

## ANALISIS PERANCANGAN SISTEM VENTILASI DALAM MENINGKATKAN KENYAMANAN TERMAL PEKERJA DI RUANGAN FORMULASI PT XYZ

Kristoffel Colbert Pandiangan<sup>1</sup>, Listiani Nurul Huda<sup>2</sup>, A. Jabbar M. Rambe<sup>2</sup>

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155  
Email: kristoffel.pandiangan@gmail.com<sup>1</sup>  
Email: a.jabbar@usu.ac.id<sup>2</sup>  
Email: listiani@usu.ac.id<sup>2\*</sup>

**Abstrak.** Sistem ventilasi yang baik diperlukan pada ruangan kerja untuk meningkatkan kenyamanan dalam bekerja terutama untuk ruangan-ruangan produksi yang menggunakan mesin-mesin yang mengeluarkan panas. Komponen sistem ventilasi yang dibahas dalam penelitian ini adalah turbin ventilator dan bukaan ventilasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kondisi termal akibat paparan panas dalam ruangan dan melakukan *engineering control* dengan merancang sistem ventilasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran langsung kondisi termal dan metode *activity sampling* untuk mengamati waktu kerja produktif. Hasil pengukuran termal menunjukkan bahwa temperatur udara rata-rata di ruangan formulasi adalah 31,7°C, kelembaban 64,12% dan kecepatan angin 0,13 m/s. Temperatur udara diketahui semakin meningkat seiring dengan ketinggian gradien pengukuran. Temperatur udara paling tinggi berada pada gradient ketinggian 3 sampai 5 meter. Waktu kerja produktif operator bagian formulasi rata-rata adalah 76,58% ± 5,91%. Data keluhan fisik yang diakibatkan kondisi termal sebelum istirahat adalah 100% operator menjadi letih, 40% operator menjadi mengantuk, dan 70% operator menjadi tidak stabil. Keluhan sesudah istirahat adalah 90% operator menjadi letih, 70% operator menjadi mengantuk, dan 60% operator menjadi tidak stabil. *Engineering control* dilakukan dengan penggunaan turbin ventilator untuk meningkatkan kenyamanan termal pekerja. Jumlah turbin ventilator yang efektif adalah sebanyak 6 buah tipe L-60 dengan posisi di tengah ruangan disusun secara seri. Dimensi bukaan ventilasi yang dirancang adalah 24 x 1,25 meter untuk dinding bagian utara dan 23 x 1,25 meter untuk dinding bagian barat dan pada ketinggian 3 meter di atas lantai pabrik.

**Kata kunci:** Kondisi Termal, Turbin Ventilator, Sistem Ventilasi, Keluhan Fisik

**Abstract.** Good ventilation system is needed in the work space to increase comfort in work especially for production systems using machines that emit heat. Ventilation system components that are discussed in this research is a turbine ventilator and ventilation openings. This study aimed to assess the indoor thermal conditions and engineering control to describe the thermal conditions of the workplace. The measurement results show that the thermal average air temperature in the room formulations was 31.7 °C, 64.12% humidity and wind speed 0.13 m/s. Productive work time of operators on average is 76.58% with a maximum deviation of about 5.91%. Data physical complaints caused by thermal conditions before the break was 100% operator becomes fatigued, 40% of operators become drowsy, and 70% of operators become unstable. Complaints after the break are 90% operators becomes fatigued, 70% of operators become drowsy, and 60% of operators become unstable. With a variety of backgrounds such problems, engineering control performed by construct turbine ventilator to improve thermal comfort of workers. The amount effective turbine ventilator is as much as 6 pieces type L-60. The dimensions of ventilation openings are designed 24 x 1.25 meter to the north wall and a 23 x 1.25 meter to the west wall. The proposed installation of aluminum foil is also expected to lower the temperature, because the aluminum foil can reduce the heat radiation from the roof of the room in the afternoon up to 99%.

**Keywords:** Thermal Conditions, Turbine Ventilator, Ventilation System, Psycal Complaints

<sup>1</sup> Mahasiswa, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

<sup>2</sup> Dosen Pembimbing, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

## 1. PENDAHULUAN

Paparan panas (*heat exposure*) terjadi ketika tubuh menyerap atau memproduksi panas lebih besar daripada yang dapat diterima melalui proses regulasi termal (*thermoregulation process*). Peningkatan pada suhu dalam tubuh yang berlebih dapat mengakibatkan penyakit dan kematian (Parsons, 1993). Panas berlebih di tubuh baik akibat proses metabolisme tubuh maupun paparan panas dari lingkungan kerja dapat menimbulkan masalah kesehatan (*heat strain*) dari yang sangat ringan seperti *heat rash*, *heat syncope*, *heat cramps*, *heat exhaustion* hingga yang serius yaitu *heat stroke*. Temperatur yang tinggi dalam ruangan kerja bisa ditimbulkan oleh kondisi ruangan, mesin-mesin ataupun alat yang mengeluarkan panas serta panas yang bersumber dari sinar matahari yang memanasi atap pabrik yang kemudian menimbulkan radiasi ke dalam ruangan kerja produksi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Indrani (2008), keberadaan ventilasi pada bangunan di daerah tropis sangat penting bagi kenyamanan termal dan berperan dalam mendukung peningkatan waktu kerja produktif. Standar ukuran ventilasi yang berkisar antara 10 sampai 20% dapat ditingkatkan sampai mencapai 50% dari luasan lantai jika kebutuhan kecepatan angin dalam ruangan belum memadai. Hal ini dapat dicapai dengan pemilihan jenis bukaan atau jendela yang dapat mendorong terjadinya pergerakan udara yang lebih cepat atau dengan memperbesar kecepatan udara.

Kondisi ini sangat sering ditemukan di industri di Indonesia seperti industri dan pengecoran logam baja, batu bata, dan pembuatan *coil* anti nyamuk. Salah satunya adalah ruangan formulasi di salah satu pabrik pembuatan *coil* anti nyamuk ini. Ruangan formulasi di pabrik anti nyamuk ini memiliki temperatur yang sudah berada pada kondisi yang tidak nyaman. Sumber panas dalam ruangan berasal dari panas proses produksi yang timbul akibat proses pencampuran bahan menggunakan mesin, panas radiasi sinar matahari melalui atap pabrik serta sangat sedikitnya bukaan ventilasi dalam ruangan. Sedikitnya bukaan ventilasi ruangan menambah beban panas ruangan kerja. Hal tersebut diakibatkan oleh panas dalam ruangan cenderung terakumulasi dan terperangkap di dalam ruangan karena tidak adanya saluran pertukaran udara dalam dan udara luar (Suma'mur, 1984). Kondisi ini mengakibatkan banyak pekerja merasakan ketidaknyamanan dalam bekerja.

Teknologi penanganan panas pada perusahaan sudah dilakukan antara lain mengatur sistem ventilasi pabrik dengan bukaan tetapi pada kondisi aktual saat penelitian dilakukan, temperatur di lantai produksi rata-rata sebesar 31.7°C dan para pekerja terpapar dengan panas yang timbul. Berdasarkan pada masalah-masalah tersebut di atas, dilakukan penelitian untuk merancang sistem ventilasi dalam upaya peningkatan kenyamanan termal pekerja.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada ruang formulasi salah satu pabrik pembuatan anti nyamuk di Medan, Sumatera Utara. Data yang diambil pada penelitian ini berdasarkan data kondisi termal dalam ruangan dan data komponen sistem ventilasi yang digunakan. Subjek penelitian adalah keseluruhan operator di bagian formulasi. Data kondisi termal diambil menggunakan alat ukur Questemp 32 dan Anemometer. Questemp 32 digunakan untuk mengukur data temperatur udara, temperatur basah, temperatur kering, temperatur globe dan kelembaban udara. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Data kondisi termal diamati berdasarkan standar ASHRAE 55. Data komponen sistem ventilasi diambil berdasarkan pengamatan dan hasil diskusi dengan manajemen perusahaan. Untuk data persepsi dan kenyamanan termal diambil menggunakan kuesioner termal Homma *et all* (2003). Skala penilaian masing-masing pertanyaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Penilaian Kuisisioner Termal

Sensasi Termal	Kondisi Aliran Udara	Kenyamanan Termal
(0) Netral	(0) Netral	(-2) Tidak Nyaman
(+1) Hangat	(+1) Cukup Lemah	(-1) Cukup Tidak Nyaman
(+2) Panas	(+2) Cukup Kuat	(0) Netral
(+3) Sangat Panas	(+3) Kuat	(+1) Cukup Nyaman
		(+2) Nyaman

Pembahasan yang dilakukan adalah dengan membandingkan kondisi termal aktual dalam ruangan dengan standar yang diijinkan. *Engineering control* penanganan paparan panas dikaji dengan melihat manfaat penggunaan alat, jumlah optimal dan posisi penempatannya dalam menciptakan kenyamanan termal dalam ruangan.

### 2.1. Prosedur Kajian Kenyamanan Termal

Kajian termal dilakukan melalui pengukuran langsung faktor-faktor lingkungan kerja fisik seperti temperatur udara, temperatur basah, temperatur kering, temperatur globe, kelembaban dan kecepatan angin. Pengukuran dilakukan pada 5 titik yang tersebar merata pada ruangan formulasi. Tingkat gradien ketinggian pengukuran terdiri dari 5 titik yaitu ketinggian 0,1; 1,1; 1,7; 3; dan 5 meter berdasarkan standar pengukuran ASHRAE 55. Pengukuran dilakukan selama 5 hari kerja dari pukul 07.00 sampai 15.00 WIB (jam kerja aktif di

ruangan formulasi) dengan interval waktu pengukuran selama 120 menit. Hasil pengukuran ini akan dianalisis berdasarkan grafik dan akan dibandingkan dengan standar yang berlaku.

## 2.2. Prosedur Perancangan Sistem Ventilasi

Sistem ventilasi dirancang untuk meningkatkan kenyamanan termal pekerja. Tahapan yang dilakukan dimulai dari pengkajian sistem ventilasi aktual. Semua komponen sistem ventilasi dicatat dalam lembar pengamatan. Pengamatan mencakup jumlah dan posisi penempatan komponen sistem ventilasi. Selanjutnya akan dianalisis jumlah dan posisi penempatan sistem ventilasi berdasarkan rumus perhitungan. Hasil yang didapat berdasarkan perhitungan akan dibandingkan dengan kondisi aktual.

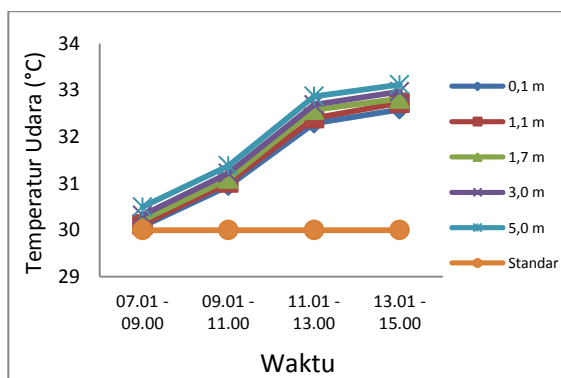
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kajian Termal

Adapun fokus kajian termal yang dilakukan adalah untuk data temperatur udara, kecepatan angin dan kelembaban. Dengan membahas ketiga aspek tersebut, maka diasumsikan kondisi termal aktual dalam ruangan sudah dapat disimpulkan.

#### 3.1.1. Kajian Temperatur Udara

Berdasarkan hasil pengumpulan data, maka kondisi temperatur udara dalam ruangan formulasi dapat dilihat pada grafik temperatur udara yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Temperatur Udara terhadap Waktu dan Ketinggian

Kondisi temperatur di ruangan formulasi secara rata-rata dapat dikategorikan tinggi. Hal itu terbukti dengan hasil pengukuran menunjukkan temperatur udara rata-rata adalah  $31.7^{\circ}\text{C}$ . Hal tersebut juga didukung oleh respon karyawan yang diwawancarai di bagian formulasi. Sekitar 80% diantara mereka mengatakan kondisi termal di ruangan produksi tersebut sudah dalam kondisi tidak nyaman.

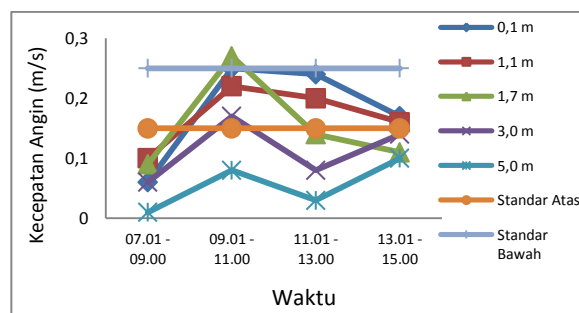
Standar temperatur yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI untuk ruangan industri yaitu berkisar antara  $18^{\circ}\text{C}$  sampai  $30^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan temperatur rata-rata di ruangan tersebut sudah melewati ambang batas atas yang direkomendasikan oleh standar. Hal tersebut mempengaruhi ketidaknyamanan operator yang bekerja di ruangan formulasi.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa temperatur udara cenderung bertambah dari pagi hingga siang hari dengan gradient peningkatan sebesar  $2^{\circ}\text{C}$ . Grafik tersebut juga menunjukkan kelinieran hasil pengukuran, dimana semakin tinggi pengukuran, maka semakin tinggi juga temperatur udara. Temperatur tertinggi berada pada pukul 13.00 sampai 15.00 WIB dan ketinggian 5 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa pemasangan turbin ventilator aktual tidak maksimal dalam mereduksi panas pada ketinggian 3 sampai 5 meter.

Tingginya temperatur di ruangan produksi tersebut diakibatkan oleh adanya mesin-mesin pencampuran bahan yang mengeluarkan pembiasan panas kepada operator dalam ruangan. Faktor yang mempengaruhi tingginya temperatur juga disebabkan oleh kurangnya sirkulasi udara di dalam ruangan, karena ruangan formulasi ini cenderung ruangan tertutup dan hanya memiliki ventilasi yang kecil.

#### 3.1.2. Kajian Kecepatan Angin

Berdasarkan hasil pengumpulan data, maka kondisi kecepatan angin dalam ruangan formulasi dapat dilihat pada grafik kecepatan angin yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kecepatan Angin terhadap Waktu dan Ketinggian

Kondisi kecepatan angin di ruangan formulasi secara rata-rata dapat dikategorikan rendah. Hal itu terbukti dengan hasil pengukuran menunjukkan temperatur udara secara rata-rata adalah  $0.13\text{ m/s}$ .

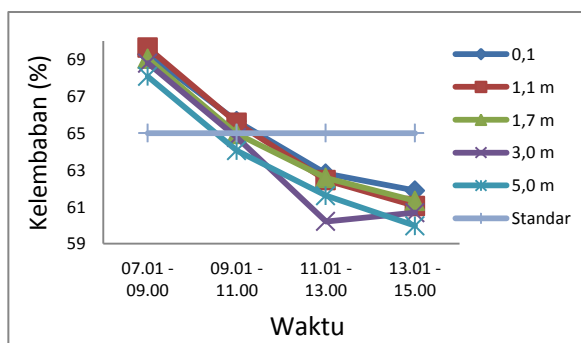
Standar kecepatan angin yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI untuk ruangan industri yaitu  $0.15$  sampai  $0.25\text{ m/s}$ . Sedangkan temperatur rata-rata di ruangan tersebut berada di bawah ambang batas

yang direkomendasikan oleh standar tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan angin cenderung kecil yang mempengaruhi ketidaknyamanan operator yang bekerja di ruangan formulasi.

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa kecepatan angin cenderung bergerak naik turun. Kecepatan angin paling tinggi berada pada ketinggian 0.1 sampai 1.3 meter. Berdasarkan standar yang ditetapkan, maka dapat dikategorikan bahwa secara rata-rata kecepatan angin pada ketinggian 3 dan 5 meter berada di luar standar. Pada ketinggian 3 sampai 5 meter kecepatan angin cenderung lebih rendah dibandingkan ketinggian 0.1 sampai 1.7 meter. Hal tersebut diakibatkan sangat sedikit bukaan ventilasi pada ketinggian 3 sampai 5 meter, sedangkan pada ketinggian 0.1 sampai 1.7 meter terdapat bukaan pintu yang dapat memberikan suplai angin sehingga sangat dibutuhkan adanya perpindahan panas yang disebabkan oleh aliran udara yang dipaksa (*force convection*) pada ketinggian 3 sampai 5 meter.

### 3.1.3. Kajian Kelembaban

Berdasarkan hasil pengumpulan data, maka kondisi temperatur udara dalam ruangan formulasi dapat dilihat pada grafik kelembaban yang ditunjukkan Gambar 3. berikut ini.



Gambar 3. Grafik Kelembaban terhadap Waktu dan Ketinggian

Kondisi kelembaban di ruangan formulasi secara rata-rata dapat dikategorikan rendah. Hal itu terbukti dengan pengukuran yang dilakukan dengan hasil kelembaban rata-rata di bagian formulasi adalah 64.214%.

Standar kelembaban yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI untuk ruangan industri yaitu 65% sampai 95%. Sedangkan kelembaban rata-rata di ruangan produksi cenderung berada di bawah nilai ambang batas yang direkomendasikan oleh standar, terutama pada siang hingga sore hari. Hal tersebut juga akan mempengaruhi ketidaknyamanan operator yang bekerja di ruangan produksi.

Rendahnya angka kelembaban di ruangan formulasi ini diakibatkan oleh kurangnya sirkulasi udara dan pertukaran udara dari dan ke dalam ruangan serta tingginya panas dalam ruangan.

### 3.2. Kuisisioner Termal

Adapun analisis psikologi termal yang dilakukan adalah berdasarkan data yang dikumpulkan dengan kuisisioner termal kepada operator. Kuisisioner tersebut terdiri dari dua bagian yaitu berisi dampak kondisi termal dan dampak keluhan fisik Huda & Homma (2004). Sensasi termal diberi skala nilai dari 0 sampai +3, dimana nilai 0 untuk netral dan nilai +3 untuk panas. Aliran Udara diberi skala nilai dari 0 sampai +3, dimana nilai 0 untuk netral dan nilai +3 untuk kuat. Kenyamanan termal diberi skala nilai dari -2 sampai +2, dimana nilai -2 untuk tidak nyaman dan nilai +2 untuk nyaman. Rekapitulasi data psikologi termal operator dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Vote Kuisisioner Termal

Pertanyaan	Sebelum Istirahat			Setelah Istirahat		
	Nilai			Nilai		
	Min	Max	Rata-Rata	Min	Max	Rata-Rata
Sensasi termal	0	+3	+2.15	0	+3	+2.1
Kondisi aliran udara	0	+3	+1.2	0	+3	+2.3
Kenyamanan termal	-2	0	-1.8	-2	0	-1.6

Berdasarkan data tersebut maka dapat diketahui bahwa secara rata-rata sensasi termal yang dirasakan operator berada dalam rentang panas-hangat, kondisi aliran udara berada pada rentang lemah-cukup lemah, dan kondisi termal berada pada rentang sangat tidak nyaman-tidak nyaman. Dengan demikian maka kondisi termal ini sudah sangat membutuhkan perbaikan untuk meningkatkan kenyamanan termal operator di dalam ruangan formulasi.

Sedangkan data keluhan fisik diakibatkan kondisi termal yang didapatkan dari kuisisioner sebelum istirahat adalah 100% operator menjadi letih, 40% operator menjadi mengantuk, dan 70% operator menjadi tidak stabil. Untuk kuisisioner setelah istirahat adalah 90% operator menjadi letih, 70% operator menjadi mengantuk, dan 60% operator menjadi tidak stabil. Dari data tersebut, maka dapat diketahui bahwa dengan pemberian istirahat selama 1 jam hanya membantu sedikit terhadap keadaan operator. Bahkan pemberian istirahat justru membuat operator tambah mengantuk.

**3.3. Waktu Kerja Produktif**

Sampling kerja dalam penelitian dilakukan dengan mengumpulkan persentase jumlah *work* dan *idle* operator bagian formulasi selama jam kerja. Adapun defenisi *work* disini adalah suatu kegiatan yang dilakukan di tempat kerja, sedangkan *idle* merupakan suatu keadaan seorang operator yang sedang tidak melakukan kegiatannya.

Berdasarkan pengolahan data sebelumnya maka dapat diketahui bahwa operator yang memiliki proporsi *work* paling rendah sebesar 70% ada sebanyak 2 orang, dimana mereka merupakan operator tepung. Sedangkan operator yang memiliki proporsi *work* paling tinggi sebesar 81% ada 2 orang juga dan merupakan operator tepung.

Secara rata-rata dapat diketahui waktu kerja produktif keseluruhan operator yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Waktu Kerja Produktif Secara Rata-rata

Rata-rata Total				
Hari	Work	Idle	Total	Waktu Kerja Produktif (%)
I	156	49	205	(76±5,96)
II	158	47	205	(77±5,87)
Total	314	96	410	(76,58±5,91)

Waktu kerja produktif operator bagian formulasi secara rata-rata adalah 76,58% dengan penyimpangan maksimum sekitar 5,91%. Angka ini berada dibawah standar yang ditetapkan oleh perusahaan yaitu 85%. Dengan demikian perbaikan sangat dibutuhkan dalam meningkatkan waktu kerja produktif operator formulasi setidaknya dapat memenuhi angka 85%.

Berdasarkan pengamatan secara langsung di lapangan juga menunjukkan bahwa banyaknya proporsi waktu *idle* operator ini diakibatkan oleh banyaknya operator tidak tahan berada di ruangan formulasi yang terpapar panas. Mereka mendinginkan temperatur tubuh dengan meninggalkan ruangan formulasi dan masuk ke ruangan kantor staf produksi yang menggunakan *Air Conditioning* (AC). Hal inilah yang menjadi alasan mereka ketika meninggalkan ruangan formulasi untuk mengambil waktu istirahat.

**3.4. Engineering Control dengan Perancangan Sistem Ventilasi**

Adapun kajian sistem ventilasi yang dibahas pada penelitian ini adalah turbin ventilator, bukaan ventilasi dan *aluminium foil*.

Sistem ventilasi yang diterapkan saat ini adalah pemasangan turbin ventilator. Tetapi kondisi aktual yang dirasakan oleh operator yang bekerja di lantai

produksi adalah kondisi tidak nyaman karena ruangan yang panas sekalipun sudah dipasang turbin ventilator. Dengan demikian maka akan dilakukan kajian mengenai jumlah turbin ventilator yang ideal.

Adapun ukuran atau dimensi bangunan adalah sebagai berikut:

- Panjang = 24,4 m
- Lebar = 23,9 m
- Tinggi tembok = 6 m
- Panjang atap = 24,4 m
- Lebar atap = 23,9 m
- Tinggi atap dari tembok = 4 m

Maka volume ruangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{total} = V_{ruangan} + V_{atap} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{ruangan} = p \times l \times t \dots\dots\dots (2)$$

$$= 24,4 \text{ m} \times 23,9 \text{ m} \times 6 \text{ m}$$

$$= 3498,96 \text{ m}^3$$

$$V_{atap} = \text{luas alas} \times t \dots\dots\dots (3)$$

$$= ((23,9 \text{ m} \times 4 \text{ m})/2 \times 24,4 \text{ m})$$

$$= 1166,32 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = 3498,96 \text{ m}^3 + 1166,32 \text{ m}^3$$

$$= 4661,28 \text{ m}^3$$

Salah satu perancangan yang dibutuhkan dalam mengurangi panas di dalam ruangan adalah turbin ventilator. Jika turbin ventilator yang digunakan saat ini adalah L-45 dengan kapasitas hisap 42,39 m<sup>3</sup> dan waktu sirkulasi 10 menit, maka jumlah yang direkomendasikan adalah:

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = \frac{\text{Volume Ruangan}}{\text{Kapasitas Sedot} \times \text{Waktu Sirkulasi}} \dots\dots (4)$$

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = \frac{4661,28 \text{ m}^3}{42,39 \text{ m}^3 / \text{menit} \times 10 \text{ menit}}$$

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = \frac{4661,28 \text{ m}^3}{423,9 \text{ m}^3}$$

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = 10,99 = 11 \text{ buah}$$

Sedangkan jika turbin ventilator yang digunakan adalah L-60 dengan kapasitas hisap 75,36 m<sup>3</sup> dan waktu sirkulasi 10 menit, maka jumlah yang direkomendasikan adalah:

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = \frac{\text{Volume Ruangan}}{\text{Kapasitas Sedot} \times \text{Waktu Sirkulasi}}$$

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = \frac{4661,28 \text{ m}^3}{75,36 \text{ m}^3 / \text{menit} \times 10 \text{ menit}}$$

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = \frac{4661,28 \text{ m}^3}{753,6 \text{ m}^3}$$

$$\text{Jumlah Turbin Ventilator} = 6,18 = 6 \text{ buah}$$

Dari beberapa analisis yang dilakukan, maka diketahui bahwa kondisi ketidaknyamanan tersebut diakibatkan oleh ketidakmaksimalan penggunaan teknologi penanganan paparan panas. Seperti misalnya turbin ventilator yang masih belum sesuai jumlah yang dipasang dengan jumlah yang direkomendasikan oleh rumus penghitungan jumlah turbin ventilator yang optimal Satwiko (2009).

Penambahan bukaan ventilasi juga dibutuhkan sebagai salah satu penangan kurangnya sirkulasi udara dalam ruangan. *ASHRAE Fundamental Handbook* sebagai acuan penentuan bukaan ventilasi bangunan mengharuskan bahwa untuk kategori bangunan pabrik harus memiliki setidaknya 10% dari luas lantai pabrik. Dengan demikian, jika luas lantai pabrik adalah 583,16 m<sup>2</sup> (24,4m x 23,9m), maka luas bukaan minimal yang harus dimiliki bangunan ruangan ventilasi adalah 58,316m<sup>2</sup>.

Adapun bukaan tersebut akan ditempatkan di sisi bangunan sebelah utara dan barat. Dimensi bukaan yang akan dibuka adalah 24 m x 1,25m untuk dinding bagian utara dan 23m x 1,25m untuk dinding bagian barat. Penempatan bukaan tersebut berada pada ketinggian 3 meter dari lantai. Hal tersebut dilakukan untuk sirkulasi udara terhadap panas pada ketinggian 3 sampai 5 meter, sehingga akan menurunkan panas dalam ruangan.

Dengan semua pertimbangan di atas, maka solusi yang direkomendasikan adalah memaksimalkan penggunaan turbin ventilator dan blower fan dalam meningkatkan sirkulasi udara. Perbaikan tersebut akan dapat menurunkan temperatur udara hingga 2°C dan meningkatkan kecepatan angin sekitar 0,2 m/s. Sehingga temperature udara menjadi 29.17°C dan kecepatan angin menjadi 0,34 m/s. Dengan demikian kenyamanan akan dirasakan oleh operator ketika bekerja, dengan adanya kenyamanan tersebut akan meningkatkan produktivitas operator sehingga akan memberikan dampak positif bagi perusahaan secara umum.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, hasil pengukuran menunjukkan rata-rata temperatur udara adalah 31,7°C, kecepatan angin 0,13 m/s, kelembaban 64,21%. Temperatur rata-rata telah berada di luar batas standar atas yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI yaitu 18°C sampai 30°C. Kelembaban rata-rata telah berada di luar batas standar yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI yaitu 65% sampai 95%. Kecepatan angin rata-rata telah berada di luar batas standar yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI yaitu 0.15 sampai 0.25 m/s. Kuisisioner termal menunjukkan bahwa persepsi operator terhadap sensasi termal adalah panas,

persepsi terhadap aliran udara adalah lemah dan persepsi terhadap kenyamanan termal adalah tidak nyaman. Kondisi ketidaknyamanan tersebut diatasi dengan perancangan sistem ventilasi. Sistem ventilasi yang dirancang adalah turbin ventilator dan bukaan ventilasi. Pemasangan turbin ventilator yang direkomendasikan adalah 6 buah untuk Tipe L-60 atau 11 buah untuk Tipe L-45 dengan posisi penempatan di tengah ruangan yang terpasang secara seri. Dimensi bukaan ventilasi yang akan dibuka adalah 24 x 1,25 meter untuk dinding bagian utara dan 23 x 1,25 meter untuk dinding bagian barat dan berada 3 meter di atas lantai pabrik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Standard Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE 55-1992.
- Huda, L. N., Homma, H., and Thermal Comfort Disturbed by Local Airflows in Winter. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2004, 62, pp 55-62.
- Indrani, C. H. *Kinerja Ventilasi Pada Hunian Rumah Susun Dupak Bangunrejo*. Surabaya. Universitas Kristen Petra. 2008
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor : KEP-51/MEN/1999.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 1405/Menkes/SK/XI/2002
- Neville, Stanton. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Florida: CNC Press. 2004
- Parsons, Ken. *Human Thermal Environments: The Effect of Hot, Moderate, and Cold Environment on Human Health, Comfort and Performance*. Second Edition. London: Taylor and Francis. 2004
- Satwiko, Prasasto. *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Andi. 2009
- Suma'mur, *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*, PT. Gunung Agung, Cetakan VII, Jakarta.1984.