

# Jurnal Ergonomi Indonesia

## (The Indonesian Journal of Ergonomic)

VOLUME 7 No. 1 TAHUN 2021

PISSN : 1411 – 951X  
EISSN : 2503 – 1716

### Articles

#### **Ergonomically Oriented Work Methods Reducing Musculoskeletal Complaints of Tofu Factory Workers in Tonja Village**

Ni Luh Gede Aris Maytadewi Negara, Ida Ayu Astiti Suadnyana, Dwi Astutik Listantari

#### **Integrasi Model HFACS-Fuzzy MCDM Untuk Menentukan Prioritas Human Error Factors Di Rumah Sakit**

Ronald Sukwadi, Su Fendy, Nguyen Thi Bich Thu

#### **Evaluasi Kondisi Lingkungan Fisik Kerja Dan Heat Stress dengan WBGT Index Pada Stasiun Casting**

Tri Rizqi Fathurochman, Elty Sarvia

#### **Gambaran ECPT Dan ECPM Penolong Saat Melakukan Resusitasi Jantung Paru**

Putu Ayu Karwina Sari, I Kadek Saputra, Ni Komang Ari Sawitri

#### **Provision Pemberian Stretching, Teh Manis dan Musik Menurunkan Beban Mental dan Kelelahan serta Meningkatkan Kinerja Perawat**

A.A Istri Diah Indrasuari, I Made Muliarta, Luh Putu Ratna Sundari, I Dewa Putu Sutjana, Ketut Tirtayasa, I Wayan Surata

#### **Ergonomic Implementation Smile Applications Improve Employee Performance and BPJS Ketenagakerjaan Service Speed in Bali**

Ni Putu Nila Lestari, I Putu Gede Adiatmika, Made Sudarma

#### **Function of Post UKK in an Effort to Improve Occupational Health of Informal Sector Workers**

Luh Putu Ruliati, Ribka Limbu, Imelda Manurung, Agus Setyobudi

#### **Hubungan Resiko Posisi Kerja Duduk Terhadap Keluhan Musculoskeletal Disorders (MSD) Pada Pegawai Pemerintah Kabupaten Malang**

Zidni Imanurrohman Lubis, Atika Yulianti, Fiqih Khoirun Nisa, Sielma Ajeng Ayulianda

#### **Correlation of Interpersonal Relationship and Work Stress among Female Health Care Staff of a Private Hospital in Denpasar Bali**

Thunisssha Manoharan, Susy Purnawati, I Made Krisna Dinata

#### **Perancangan Alat Bantu Perakitan Spring Bed yang Ergonomi Berdasarkan Analisa RULA dan REBA**

Anwardi Anwardi, Nofirza Nofirza, Vira Vilhelmina, Wresni Anggraini, Silvia Silvia

### Diterbitkan Oleh :

Program Studi Magister Ergonomi Fisiologi Kerja, Pascasarjana Universitas Udayana Denpasar  
Bekerjasama dengan Perhimpunan Ergonomi Indonesia (PEI)

KEPUTUSAN MENTERI RISET DAN TEKNOLOGI/ KEPALA BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL REPUBLIK INDONESIA, NOMOR 85/M/KPT/2020, MULAI VOL. 5 No. 2 TAHUN 2019 - VOL. 10 No. 1 TAHUN 2024 , AKREDITASI SINTA 3

## Evaluasi Kondisi Lingkungan Fisik Kerja Dan *Heat Stress* dengan WBGT Index Pada Stasiun *Casting*

Tri Rizqi Fathurochman<sup>1</sup> dan Elty Sarvia<sup>2\*</sup>

<sup>1,2)</sup> Program Studi Teknik Industri – Universitas Kristen Maranatha Bandung

<sup>\*)</sup> e-mail korespondensi: elty.sarvia@eng.maranatha.edu

doi: <https://doi.org/10.24843/JEI.2021.v07.i01.p03>

Article Received: 10 July 2020; Accepted: 16 April 2021.; Published: 30 July 2021

### Abstrak

Lingkungan fisik panas dan bising dapat menyebabkan *heat stress* bagi operator, salah satu contohnya adalah *heat exhaustion* seperti gejala pusing atau sakit kepala. Penelitian bertujuan untuk memperbaiki kondisi lingkungan fisik sehingga lebih baik, nyaman, dan mendukung aktivitas kerja. Hasil analisis menunjukkan bahwa saat ini belum memenuhi standar pencahayaan seharusnya menurut Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002, belum memenuhi standar Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002 mengenai kondisi kebisingan, belum memenuhi standar Kepkemenakertrans No Per.13MEN/X/2011 mengenai kondisi temperatur dengan menggunakan WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*). Kondisi temperatur dan kelembaban masih jauh dari titik optimal pada grafik psikometrik menurut AIRAH (*The Australian Institute of Refrigeration Air Conditioning and Heating*) 2007. Sirkulasi udara juga belum baik dan terdapat bau pembakaran timah. Maka untuk itu perlu adanya penambahan 20 buah lampu untuk menerangi stasiun *casting*, penggunaan *ear plug* untuk mengurangi kebisingan, penggunaan 2 buah *evaporative cooling* dan 4 buah *exhaust fan* untuk mengurangi panas dengan perhitungan penurunan panas menurut ASHRAE, 2007. Temperatur turun sebesar 7,68°C, mendekati titik optimal yaitu 25°C dengan kelembaban 80% jika perusahaan akan menggunakan *evaporative cooling*. Selain itu, diusulkan pemasangan tembok yang mengelilingi stasiun *casting* untuk menghindari panas menyebar ke stasiun lainnya dengan lubang di bawahnya untuk aliran masuk udara dingin yang dikeluarkan oleh *evaporative cooling*.

*Kata kunci: pencahayaan, kebisingan, temperatur, ASHRAE*

### *Evaluation of Working Physical Environment Conditions at the Casting Station*

#### *Abstract*

*Hot and noisy physical environment can cause heat stress for the operator, one example is heat exhaustion such as symptoms of dizziness or headaches. This research aims to improve physical environmental conditions so that it provide a better, convenient, and support to work activities. The results of the analysis showed that the current condition has not fulfilled the standard of lighting in accordance to Kepmenkes RI No. 1405 year 2002, has not fulfilled the standards of Kepmenkes RI No. 1405 year 2002 about the condition of noise, has not fulfilled the standard of Kepkemenakertrans Per. 13MEN/X/2011 regarding temperature conditions using WBGT. The temperature and humidity conditions are far from the optimal point on the psychometric chart according to AYAF (The Australian Institute of Refrigeration Air Conditioning and Heating) 2007. Air circulation is also not good and there is a smell of lead combustion. Therefore, there is a need for the addition of 20 lamps to illuminate the casting station, the use of ear plugs to reduce noise, the use of two evaporative cooling and four pieces of exhaust fan to reduce heat by calculation of heat reduction according to ASHRAE, 2007. Temperature drops as much as 7.68°C, approaching the optimal point is 25°C with humidity 80% if the*

---

*company will use evaporative cooling. In addition, it is proposed to mount the walls surrounding the casting station to avoid heat spread to other stations with a hole underneath it for cool air inlet spilled out by evaporative cooling.*

*Keywords: lighting, noise, temperature, ASHRAE*

## **PENDAHULUAN**

Kenyamanan pekerja dalam menjalankan tugas-tugasnya di suatu pabrik, dipengaruhi oleh salah satu faktor eksternal yaitu lingkungan fisik kerja seperti penerangan, suhu udara, sirkulasi udara, kebisingan, kelembaban, warna, getaran mekanis dan bau-bauan dari lingkungan sekitarnya. Salah satu bidang industri di Indonesia adalah industri manufaktur, seperti industri besi baja, industri tekstil, industri makanan, industri minuman dan lain-lain. PT KWM merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di industri manufaktur metal yaitu memproduksi aksesoris garmen seperti gesper, resleting, kancing, dan paku kolom. Proses pembuatan aksesoris ini melewati tahapan *casting* dan di ditemukan beberapa kekurangan yang terjadi seperti lingkungan kerja yang panas dan bising dapat meningkatkan resiko kecelakaan kerja. Dari hasil penelitian pendahuluan, suhu di tempat operator *casting* bekerja sebesar 38,1°C dengan kelembaban 32% dan pada jarak tiga meter dari mesin casting adalah 37°C dengan kelembaban 33%. Bekerja pada suhu 38,1°C dapat berpotensi terjadinya *heat stress* terhadap operator yang bekerja. Selain suhu yang panas, operator mengeluhkan suara yang bising dari mesin penggiling dan bising yang membuat telinga berdengung. Kebisingan yang dialami oleh operator yang berada satu meter dengan mesin penggiling berkisar pada 91 dB-93,5 dB pada jarak tiga meter dari mesin kebisingan berkisar pada 85,8 dB-88 dB. Operator mengalami kebisingan ini selama delapan jam tanpa menggunakan perlengkapan keamanan apapun. Resiko kecelakaan kerja dapat terjadi di stasiun casting karena suhu yang panas dan kebisingan.

Kesehatan dan keselamatan kerja (K3) adalah salah satu bentuk upaya untuk menciptakan tempat kerja yang aman, sehat, bebas dari pencemaran lingkungan sehingga dapat melindungi dan bebas dari kecelakaan dan pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja. Beberapa faktor yang mempengaruhi kesehatan dan keselamatan kerja (K3) adalah faktor kebersihan, faktor air minum dan kesehatan, faktor urusan rumah tangga, faktor ventilasi, pemanas dan pendingin, ruang kerja dan tempat duduk, faktor pencegahan kebakaran, faktor penerangan/cahaya, warna dan suara bising di tempat kerja serta faktor tempat kerja (Irzal, 2016). Hasil penelitian Devi dkk (2017) dengan mengambil sampel 46 orang pekerja pelabuhan menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kondisi pencahayaan, kebisingan dan kondisi suhu tempat kerja terhadap stres kerja. Penelitian ini dilakukan pada musim panas dan kemarau, dimana efek mendalam pada respon kardiovaskular, reaktivitas, dan gejala kelelahan subyektif dari pekerja patut dikhawatirkan. Karena itu, untuk meningkatkan efisiensi para pekerja, kesehatan dan keamanan harus dianggap sebagai masalah yang sangat mendesak di pabrik, dan pekerja harus di bawah kondisi pengawasan medis yang konstan.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kondisi lingkungan fisik kerja saat ini berdasarkan analisis WBGT seperti yang di jelaskan diatas bahwa hal ini merupakan aspek penting yang perlu diteliti karena berdampak besar pada kesehatan dan keselamatan pekerja, mengusulkan kondisi yang lebih baik, nyaman, dan mendukung untuk performa kerja operator ditinjau dari ilmu ergonomi seperti terhindar dari *heat stress* dan telinga yang mendengung, seperti yang dikeluhkan oleh pekerja saat ini. Penelitian ini juga berguna bagi pihak perusahaan dalam rangka pengurangan biaya kecelakaan kerja dan meminimasi penyakit akibat kerja terutama pekerja di stasiun *casting*.

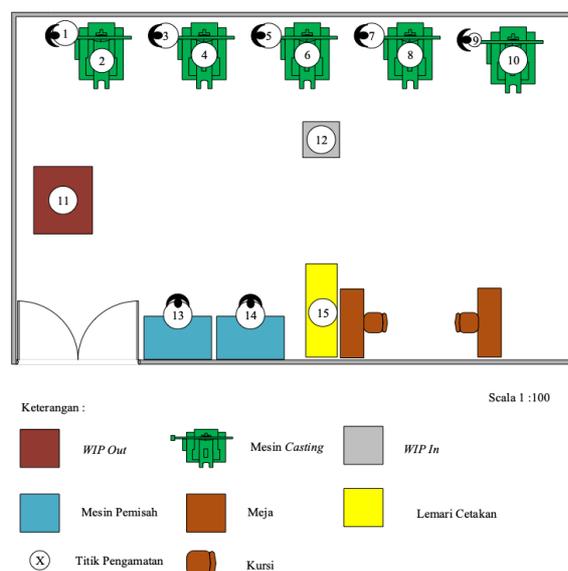
## METODE

Lingkungan fisik yang dianalisis adalah pencahayaan, kebisingan suhu  $T_n$  (*wet bulb temperature*),  $T_g$  (*globe temperature*),  $T$  (*dry temperature*), WBGT<sub>in</sub> (*Wet Bulb Globe Temperature* di dalam ruangan), WBGT<sub>out</sub> (*Wet Bulb Globe Temperature* di luar ruangan), kelembaban, sirkulasi udara dan bau-bauan. Pengukuran intensitas cahaya, kebisingan dan Temperatur dilakukan selama 3 hari pada pukul 09.00 WIB, 13.00 WIB dan 16.00 WIB. Alat yang digunakan adalah *Luxmeter*, *Soundlevel* meter, dan WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*) meter yang diproduksi oleh Delta OHM seri HD 32.2.

Untuk mencegah atau menanggulangi terjadinya *heat stress* perlu dilakukan pengukuran terhadap *Dry bulb temperature*, *Wet bulb temperature*, dan *Globe temperature* di lingkungan kerja. Hasil pengukuran tersebut digunakan sebagai indeks *heat stress*. Indeks *heat stress* tersebut adalah indeks WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*). Besarnya energi (*Ecost*) yang dikeluarkan untuk suatu pekerjaan dapat diukur dengan memperhitungkan denyut jantung dan faktor demografi menurut model Kamalakannan dkk (2007). Data kecepatan denyut jantung yang diambil dalam bentuk denyut per menit (dpm). Pengukuran kecepatan denyut jantung dilakukan selama satu menit, dengan membagi menjadi 6 siklus sehingga satu siklus dibutuhkan waktu 10 detik. Pengukuran dilakukan sebelum operator bekerja, pada saat operator bekerja dan setelah operator bekerja hingga mencapai *resting time*. Data kecepatan denyut jantung ini digunakan untuk mengetahui jumlah kalori yang dikeluarkan oleh operator pada saat bekerja. Selain kecepatan denyut jantung, informasi mengenai jenis kelamin, umur dan tinggi badan operator dikumpulkan. Selanjutnya dianalisis temperatur dan kelembaban dengan menggunakan grafik psikometrik, yang dikeluarkan oleh AIRAH (*The Australian Institute of Refrigeration Air Conditioning and Heating*) 2007.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran intensitas cahaya dilakukan di 15 titik pada 4 area seperti terlihat di Gambar 1, yaitu area mesin *casting* (Titik 1,3,5,7,9), area operator mengganti cetakan di dalam mesin *casting* (Titik 2,4,6,8,10), area pemisahan hasil cetakan (Titik 13,14), dan area penyimpanan (Titik 11,12,15).



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Data Lingkungan Fisik Kerja Stasiun *Casting*

Tabel 1  
Rangkuman Analisis Intensitas Cahaya pada Stasiun *Casting*

Waktu (WIB)	Intensitas Cahaya Stasiun <i>Casting</i> (lux)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
09.00	27-30	41-52	82-88	85-88	240-261	242-262	433-450	436-455	512-523	513-525	79-83	110-137	185-199	184-189	179-182
13.00	42-55	65-76	84-96	88-96	273-287	274-286	467-476	470-479	533-542	536-549	85-94	226-273	220-269	187-197	182-191
16.00	32-35	55-69	84-91	87-90	258-266	256-266	441-460	445-451	519-529	520-531	80-88	181-201	151-287	171-188	169-181

Keterangan :  Belum sesuai dengan standar yang disarankan

Dari Tabel 1 yang ditunjukkan dengan warna kuning dapat diketahui bahwa terdapat titik-titik yang tidak memenuhi standar pencahayaan menurut Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002. Untuk itu maka perlu adanya perbaikan intensitas cahaya yang masih berada dibawah standar, sehingga perlu perhitungan jumlah lampu yang dibutuhkan agar kondisi pencahayaan di lingkungan stasiun *casting* menjadi lebih baik.

Dari hasil pengukuran dan analisis diketahui bahwa intensitas cahaya pada seluruh area di stasiun *casting* ini masih belum mencapai standar Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002 yaitu 500 lux untuk jenis pekerjaan agak halus. Diusulkan penggabungan empat area ini (area pengoperasian mesin, area penggantian cetakan, area pemisah hasil cetakan dan area penyimpanan) menjadi satu area yaitu stasiun *casting* karena pada stasiun ini tidak ada dinding pemisah sehingga cahaya dapat memenuhi ruangan tersebut. Metode yang digunakan adalah metode *lumens* (Laughton dkk, 2003) dengan E(F) menyatakan iluminasi yang dibutuhkan pada area kerja yaitu 550 Lux, A menyatakan total area dimana pekerjaan dilakukan yaitu 8 m x 15 m = 120, UF(F) menyatakan nilai koefisien faktor pemanfaatan yang dinyatakan dalam 80%, n menyatakan jumlah lampu dalam 1 titik, yaitu 1 lampu dalam hal ini,  $\phi$  menyatakan nilai lumen sebuah lampu yaitu 5400 Lumen dengan daya lampu yang digunakan = 72 Watt dimana lampu yang digunakan adalah lampu Philips simbat 2 x 36 watt dengan *light output* 5400 lumen (1 watt = 75 lumen), MF menyatakan *Maintenance Factor* (Standar 80%), dan N adalah Jumlah *luminaire* (rumah lampu). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$N = \frac{E(F) \times A}{UF(F) \times n \times \phi \times MF} = \frac{550 \times 120}{0,8 \times 1 \times 5400 \times 0,8} = 19,09 \approx 20 \text{ lampu}$$

Berdasarkan kajian kebisingan, dari Tabel 2. yang ditunjukkan dengan warna biru adalah kondisi kebisingan kuat dan warna kuning kondisi kebisingan sangat hiruk. Dengan demikian dapat diketahui bahwa terdapat titik yang tidak memenuhi standar kebisingan menurut Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002.

Kebisingan yang terjadi pada stasiun *casting* berasal dari suara gesekan antara metal dari mesin pemisah. Suara yang disebabkan pada stasiun *casting* ini terjadi terus menerus selama produksi berlangsung. Tingkat kebisingan pada stasiun ini berada pada klasifikasi kuat hingga sangat hiruk. Hal ini dapat mengakibatkan operator sulit berkonsentrasi dan dapat menimbulkan gangguan pendengaran atau sakit pada telinga jika operator berada dalam kondisi bising dalam jangka waktu yang melebihi standar Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002 yaitu 2–4 jam/hari untuk klasifikasi sangat hiruk dan 4–8 jam/hari untuk klasifikasi kuat yang melebihi 85–88 dB.

Tabel 2  
Rangkuman Analisis Kebisingan pada Stasiun *Casting*

Waktu (WIB)	Kebisingan Cahaya Stasiun <i>Casting</i> (dB)									
	1	3	5	7	9	11	12	13	14	15
09.00	87,9- 88,5	87,8- 89,2	85,4- 89,1	83,0- 86,7	84,6- 85,5	89,6- 89,9	90,2- 91,1	90,7- 91,8	91,1- 92,3	89,4- 90,9
13.00	87,7- 87,9	87,8- 89,5	87,8- 88,2	86,4- 88,2	85,1- 85,8	87,9- 88,5	87,4- 89,2	90,6- 91,1	91,5- 93,5	89,9- 91,1
16.00	88,3- 89,4	88,3- 88,9	87,5- 89,2	85,7- 86,2	86,9- 87,3	88,9- 89,4	89,9- 90,5	91,2- 91,7	90,8- 92,4	89,3- 90,7

Keterangan :      Klasifikasi sangat hiruk  
     Klasifikasi kuat

Oleh karena itu, peneliti mengusulkan agar operator menggunakan *ear plug* dengan *Noise Reduction Rating* (NNR) 25 dB pada saat bekerja. Menurut NIOSH dalam Sunaryo dkk (2014) efektivitas penggunaan *ear plug* adalah 70% dari NNR yang dikeluarkan oleh produsen *ear plug* tersebut, sehingga dengan adanya penggunaan *ear plug* NNR 25 dB, diharapkan dapat mengurangi kebisingan sampai dengan 17,5 dB.

Area stasiun *casting* merupakan tempat dimana operator mengerjakan pekerjaannya. Sumber panas yang dihasilkan pada stasiun ini berasal dari mesin *casting* yang memerlukan suhu 400°C untuk meleburkan timah. Ventilator pada stasiun *casting* adalah satu buah pintu yang terletak di depan dan lubang yang terletak diatas dinding bagian depan. Sirkulasi di stasiun ini dirasa kurang baik karena pada stasiun ini hawa panas masih sangat terasa. Pada pabrik tersebut, terdapat berbagai proses yang dilakukan. Sebagian dari proses tersebut menimbulkan bau-bauan diantaranya bau asap pembakaran timah yang dapat menyebabkan kerusakan saluran pernafasan, bau asap rokok yang dapat menyebabkan kanker dan lain lain, bau B3 yang dapat membahayakan kesehatan seperti kanker, kesehatan reproduksi dan lain sebagainya.

Tabel 3  
Kecepatan Denyut Jantung Operator *Casting* Setelah Bekerja (dpm)

10 Detik ke	Denyut Jantung Setelah bekerja Op Casting (dpm)							Rerata
	1	2	3	4	5	6	7	
1	124	122	123	124	120	115	116	129,57
2	116	112	113	114	113	111		113,17
3	111	110	108					109,67
							Rerata	114,47

Setelah pengumpulan data denyut jantung, dilakukan perhitungan jumlah kalori yang dibutuhkan (Ecost) dengan diketahui data denyut jantung saat bekerja (HR) = 125,98 dpm, tinggi badan (HT) = 66,93 inch, umur (A) = 31th, denyut jantung saat istirahat (RHR) = 114,47 dpm dan jenis kelamin (G) pria = 0

Berdasarkan rumus  $Ecost = -1867 + 8,58HR + 25,1HT + 4,5A - 7,4 RHR + 67,8G$  (Kamalakkannan dkk, 2007), dapat dihitung :  
 $Ecost = -1867 + 8,58 (125,98) + 25,1 (66,93) + 4,5 (31) - 7,4 (114,47) + 67,8 (0)$   
 $Ecost = 186,27 \text{ Watt} = 2,66 \text{ kkal/menit} = 159,6 \text{ kkal/jam}$

Berikut data rangkuman dari data WBGT :

Tabel 4  
Rangkuman WBGT Stasiun *Casting*

	Pukul 09.00 WBGT (In) (°C)	Pukul 13.00 WBGT (In) (°C)	Pukul 16.00 WBGT (In) (°C)
Titik 1	31,1-31,5	32,5-32,9	31,1-32,8
Titik 3	31,3-31,6	32,4-33,0	31,6-32,6
Titik 5	31,0-31,4	32,7-33,1	31,5-31,7
Titik 7	31,4-31,6	32,6-33,3	31,6-31,9
Titik 9	31,1-31,7	32,6-33,2	31,6-31,8
Titik 11	30,2-31,1	29,9-32,4	30,5-31,1
Titik 12	29,9-30,9	30,4-32,4	30,4-31,5
Titik 13	30,0-31,0	30,5-31,6	30,6-31,1
Titik 14	29,9-30,8	30,6-30,8	30,4-30,9
Titik 15	29,3-30,6	29,5-30,7	30,0-30,8

Keterangan :  Melebihi Nilai Ambang Batas

Pada stasiun *casting*, operator bekerja dengan beban ringan karena memiliki jumlah kalori 159,6 kkal/jam. Menurut Kepkemenakertrans No Per.13MEN/X/2011 Tahun 2011 nilai ambang batas WBGT untuk beban kerja ringan dan jumlah istirahat sebanyak 5 menit per jam (8,3% istirahat dalam 1 jam) berarti operator bekerja selama 55 menit atau 91,7% bekerja per jam maka masuk ke dalam kategori 75%-100% bekerja dalam satu jam seperti yang tercantum pada Kepkemenakertrans No Per.13MEN/X/2011 Tahun 2011, sehingga nilai ambang batas WBGT adalah 31°C. Pada titik 1,3,5,7,9,11,12, dan 13 pada pukul 09.00, 13.00 dan 16.00 melebihi nilai ambang batas kecuali pada titik 12 di pukul 09.00. WBGT pada titik tersebut tidak melebihi 31°C yaitu berkisar pada 29,9°C – 30,9°C. Pada titik yang melebihi nilai ambang batas tersebut operator beresiko terkena *heat stress* dan perlu dibuat perbaikan untuk mengurangi indeks tersebut.

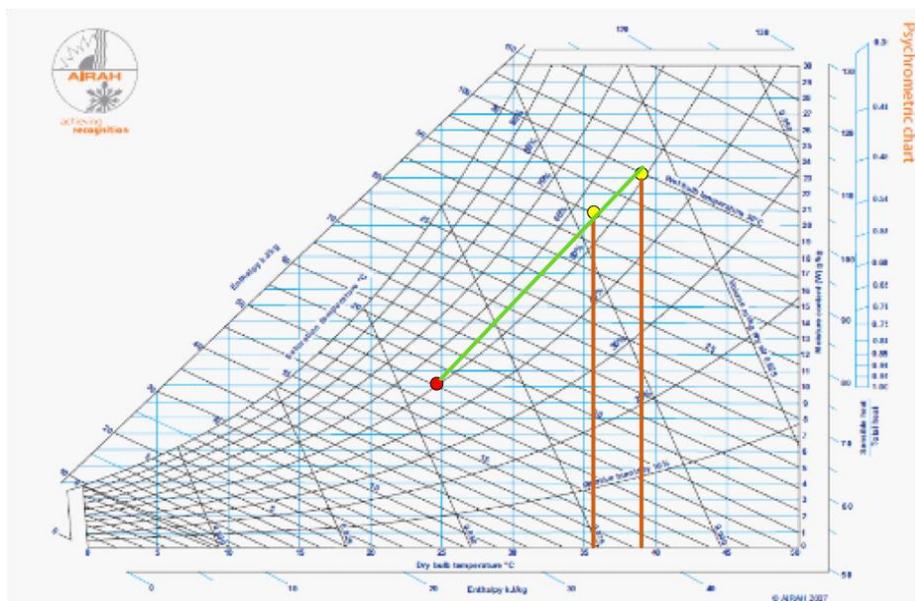
Untuk menganalisis kelembaban dibutuhkan data *dry bulb* dan *wet bulb* dari stasiun *casting* yang dibagi menjadi 3 area yaitu area seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5:

Tabel 5  
Rangkuman *Dry Bulb*, *Wet Bulb*, dan Kelembaban

Area	Titik	Stasiun <i>Casting</i>		
		<i>Wet Bulb</i> (°C)	<i>Dry Bulb</i> (°C)	Kelembaban (%)

Mesin <i>Casting</i>	Titik 1	28,0-29,7	35,6-38,0	48-54
	Titik 3	28,0-29,7	35,9-38,0	48-54
	Titik 5	28,0-29,9	35,4-38,2	47-54
	Titik 7	28,0-29,9	36,0-38,1	47-54
	Titik 9	28,0-29,7	36,1-38,5	48-55
Penyimpanan	Titik 11	27,0-29,0	34,8-38,3	49-52
	Titik 12	27,0-29,0	34,7-38,2	48-52
	Titik 15	26,9-28,8	34,9-36,7	47-52
Pemisah	Titik 13	27,0-28,9	34,4-36,9	48-53
	Titik 14	27,5-28,8	34,8-36,7	47-53

Titik terpanas berada pada area mesin *casting*, karena berdekatan dengan sumber panas yaitu mesin *casting*. Berikut ini adalah grafik psikometrik yang menunjukkan hubungan antara *dry bulb*, *wet bulb* dan kelembaban menurut AIRAH (*The Australian Institute of Refrigeration Air Conditioning and Heating Technical Handbook 2007*) :



Gambar 2. Grafik Psikometrik Area Mesin *Casting*

Gambar grafik psikometrik tersebut menggunakan data minimum dan maksimum antara *dry bulb*, *wet bulb* dan kelembaban di area tersebut. Titik merah pada grafik psikometrik tersebut merupakan titik optimal untuk operator bekerja dimana titik tersebut merupakan kombinasi antara *dry bulb* (sumbu x), *wet bulb* (sumbu diagonal) dan kelembaban yang optimal menurut AIRAH (2007). Pada gambar tersebut, garis warna hijau menunjukkan arah titik optimal menuju titik pengamatan, garis ini dibuat dengan cara menarik garis dari titik optimal ke titik pengamatan. Menurut AIRAH yang ditunjukkan pada gambar 1, titik pengamatan tersebut berada pada kategori panas yaitu *dry bulb* 38,5°C, *wet bulb* 29,9 °C dan kelembaban yang cukup lembab yaitu 55% sehingga perlu adanya perbaikan untuk mengurangi panas tersebut.

Berdasarkan grafik psikometrik untuk area penyimpanan disimpulkan titik pengamatan berada pada kategori panas yaitu *dry bulb* 38,3°C, *wet bulb* 29°C dan kelembaban yang cukup lembab yaitu 53% sehingga perlu adanya perbaikan untuk mengurangi panas tersebut. Begitu halnya juga untuk area pemisah, titik pengamatan tersebut berada pada kategori panas yaitu

*dry bulb* 36,9°C, *wet bulb* 28,9°C dan kelembaban yang cukup lembab yaitu 55% sehingga perlu adanya perbaikan juga untuk mengurangi panas tersebut.

Menurut AIRAH (2007), suhu optimal untuk bekerja yaitu *dry bulb* 25°C, *wet bulb* 18°C dan kelembaban 50%. Pada stasiun *casting*, semua area yang diteliti jauh dari titik tersebut pada psikometrik diagram seperti pada area mesin *casting* masuk kategori panas yaitu *dry bulb* 38,5°C, *wet bulb* 29,9°C dan kelembaban 50% sehingga perlu adanya perbaikan untuk mengurangi panas tersebut. Diusulkan pemberian dinding pembatas untuk area stasiun *casting* sehingga suhu panas yang ditimbulkan oleh mesin ini tidak menyebar ke seluruh ruangan. Pada area mesin *casting* nantinya akan dipasang *evaporative cooling* atau pendingin dengan teknik evaporasi dan *exhaust fan* KDK 30 RQN5 untuk membuang udara panas. Berikut adalah perhitungan estimasi jumlah *exhaust fan* yang akan digunakan dengan diketahui *air volume exhaust fan* 30 RQN5 sebesar 1152 CMH, volume ruangan: 10 m x 5 m x 3 m = 150 m<sup>3</sup>, nilai ACH (*Air Change per hour*) sebesar 30 (*Engine room*), debit infiltrasi adalah ACH \* Volume ruangan = 30 \* 150 m<sup>3</sup> = 4500 CMH, sehingga :

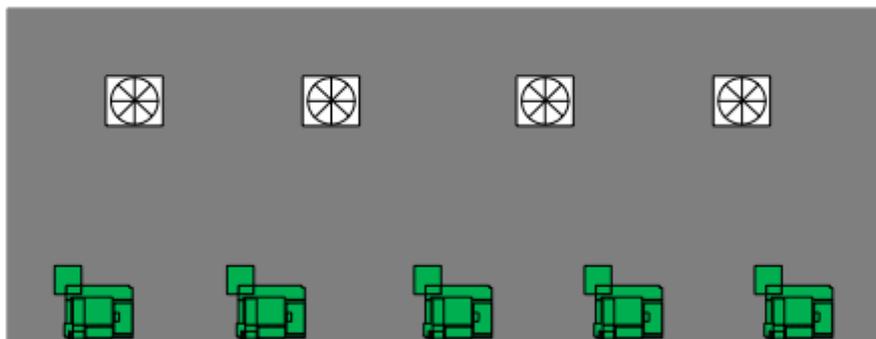
$$\text{Jumlah Exhaust Fan yang dibutuhkan} = \frac{\text{Debit Infiltrasi}}{\text{Kapasitas Exhaust Fan (CMH)}} = \frac{4500}{1152} = 3.91 \approx 4 \text{ unit}$$

Keterangan :

CMH = Besarnya *volume* udara yang dihisap tiap jam

ACH = Besarnya pergantian udara tiap jam

Pemasangan 4 buah *exhaust fan* KBK 30 RQN5 pada tembok yang mengarah keluar pada stasiun *casting* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Penempatan *Exhaust Fan* Usulan

Setelah udara panas dikeluarkan menggunakan *exhaust fan*, pendinginan dilakukan dengan menggunakan *evaporative cooling*. Proses *evaporative cooling* terjadi saat uap air ditambahkan ke udara yang memiliki kelembaban relatif di bawah 100%. Kelembaban relatif adalah besaran yang tergantung pada temperatur tabung kering dan temperatur tabung basah udara. Makin rendah kelembaban relatif, makin besar potensi terjadinya *evaporative cooling*. Potensi *evaporative cooling* bergantung dari perbedaan temperatur *wet bulb* dan *dry bulb* udara. Udara lembab memiliki RH yang tinggi. Makin besar selisih antara temperatur tabung kering dan temperatur tabung basah udara atau dikenal dengan *wetbulb depression*, makin besar penurunan temperatur yang dapat dicapai pada proses *evaporative cooling*. ASHRAE *Handbook-HVAC Applications* (SI) tahun 2007, diusulkan menggunakan pendinginan *direct evaporative*. Pada pendingin jenis ini, temperatur *dry bulb* akan turun, *wet bulb* relatif konstan dan RH atau kelembaban meningkat. Peneliti mengusulkan *Evaporative Cooler* EX188 yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Direct Evaporative Cooler*

(Sumber: <http://www.waterlinecooling.com/INDO-18OpenSpaceCooling.html>)

Disarankan menggunakan 2 buah *evaporative cooler* dengan satu buah *evaporative cooler* EX 188 memiliki *air flow* sebanyak 18.000 m<sup>3</sup>/jam. Dengan adanya penggunaan 2 buah *evaporative cooler* sehingga angin yang akan disalurkan untuk mendinginkan ruangan tersebut sebesar 36.000 m<sup>3</sup>/jam. Angin yang keluar melalui *evaporative cooler* akan bergerak melalui lintasan yang telah dirancang oleh peneliti. Terdapat lintasan utama yaitu lintasan yang langsung menuju mesin *evaporative cooler* dan lintasan cabang (lintasan belok). Pada lintasan utama terdapat 5 lubang untuk mengeluarkan angin dan pada lintasan cabang terdapat 10 lubang untuk mengeluarkan angin termasuk di dalam gudang B3. *Evaporative cooler* ini dipasang pada tembok luar pabrik sisi utara dan sisi selatan pabrik tersebut seperti pada ambar 6. Untuk mengetahui berapa temperatur udara yang akan dihasilkan oleh *evaporative cooling* yang akan digunakan ini dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan dengan metode yang dikemukakan oleh 2007 ASHRAE *Handbook—HVAC Applications* (SI) :

Tdb = Temperatur *dry bulb* masuk (diluar ruangan)

Twb = Temperatur *wet bulb* masuk (diluar ruangan)

Tdb = 33,3 °C

Twb = 23,7 °C

Selisih awal = Tdb – Twb = 33,3 °C – 23,7 °C = 9,6 °C

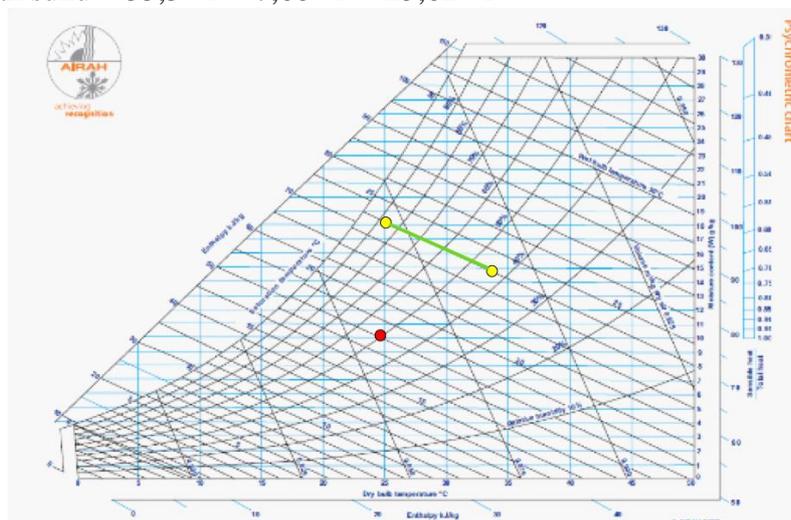
Efektivitas Saturasi untuk asia tenggara adalah 80%

Titik Jenuh = Efektivitas saturasi x Selisih awal

Titik Jenuh = 80% x 9,6 °C = 7,68

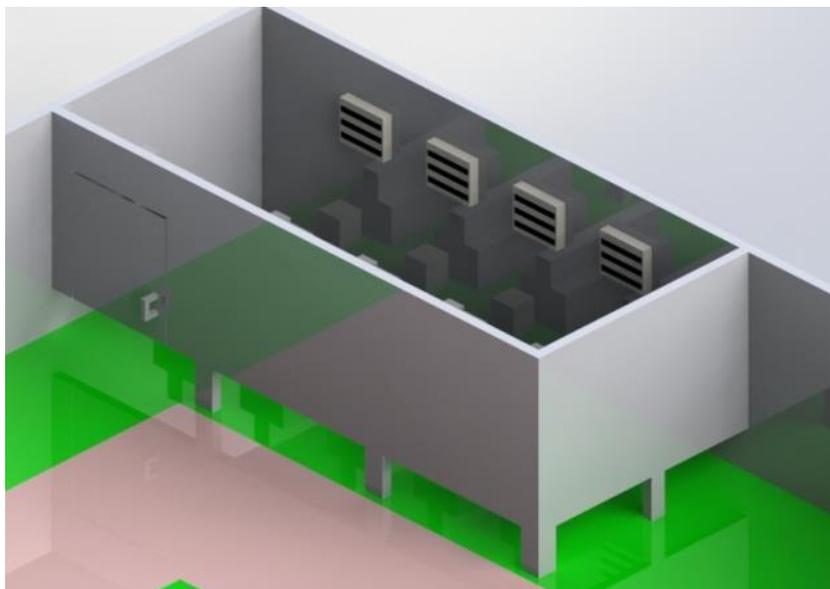
Tdb yang dihasilkan *direct evaporative cooler* (penurunan suhu):

Penurunan suhu = 33,3 °C – 7,68 °C = 25,62 °C



Gambar 5. Grafik Psikometrik Usulan

Jadi temperatur didalam pabrik sebesar  $25,62^{\circ}\text{C}$  sudah mendekati titik optimal yaitu  $25^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban 80% jika perusahaan akan menggunakan *evaporative cooling*. Penggunaan *air conditioner* (AC) tidak disarankan karena pada pabrik ini terdapat mesin *casting* yang terus berjalan dan penggunaan bahan kimia sehingga harus ada *ventilator* yang cukup besar sedangkan AC cocok untuk ruangan tertutup. Setelah temperatur dan kelembaban diperbaiki, diharapkan sirkulasi dapat membaik dan udara didalam ruangan pabrik dapat bertukar karena adanya udara masuk yang melalui alat *evaporative cooling* dan udara dapat keluar melalui *exhaust fan* dan *ventilator* yang sudah ada dan sudah cukup luas. Selain memasang *evaporative cooling* dan *exhaust fan*, diusulkan pemasangan tembok yang mengelilingi stasiun *casting* untuk menghindari panas menyebar ke stasiun lainnya. Lubang pada bawah dinding yang diusulkan berfungsi untuk aliran masuk udara dingin yang dikeluarkan oleh *evaporative cooling*. Udara panas akan dikeluarkan dengan menggunakan *exhaust fan* dan udara dingin akan di alirkan menggunakan *evaporative cooling* melalui lubang yang berada dibawah stasiun *casting* sehingga panas akan tergantikan oleh udara dingin. Tembok tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Usulan Dinding Pemisah, Pemasangan Exhaust Fan dan Mekanisme Pergantian Panas

## SIMPULAN

Pada stasiun *casting* belum memenuhi standar pencahayaan Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002 sebanyak 27 titik dari 45 titik. Secara keseluruhan, kondisi kebisingan di area *casting* ini juga belum memenuhi standar Kepmenkes RI No.1405 Tahun 2002. Pada stasiun ini juga beresiko terkena *heat stress* karena belum memenuhi standar kondisi temperature Kepkemenakertrans No Per.13MEN/X/2011 sebanyak 31 titik dari 45 titik dan kondisi temperatur dan kelembaban masih jauh dari titik optimal pada grafik psikometrik menurut AIRAH 2007. Untuk itu perlu diusulkan pada area stasiun *casting* mengenai penambahan jumlah lampu sebanyak 20 lampu, penggunaan *ear plug* dengan *Noise Reduction Rating* (NRR) 25 dB pada saat bekerja, pemasangan *evaporative cooling* dan *exhaust fan*, dan diusulkan pemasangan tembok yang mengelilingi stasiun *casting* untuk menghindari panas menyebar ke stasiun lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak perusahaan PT. KWM yang sudah mengijinkan untuk pengambilan data selama beberapa waktu.

## DAFTAR PUSTAKA

- AIRAH. 2007. *AIRAH Technical Handbook*. Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating.
- ASHRAE. 2007. *ASHRAE Handbook of Fundamental*. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditiong Engineers.
- Devi T.W., Sabilu, Y. dan Munandar, S. 2017. Hubungan Pencahayaan, Kebisingan, Suhu Udara dengan terjadinya Stress Kerja pada Pekerta di PT. Tofico Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Tahun 2016. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*, Vol. 2(6).
- Irzal. 2016. *Dasar-Dasar Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta : Kencana
- Kamalakkanan, B., Groves, W., dan Freivalds, A. 2007. Predictive Models for Estimating Metabolic on Heart Rate and Physical Characteristics. *The Journal of SH&E Research*, Vol. 4(1). <https://doi.org/10.3320/1.2758321>
- KEPMENKES RI. No. 1405/MENKES/SK/XI/02. 2002. *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Laughton, M.A., dan Warne, D.F. 2003. *Electrical Engineer's Reference Book*. Sixteenth edition. Publisher(s): Newnes.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011 (2011). Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia Di Tempat Kerja. Jakarta: Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI.
- Sunaryo, dan Wowo K. 2014. *Ergonomi dan K3*. Bandung : PT Remaja Rosdakarya. [www.waterlinecooling.com/INDO-12WaterQuality.html](http://www.waterlinecooling.com/INDO-12WaterQuality.html) diakses pada April 2017