferkl, L, 2012, "Optimization of Predicted Mean Vote Index within Model Predictive Control framework: Computationally Tractable Solution", *Journal of Energy Buildings*, Vol 52, hlm 39-49.
- Diharja, I., 2011, *Paparan Panas, Paparan Dingin, dan Tekanan Turun*, Skripsi Tidak Dipublikasikan, Solo: Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Fanger, P Ole., 1970, *Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering*, New York: McGraw-Hill Book Company.
- Grandjean, E., 1986, *Fitting the Task to the Man*, London: Taylor & Francis.
- ISO 7730, 1994, "Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD indicie and Specification of the Conditions For Thermal Comfort", Geneva: International Organizations for Standardization.
- Karyono, T.H., 2001, "Penelitian Kenyamanan Termis Di Jakarta Sebagai Acuan Suhu Nyaman Manusia Indonesia", *Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol. 29 No 1, hlm 24-33.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002, 2002. *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri*. Jakarta.
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja No KEP-51/MEN/1999, 1999. *Nilai Ambang Batas Faktor Fisika Di Tempat Kerja*. Jakarta.
- Kroemer-Elbert, K.E., 1994, *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency*, New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Mardalis, 1999, *Metode Penelitian, Suatu Pendekatan Proposal*, Jakarta: PT Bumi Aksara.

- repository.ub.ac.id
- Mochidaa, A., dkk., 2005, "Methods for controlling airflow in and around a building under cross-ventilation to improve indoor thermal comfort", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 93, hlm: 437–449.
- Munson, B.R. & Young, D.F., 2005, *Mekanika Fluida*, Jakarta: Erlangga.
- Nitisemito S., Alex, 2000, *Ergonomi Kesehatan dan Keselamatan Kerja*, Surabaya: Guna Widya.
- Nurmianto, Eko, 1996, *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*, Surabaya: Guna Widya.
- Santoso, 1985, *Higiene Perusahaan Panas*, Skripsi Tidak Dipublikasikan, Solo: Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret.
- Sedarmayanti, 2009, *Sumber Daya Manusia dan Produktivitas Kerja*, Bandung: Mandar Maju.
- Stanton, Neville, 2005, *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, Florida: CNC Press.
- Suma'mur, P. K., 1989, *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*, Jakarta: CV. Haji Mas Agung.
- Susanti, L. & Aulia, N., 2013, "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang", *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol 12 No 1, hlm 310-316.
- Wignjosoebroto, Sritomo, 2003, *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu: Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas*, Jakarta: Guna Widya.
- 

## LAMPIRAN

Lampiran 1. **Rekapitulasi Data Hasil Pengukuran Pekerja Departemen Produksi**

Lampiran 2. **Uji Validitas Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Model Eksisting**



**Lampiran 1. Rekapitulasi Data Hasil Pengukuran Pekerja Departemen Produksi**

**Tabel 1** Rekapitulasi Hasil Pengukuran *Air Temperature* Per 5 Menit

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
1	5	33,1	33,6	35,5	33,5
	10	32,4	34,0	35,6	33,4
	15	32,3	33,6	34,6	33,7
	20	32,6	33,8	34,7	33,3
	25	33,2	34,1	34,6	33,6
	30	32,8	34,1	35,1	33,6
	35	33,3	33,9	34,7	33,6
	40	33,1	34,6	34,6	33,1
	45	32,2	34,7	34,5	33,2
	50	32,2	34,5	34,6	33,6
	55	32,3	34,6	34,7	33,2
	60	32,3	33,9	35,2	33,0
	65	32,4	33,8	35,2	33,5
	70	32,5	33,8	34,4	33,6
	75	32,6	33,9	35,2	33,8
	80	32,5	34,0	35,0	33,0
	85	32,4	34,7	34,6	33,5
	90	32,8	34,6	34,8	34,1
	95	32,5	34,0	35,0	34,1
	100	32,5	34,3	34,3	33,0
105	32,1	33,7	34,3	33,9	
110	32,0	34,3	34,3	34,2	
115	31,9	34,6	34,5	33,4	
120	32,0	33,9	34,4	33,5	
2	5	32,1	33,9	34,3	33,5
	10	32,2	34,0	34,6	33,0
	15	32,1	33,7	35,0	33,6
	20	32,2	34,7	34,5	33,0
	25	32,3	33,9	35,2	33,3
	30	32,5	34,6	35,3	33,6
	35	32,2	34,6	34,6	34,0
	40	32,0	33,8	35,0	33,5
	45	32,4	34,2	35,1	33,5
	50	32,4	34,6	34,4	33,0
55	32,8	33,7	35,2	33,6	
60	32,6	33,7	34,5	33,4	
65	33,2	33,7	34,7	33,6	

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Pengukuran Air Temperature Per 5 Menit (Lanjutan)

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
2	70	33,2	34,6	34,8	33,8
	75	32,4	34,0	34,6	33,7
	80	32,7	34,7	34,6	33,3
	85	32,5	34,0	35,3	33,0
	90	32,6	34,3	34,4	33,4
	95	32,4	34,1	35,4	34,0
	100	32,4	34,0	35,0	34,1
	105	32,3	34,1	34,7	33,5
	110	32,3	34,6	35,2	33,5
	115	32,3	34,5	34,6	34,1
	120	32,6	34,5	34,8	34,1
3	5	32,1	33,6	34,7	33,9
	10	32,2	34,7	35,2	33,3
	15	32,3	33,6	35,1	33,4
	20	32,3	33,8	34,3	33,8
	25	32,4	34,6	35,1	34,1
	30	32,2	34,7	34,6	33,0
	35	32,7	34,7	35,0	34,2
	40	32,6	34,3	35,4	33,5
	45	32,4	34,2	34,7	33,9
	50	32,7	34,7	35,3	33,2
	55	32,6	34,0	34,9	33,7
	60	32,3	34,2	34,6	33,5
	65	32,4	34,7	34,7	33,4
	70	32,6	33,9	35,2	33,5
	75	32,3	34,7	35,3	33,6
	80	32,3	34,5	34,4	33,4
	85	32,4	34,0	35,6	33,5
	90	32,6	34,0	34,6	33,3
	95	32,4	34,2	34,7	33,2
	100	32,3	33,9	34,4	33,5
	105	32,5	34,5	34,9	33,4
110	32,7	33,7	34,3	33,0	
115	32,4	33,5	34,2	33,3	
120	32,7	33,7	34,5	32,9	

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengukuran *Air Velocity* Per 3 Menit

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
1	3	0,07	0,30	0,37	0,23
	6	0,08	0,36	0,45	0,17
	9	0,12	0,36	0,39	0,21
	12	0,13	0,34	0,34	0,21
	15	0,09	0,35	0,39	0,19
	18	0,16	0,31	0,36	0,21
	21	0,15	0,30	0,45	0,18
	24	0,13	0,36	0,39	0,23
	27	0,14	0,35	0,35	0,22
	30	0,09	0,34	0,41	0,20
	33	0,11	0,38	0,38	0,19
	36	0,06	0,35	0,35	0,20
	39	0,07	0,31	0,41	0,19
	42	0,16	0,33	0,42	0,22
	45	0,06	0,25	0,36	0,28
	48	0,14	0,37	0,39	0,21
	51	0,09	0,28	0,38	0,27
	54	0,05	0,42	0,36	0,22
	57	0,11	0,39	0,37	0,14
	60	0,15	0,27	0,38	0,12
	63	0,06	0,26	0,36	0,23
	66	0,08	0,31	0,39	0,22
	69	0,13	0,32	0,36	0,26
	72	0,16	0,24	0,37	0,23
	75	0,13	0,25	0,41	0,23
	78	0,07	0,36	0,36	0,20
	81	0,04	0,34	0,4	0,22
	84	0,19	0,42	0,39	0,19
	87	0,04	0,24	0,36	0,20
	90	0,10	0,32	0,4	0,24
93	0,14	0,41	0,35	0,12	
96	0,15	0,25	0,37	0,21	
99	0,10	0,34	0,34	0,23	
102	0,11	0,32	0,32	0,19	
105	0,21	0,33	0,39	0,25	
108	0,08	0,36	0,43	0,18	
111	0,13	0,32	0,46	0,21	
114	0,10	0,40	0,39	0,3	
117	0,16	0,29	0,29	0,23	
120	0,14	0,39	0,39	0,21	

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengukuran *Air Velocity* Per 3 Menit (Lanjutan)

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
2	3	0,15	0,32	0,39	0,15
	6	0,07	0,26	0,39	0,21
	9	0,14	0,25	0,38	0,16
	12	0,12	0,35	0,4	0,29
	15	0,14	0,35	0,36	0,24
	18	0,08	0,33	0,43	0,19
	21	0,06	0,31	0,45	0,17
	24	0,23	0,30	0,38	0,18
	27	0,12	0,33	0,43	0,23
	30	0,08	0,24	0,37	0,21
	33	0,06	0,37	0,39	0,26
	36	0,09	0,39	0,43	0,18
	39	0,10	0,25	0,37	0,12
	42	0,11	0,35	0,39	0,2
	45	0,17	0,27	0,43	0,15
	48	0,13	0,33	0,39	0,16
	51	0,11	0,35	0,4	0,21
	54	0,18	0,32	0,39	0,21
	57	0,10	0,39	0,44	0,27
	60	0,07	0,37	0,33	0,15
	63	0,16	0,33	0,45	0,21
	66	0,07	0,25	0,34	0,25
	69	0,19	0,35	0,45	0,23
	72	0,12	0,27	0,35	0,2
	75	0,11	0,31	0,40	0,21
	78	0,09	0,39	0,39	0,19
	81	0,11	0,30	0,38	0,16
	84	0,17	0,24	0,44	0,11
	87	0,12	0,40	0,40	0,28
	90	0,06	0,33	0,41	0,2
93	0,10	0,39	0,39	0,22	
96	0,12	0,37	0,37	0,21	
99	0,11	0,38	0,45	0,20	
102	0,04	0,41	0,41	0,15	
105	0,06	0,35	0,36	0,26	
108	0,05	0,32	0,35	0,20	
111	0,08	0,38	0,38	0,25	
114	0,13	0,39	0,39	0,16	
117	0,04	0,29	0,37	0,23	
120	0,17	0,32	0,35	0,17	

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengukuran Air Velocity Per 3 Menit (Lanjutan)

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
3	3	0,21	0,31	0,40	0,21
	6	0,16	0,37	0,37	0,25
	9	0,12	0,33	0,38	0,21
	12	0,09	0,34	0,37	0,29
	15	0,12	0,37	0,39	0,18
	18	0,22	0,32	0,32	0,26
	21	0,14	0,26	0,42	0,23
	24	0,17	0,24	0,41	0,19
	27	0,04	0,31	0,33	0,16
	30	0,10	0,34	0,39	0,22
	33	0,07	0,24	0,36	0,25
	36	0,05	0,29	0,43	0,15
	39	0,13	0,31	0,41	0,17
	42	0,11	0,23	0,35	0,20
	45	0,14	0,38	0,38	0,22
	48	0,12	0,22	0,41	0,30
	51	0,09	0,33	0,40	0,28
	54	0,15	0,24	0,44	0,22
	57	0,11	0,31	0,38	0,21
	60	0,16	0,28	0,46	0,15
	63	0,07	0,41	0,39	0,21
	66	0,08	0,35	0,42	0,12
	69	0,11	0,28	0,38	0,15
	72	0,05	0,39	0,39	0,18
	75	0,09	0,29	0,43	0,20
	78	0,05	0,38	0,38	0,17
	81	0,20	0,28	0,40	0,21
	84	0,14	0,37	0,41	0,22
	87	0,11	0,29	0,39	0,17
	90	0,12	0,36	0,36	0,15
93	0,10	0,29	0,38	0,2	
96	0,13	0,35	0,39	0,18	
99	0,12	0,37	0,40	0,20	
102	0,14	0,34	0,38	0,19	
105	0,08	0,35	0,38	0,21	
108	0,12	0,40	0,44	0,22	
111	0,08	0,33	0,33	0,21	
114	0,10	0,33	0,44	0,17	
117	0,08	0,32	0,37	0,19	
120	0,12	0,42	0,39	0,16	

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Pengukuran *Relative Humidity* Per 5 Menit

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
1	5	49,8	52,7	42,6	49,3
	10	48,5	52,3	42,1	47,7
	15	48,8	53,6	42,6	48,2
	20	48,3	52,6	41,8	48,4
	25	48,9	53,3	41,5	48,4
	30	50,2	52,8	42,0	49,6
	35	49,5	53,3	41,7	48,8
	40	48,5	53,2	42,9	48,6
	45	50,0	53,4	41,8	49,7
	50	48,7	53,1	42,3	49,7
	55	49,1	52,4	42,5	49,4
	60	48,0	53,3	42,9	48,1
	65	48,8	51,6	43,2	49,4
	70	49,3	52,6	42,9	49,5
	75	49,6	51,8	43,4	48,7
	80	49,2	52,6	42,4	48,4
	85	49,0	51,8	42,7	48,4
	90	49,4	52,8	41,6	47,8
	95	49,2	51,9	42,8	47,7
	100	48,8	53,3	43,2	48,2
105	48,9	52,1	41,4	49,3	
110	48,8	52,4	41,9	49,3	
115	48,2	53,3	41,6	49,5	
120	49,7	53,2	41,7	48,2	
2	5	49,5	53,1	43,3	48,1
	10	50,0	52,8	41,8	48,7
	15	48,7	51,6	42,3	49,5
	20	49,5	52,7	42,2	48,6
	25	49,0	52,9	42,6	48,7
	30	48,4	51,6	43,1	48,7
	35	49,3	52,4	41,9	48,5
	40	49,3	53,4	42,3	49,0
	45	49,0	52,5	42,6	47,8
	50	49,8	52,4	42,4	48,4
	55	50,1	53,4	43,0	49,7
	60	48,8	53,4	43,3	47,8
	65	49,9	52,2	42,4	49,6
	70	49,0	53,3	43,4	49,0
	75	49,5	53,3	43,3	48,4
	80	50,0	52,2	42,3	48,8

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Pengukuran *Relative Humidity* Per 5 Menit (Lanjutan)

Hari ke	Menit ke	1	2	3	4
2	85	49,3	52,5	42,1	49,6
	90	48,3	52,7	42,7	49,3
	95	48,9	52,6	42,7	49,4
	100	49,4	51,9	41,7	48,1
	105	49,6	51,6	41,7	49,3
	110	48,3	52,2	41,7	48,1
	115	48,2	52,6	41,8	49,1
	120	49,6	53,3	43,0	48,1
3	5	49,9	51,6	42,5	49,7
	10	48,7	52,8	41,9	47,9
	15	49,9	52,2	41,7	47,7
	20	48,3	52,8	42,2	48,5
	25	49,4	53,6	42,6	47,7
	30	49,6	52,2	43,2	49,3
	35	49,9	52,4	42,8	49,3
	40	49,4	53,2	42,1	48,0
	45	50,2	52,1	42,4	48,9
	50	49,0	52,4	42,3	49,1
	55	48,3	52,7	41,5	48,7
	60	50,0	52,4	42,6	49,7
	65	49,3	52,5	43,2	47,8
	70	49,4	51,6	42,9	49,3
	75	49,7	53,3	42,7	47,8
	80	49,0	52,5	42,8	48,2
	85	50,1	53,2	42,6	48,5
	90	48,8	52,3	42,8	48,0
	95	49,1	52,7	42,4	48,9
	100	49,4	52,7	42,3	49,4
	105	49,3	52,8	42,8	49,5
	110	49,6	52,2	43,3	48,7
	115	48,7	52,1	43,1	48,9
	120	49,3	52,4	42,9	49,2

## Lampiran 2. Uji Validitas Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Model Eksisting

Uji validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai data *thermal* yang dikumpulkan pada departemen produksi melalui pengukuran secara langsung dan dari hasil simulasi CFD pada titik-titik lokasi pekerja yang telah ditentukan. Uji validasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SPSS 19.0. Langkah-langkah yang dilakukan dalam uji validasi adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan data nyata dan simulasi ke dalam *software* SPSS 19.0 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Input Uji Normalitas dan Validitas

Jenis Data	Air Temperature (°C)	Air Velocity (m/s)	Relative Humidity (%)
Nyata	32,46	0,112	49,21
Nyata	34,17	0,328	52,62
Nyata	34,80	0,389	42,45
Nyata	33,51	0,204	48,74
Simulasi	32,18	0,096	48,66
Simulasi	34,38	0,346	52,38
Simulasi	35,01	0,417	42,60
Simulasi	33,22	0,180	48,56

2. Melakukan uji normalitas pada data nyata dan simulasi

**Tabel 2** Uji Tes Kenormalan Data Nyata

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Air_Temperature	.168	4	.	.984	4	.925
Air_Velocity	.213	4	.	.962	4	.790
Relative_Humidity	.296	4	.	.927	4	.576

a. Lilliefors Significance Correction

- a. Hipotesis:

$H_0$  = data nyata *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* berdistribusi normal

$H_1$  = data nyata *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* tidak berdistribusi normal

- b. Nilai taraf nyata ( $\alpha$ ) = 0,05

Kriteria pengujian:

Ho diterima jika nilai  $Sig. \geq \alpha$

Ho diterima jika nilai  $Sig. < \alpha$

c. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *output* pada Tabel 2 didapatkan nilai  $Sig. \geq 0,05$  maka Ho diterima, berarti data nyata *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* berdistribusi normal.

Tabel 3. Uji Tes Kenormalan Data Simulasi  
Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
air_temperature	,207	4	.	,969	4	,832
air_velometer	,221	4	.	,943	4	,673
relative_humidity	,300	4	.	,925	4	,565

a. Lilliefors Significance Correction

a. Hipotesis:

Ho = data nyata *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* berdistribusi normal

H<sub>1</sub> = data nyata *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* tidak berdistribusi normal

b. Nilai taraf nyata ( $\alpha$ ) = 0,05

Kriteria pengujian:

Ho diterima jika nilai  $Sig. \geq \alpha$

Ho diterima jika nilai  $Sig. < \alpha$

c. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *output* pada Tabel 3 didapatkan nilai  $Sig. \geq 0,05$  maka Ho diterima, berarti data nyata *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* berdistribusi normal.

3. Melakukan uji validasi

Setelah diketahui bahwa data *air temperature*, *air velocity*, dan *relative humidity* berdistribusi normal, maka untuk melakukan uji validasi digunakan uji *independent t-test*.

**Table 3 Output Independent T-Test Data Air Temperature Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Air_temperature	Equal variances assumed	.494	.509	.047	6	.964	.03750	.80203	-1.92499	1.99999
	Equal variances not assumed			.047	5.716	.964	.03750	.80203	-1.94884	2.02384

a. Hipotesis:

$H_0$  = tidak terdapat perbedaan *air temperature* antara data simulasi dengan data nyata (valid)

$H_1$  = terdapat perbedaan *air temperature* antara data simulasi dengan data nyata (tidak valid)

b. Nilai taraf nyata ( $\alpha$ ) = 0,05

Kriteria pengujian:

$H_0$  diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $\geq \alpha/2$

$H_0$  diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $< \alpha/2$

c. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *output* pada Tabel 3 *output Independent T-Test* data *air temperature*, didapatkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $\geq 0,025$ , maka  $H_0$  diterima, berarti tidak terdapat perbedaan *air temperature* antara data simulasi dengan data nyata (valid).

**Table 4 Output Independent T-Test Data Air Velocity Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Air_velocity	Equal variances assumed	.457	.524	-.016	6	.988	-.0015000	.09645098	-.23750705	.23450705
	Equal variances not assumed			-.016	5.830	.988	-.0015000	.09645098	-.23918270	.23618270

## a. Hipotesis:

$H_0$  = tidak terdapat perbedaan *air velocity* antara data simulasi dengan data nyata (valid)

$H_1$  = terdapat perbedaan *air velocity* antara data simulasi dengan data nyata (tidak valid)

Nilai taraf nyata ( $\alpha$ ) = 0,05

## b. Kriteria pengujian:

$H_0$  diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $\geq \alpha/2$

$H_0$  diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $< \alpha/2$

## c. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *output* pada Tabel 4 *output Independent T-Test* data *air velocity*, didapatkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $\geq 0,025$ , maka  $H_0$  diterima, berarti tidak terdapat perbedaan *air velocity* antara data simulasi dengan data nyata (valid).

Tabel 5 *Output Independent T-Test Data Relative Humidity*  
Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Differ ence	Std. Error Differ ence	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Relative _humidi ty	Equal variances assumed	.010	.925	.070	6	.946	.20500 00	2.9294 781	- 6.9631 746	7.373174 6
	Equal variances not assumed			.070	5.98 7	.946	.20500 00	2.9294 781	- 6.9669 746	7.376974 6

## a. Hipotesis:

$H_0$  = tidak terdapat perbedaan *relative humidity* antara data simulasi dengan data nyata (valid)

$H_1$  = terdapat perbedaan *relative humidity* antara data simulasi dengan data nyata (tidak valid)

b. Nilai taraf nyata ( $\alpha$ ) = 0,05

Kriteria pengujian:

$H_0$  diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $\geq \alpha/2$

$H_0$  diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $< \alpha/2$

c. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *output* pada Tabel 5 *output Independent T-Test* data *relative humidity*, didapatkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)*  $\geq 0,025$ , maka  $H_0$  diterima, berarti tidak terdapat perbedaan *relative humidity* antara data simulasi dengan data nyata (valid).

