

**EVALUASI VENTILASI ALAMI DENGAN SIMULASI NUMERIK
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN K3 PADA BENGKEL LAS
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

Oleh:

Yuning Widiarti¹, Binti Muallifatul Rosyidah², Priyo Agus Setiawan³
^{1,2,3} Dosen Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya - ITS
e-mail: widy_1109@yahoo.com

Abstract. Shipping Surabaya State Polytechnic is an institution that is engaged in the field of education where the practice is always carried out in the workshop . One very large garage that welding shop , where welding is always done in the workshop . To provide indoor comfort , need to be evaluated against the natural ventilation that occurs in the welding shop . Evaluate the level of comfort that is in Las Workshop Surabaya State Polytechnic Shipping (PPNS) done by using numerical simulation software Computational Fluid Dynamic (CFD) with FLUENT 6.3 is solvernya . The simulation results generated in the solver is to see the profile of discharge (volume flow rate) in the room to determine the supply of fresh air across the rooms that exist in the Machine Las investigators so as to know the quantity of air at each point in the workers' activities. In addition, the temperature profile is also used as a parameter to determine the temperature at each point of the room. This temperature as one indication of worker comfort in doing the activity in the Workshop Las PPNS

Keywords: evaluation of natural ventilation, Computational Fluid Dynamic (CFD), flow profiles, temperature profiles, control K3

Abstrak. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya merupakan institusi yang bergerak dalam bidang pendidikan dimana praktek selalu dilaksanakan di bengkel. Salah satu bengkel yang sangat besar yaitu bengkel las, dimana pengelasan selalu dilakukan dalam bengkel tersebut. Untuk memberikan kenyamanan dalam ruangan, perlu dilakukan evaluasi terhadap ventilasi alami yang terjadi dalam bengkel las. Evaluasi tingkat kenyamanan yang ada di Bengkel Las Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan solvernya adalah *Fluent 6.3*. Hasil simulasi yang dihasilkan dalam *solver* tersebut adalah dengan melihat profil debit (laju aliran volume) dalam ruangan untuk mengetahui suplai udara segar yang melintasi ruangan-ruangan yang ada dalam Bengkel Las PPNS sehingga dapat diketahui kuantitas udara pada tiap titik pekerja dalam melakukan aktivitasnya. Disamping itu, profil temperatur juga digunakan sebagai parameter untuk mengetahui temperatur pada tiap titik ruangan. Temperatur ini sebagai salah satu indikasi kenyamanan pekerja dalam melakukan aktivitas di Bengkel Las PPNS.

Kata Kunci: evaluasi ventilasi alami, *Computational Fluid Dynamic (CFD)*, profil debit, profil temperatur, pengendalian K3

Ventilasi merupakan bagian penting dengan jalan mengatur pergantian udara bangunan sebagai penunjang kehidupan didalam bangunan agar udara tersebut layak

digunakan sesuai dengan kebutuhan manusia dalam suatu bangunan. Pada zaman dahulu ventilasi dipasang pada bangunan untuk menghilangkan panas berlebih saat musim panas. Di Eropa Tengah dan Utara ventilasi biasanya banyak digunakan untuk menghilangkan gas pencemaran (kontaminan) udara selain untuk menghasilkan udara bersih yang digunakan untuk pernafasan. Kebutuhan udara segar yang baik untuk kesehatan sekitar 7 l/s per orang (Awbi, 1998).

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya merupakan institusi yang bergerak dalam bidang pendidikan dimana sebagian besar praktek selalu dilaksanakan di bengkel. Salah satu bengkel yang sangat besar yaitu bengkel las dimana mahasiswa melakukan aktivitas pengelasan selalu berada dalam bengkel tersebut. Untuk memberikan kenyamanan dalam ruangan perlu dilakukan evaluasi ruangan tersebut terhadap ventilasi alami yang terdapat pada bengkel las. Kebutuhan udara yang diterima oleh manusia harus memenuhi persyaratan yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Temperatur kenyamanan yang digunakan dalam suatu bangunan mengacu pada perundang-undangan K3 Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor : KEP-51.MEN/1999. Untuk mengetahui tingkat kenyamanan yang ada di Bengkel Las PPNS, maka dilakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan solversnya adalah *fluent 6.3*.

Perkembangan dalam bidang numerik seperti *Computational Fluid Dynamic* begitu cepat seiring dengan perkembangan teknologi sebagai solusi yang praktis dalam penyelesaian masalah fluida. Beberapa keadaan yang tidak dapat dilakukan

secara eksperimental, maka penggunaan simulasi numerik seperti CFD dapat digunakan sebagai alternatif. Pada penelitian ini simulasi CFD digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran yang terjadi pada sistem.

Hasil simulasi yang dihasilkan dalam *solver* tersebut adalah dengan melihat profil debit (laju aliran volume) dalam ruangan untuk mengetahui suplai udara segar yang melintasi semua ruangan dalam Bengkel Las PPNS sehingga diketahui kuantitas udara pada tiap titik dimana pekerja melakukan aktivitasnya. Selain itu profil temperatur juga digunakan sebagai parameter untuk mengetahui temperatur pada tiap titik ruangan. Temperatur ini sebagai salah satu indikasi kenyamanan pekerja dalam melakukan aktivitas di Bengkel Las PPNS, dari hasil profil temperatur dapat diketahui tingkat kenyamanan aliran udara yang melewati suatu ruangan.

Parameter yang penting untuk meningkatkan kesehatan sistem ventilasi menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor: KEP-51.MEN/1999 adalah profil temperatur untuk kenyamanan yaitu sekitar 30°C sedangkan untuk hasil profil kontur debit mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) sekitar 6 m³/jam. Berdasarkan paparan tersebut, maka dinilai perlu untuk melakukan evaluasi ruangan terhadap temperatur dan suplai udara yang diterima oleh pekerja di Bengkel Las PPNS sebagai upaya pencegahan K3 dalam bentuk *hygiene industry*, disamping itu simulasi CFD juga dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran kecepatan dan termal yang sangat sulit dilakukan secara eksperimental.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat karakteristik efek aliran dan efek termal pada ruangan Bengkel Las PPNS yang dipadukan dengan kesehatan lingkungan sebagai langkah untuk menciptakan lingkungan industri yang sehat dengan mengevaluasi apakah lingkungan bengkel las di PPNS sudah memenuhi standar termal dan kecepatan aliran dengan menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Setelah dilakukan evaluasi, kemudian akan ditentukan rekomendasi apa yang perlu diterapkan terhadap ventilasi alami tersebut.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi pada tahap evaluasi lingkungan kerja dan dapat digunakan untuk tahap berikutnya dalam upaya melakukan pengendalian lingkungan kerja pada Bengkel Las PPNS.

Ventilasi

Pada zaman dahulu ventilasi dipasang pada bangunan untuk menghilangkan panas berlebih saat musim panas. Di timur tengah, *wind tower* telah dikembangkan sejak milenium pertama untuk mengalirkan udara dingin ke dalam bangunan kemudian mengalirkan udara tersebut kedalam reservoir air untuk menghasilkan evaporasi dingin. Di Eropa Tengah dan Utara, ventilasi banyak digunakan untuk menghilangkan gas pencemaran (kontaminan) udara selain kegunaannya untuk menghasilkan udara bersih untuk pernafasan. Selama dua dekade, ventilasi dan konservasi energi telah menjadi topik utama dalam mendesain sistem bangunan. Ventilasi menjadi salah satu ilmu yang diperlukan seorang *desainer* sistem bangunan, ilmuwan dan insinyur yang terlibat dalam pembuatan hunian yang

sehat. Banyak konferensi internasional yang didedikasikan pada topik seperti: *Roomvent*, *Indoor Air*, *Healthy Building* telah diadakan secara periodik selama dua dekade terakhir (Awbi, 1998).

Aplikasi CFD dalam Menganalisa Ventilasi

Dalam dua dekade terakhir, program komputer *Computational Fluid Dynamics* (CFD) mengalami pengembangan yang cukup signifikan yang dapat dipergunakan dalam memprediksi aliran udara pada ruangan yang berventilasi. Sebagian besar program CFD berdasarkan pada persamaan konservasi masa, persamaan konsevasi momentum (*Navier-Stoke*), persamaan pertama termodinamika, persamaan kedua termodinamika, dan persamaan konsentrasi zat. Semua persamaan ini dinyatakan sebagai persamaan transport (Awbi, 2003). Karena dalam penelitian ini hanya mengamati *flowrate*, persamaan perpindahan panas dan konsentrasi zat tidak dipaparkan lebih lanjut.

Pada umumnya, persamaan *Navier Stoke* dipecahkan dengan dua metode numerik, yaitu *Finite Volume Method* (FVM) dan *Finite Element Method* (FEM). Tetapi, sebagian besar kode CFD yang dipergunakan dalam menganalisa aliran udara dalam ruangan adalah FVM. Permasalahan lain dalam penggunaan CFD adalah pemilihan *turbulence model*. Pemilihan *turbulence model* yang berbeda tergantung kompleksitas dan akurasi komputasi yang diinginkan. Berikut dipaparkan dasar persamaan aliran dan *turbulence model* dalam memecahkan permasalahan ventilasi (Awbi, 2003).

Aliran fluida, baik cairan maupun gas, adalah suatu zat yang sangat terlihat

dikehidupan kita sehari-hari. Misalnya saja fenomena meteorologi (angin, hujan dan badai), zat-zat berbahaya bagi lingkungan (polusi udara dan pergerakan kontaminan), pengkondisian udara bagi bangunan, kendaraan, pembakaran di motor bakar dan sistem propulsi, interaktif berbagai objek dengan udara/air, aliran kompleks pada *heat exchanger* dan reaktor kimia, proses di dalam tubuh manusia (aliran darah, bernafas, dan minum) dan lain sebagainya ternyata cukup menarik untuk diteliti, diselidiki, dianalisa. Untuk kebutuhan penelitian tersebut bahkan sama dengan tingkat desain perlu dibutuhkan suatu alat yang mampu menganalisa atau memperediksi dengan cepat dan akurat. Maka berkembang suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

Persamaan pada CFD

Persamaan untuk aliran turbulen *incompressible flow* yang pakai dalam penelitian ini adalah *steady state. Reynolds-average Navier-Stokes* (RANS), untuk persamaan konservasi massa dan momentum.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\overline{\rho u_i}) = 0$$

Dimana :

- $\overline{\rho}$: densitas rata-rata
- μ : viskositas molekul

Persamaan momentum :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\overline{\rho u_i u_j}) = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \overline{u_k}}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u_i u_j})$$

Dimana :

- \overline{p} : tekanan rata-rata.
- $-\overline{\rho u_i u_j}$: *Reynold stress*.

Untuk bilangan *Reynold* untuk mengetahui bahwa bilangan aliran tersebut

turbulensi, *Reynolds stress* dimodelkan untuk mencapai penyelesaian pada persamaan sebelumnya. Metode pemodelan menggunakan hipotesis Boussinesq untuk mengaitkan *Reynolds stress* ke gradien kecepatan rata-rata dalam aliran tersebut, oleh karena itu *Reynold stress* diberikan oleh persamaan:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \left[\mu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho_j + \mu_t \frac{\partial \overline{u_k}}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \right]$$

Dimana:

- μ_t : viskositas turbulen (*eddy*)
- k : energi kinetik turbulen.

Untuk model turbulensi dua-persamaan seperti *k-ε* dan varian *k-ω*, viskositas turbulen dihitung melalui solusi dua persamaan transportasi tambahan untuk energi kinetik turbulen, dan baik tingkat laju disipasi turbulensi, ϵ , atau laju disipasi spesifik, ω .

Model turbulensi realisasi *k-ε* yang digunakan dalam pemodelan ini. Hal ini berbeda dari model standar *k-ε* dalam dua cara penting. Pertama mengandung sebuah formulasi baru untuk viskositas turbulen, dan kedua, persamaan transportasi baru untuk ϵ telah diturunkan dari persamaan transport yang tepat untuk fungsi *mean-square* vortisitas.

Dalam model turbulensi realisasi *k-ε*, persamaan transport untuk k adalah identik dengan model *k-ε Standar*:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon \overline{u_i}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - G_\epsilon - Y_\epsilon$$

dengan:

$$G_\epsilon = \rho C_1 S \epsilon$$

$$Y_\epsilon = \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{v} \epsilon}$$

Dimana:

C_1 : didefinisikan sebagai $C_1 = \max \left[0.43 \frac{\eta}{\eta+5} \right]$

dan : $\eta = S \frac{k}{\varepsilon}$

C_2 : 1.9

METODE PENELITIAN

Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh debit dan temperatur pada Bengkel Las PPNS terhadap pekerja untuk melakukan evaluasi lingkungan kerja dilakukan dengan simulasi numerik dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengambilan data gambar *lay out* Gedung Bengkel Las PPNS. *Lay out* diambil dari gedung Las PPNS
2. Pembuatan geometri dan *meshing*.
Dalam CFD pembuatan geometri dan *meshing* membutuhkan *software* GAMBIT. Setelah pembuatan geometri, langkah berikutnya adalah melakukan pembagian obyek menjadi bagian kecil-kecil atau disebut dengan *meshing*. Ukuran mesh yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran mesh pada suatu obyek, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lama dibandingkan dengan obyek yang memiliki ukuran mesh lebih besar. Oleh karena itu, besarnya ukuran mesh harus diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar.
3. Pengecekan kualitas *meshing*
Setelah proses *meshing* selesai diperlukan pemeriksaan terhadap kualitas

meshing. Ukuran dari kualitas mesh berdasarkan sudut kemiringan pada tiap-tiap mesh. Skala mesh dari 0 – 1, jika skala mendekati 0, maka mesh sempurna sedangkan jika skala mendekati 1 maka kualitas buruk. Apabila kualitas mesh buruk, maka perlu dilakukan pengecekan ulang pada pembuatan geometri dan proses *meshing*. Hal ini dikarenakan adanya geometri yang terlalu kompleks sehingga perlu dilakukan *split*, apakah ada fitur kecil yang terlewatkan dan sebagainya.

4. Iterasi

Dalam melakukan iterasi perlu dilakukan inialisasi yaitu tebakan awal sebelum memulai perhitungan dengan *export* mesh yang dibuat ke program fluent. Iterasi yang dilakukan sampai terjadi konvergen.

5. Plot kontur debit dan temperatur

Setelah konvergen akan dilakukan plot pada kontur yang dibutuhkan yaitu dapat memilih kontur kecepatan dan temperatur.

6. Analisis

Hasil plot akan dianalisis sesuai dengan ruang lingkup yang akan dibahas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

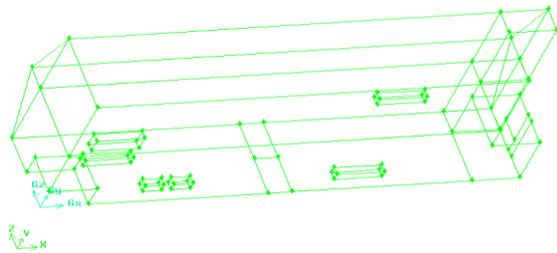
Pengolahan Data

Dalam melakukan pengolahan data diperlukan data hasil pengukuran yaitu data temperatur dan data kecepatan angin. Data kecepatan masuk/*inlet* diperoleh dari pengukuran di depan pintu Bengkel Las PPNS yaitu 0.505 m/s. Hal ini dapat dilihat apabila pada *low velocity* menghasilkan kontur yang baik, maka pada kecepatan tinggi akan terpenuhi. Sedangkan data temperatur diukur dengan menggunakan

peralatan *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) untuk input di *solver*. Pengukuran dilakukan dengan mengukur temperatur yang dihasilkan pada pintu masuk dan untuk proses pengelasan sebesar $35,4^{\circ}\text{C}$. Hasil akhir dari penelitian adalah untuk menghasilkan kontur temperatur, kecepatan dan *pathline* di setiap ruangan.

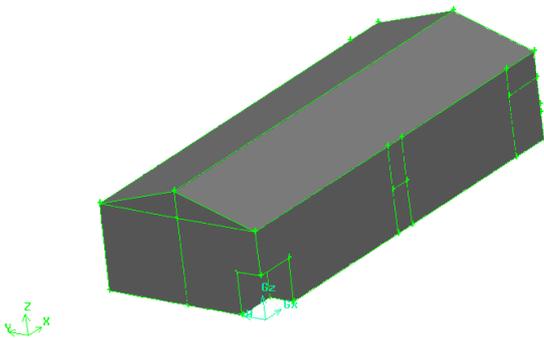
Pembuatan Geometri

Pembuatan geometri di GAMBIT dengan menyesuaikan denah dari *lay out* Bengkel Las PPNS.



Gambar 1 Geometri Bengkel Las

Setelah proses geometri selesai, dilanjutkan dengan membuat volume yaitu dengan memasukkan energi bangkitan yang ditimbulkan oleh proses pengelasan sebesar $35,2^{\circ}\text{C}$ seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Pembuatan Volume

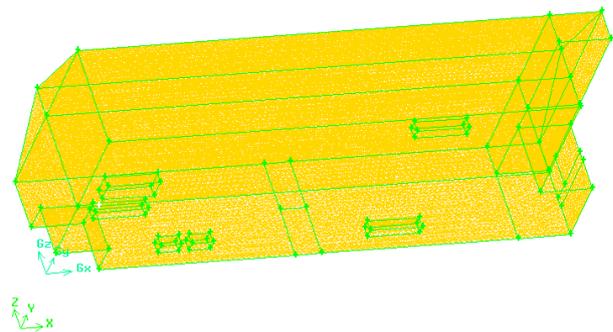
Proses Meshing

Dalam *Computational Fluid Dynamics* untuk membuat geometri dan

meshing membutuhkan *software* GAMBIT. Setelah pembuatan geometri, langkah berikutnya adalah melakukan pembagian obyek menjadi bagian kecil-kecil atau disebut dengan *meshing*. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran *mesh* pada suatu obyek, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lama dibandingkan dengan obyek yang memiliki ukuran *mesh* lebih besar. Oleh karena itu, besarnya ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar.



Gambar 3 Gambar Ruang dengan Temperatur Inlet

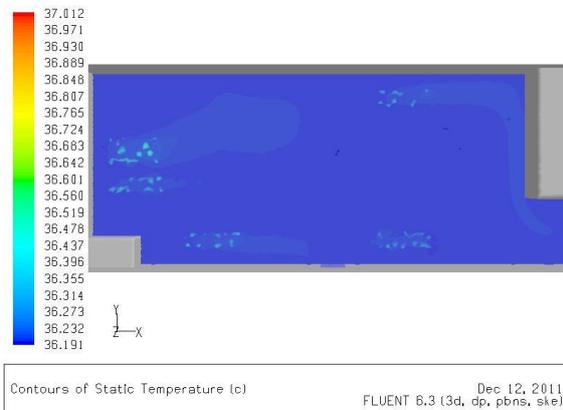


Gambar 4 Proses Meshing Bengkel Las

Iterasi

Dalam melakukan iterasi perlu melakukan inisialisasi yaitu tebakan awal sebelum memulai perhitungan dengan

export mesh yang dibuat ke program fluent. Iterasi yang dilakukan sampai terjadi konvergen.



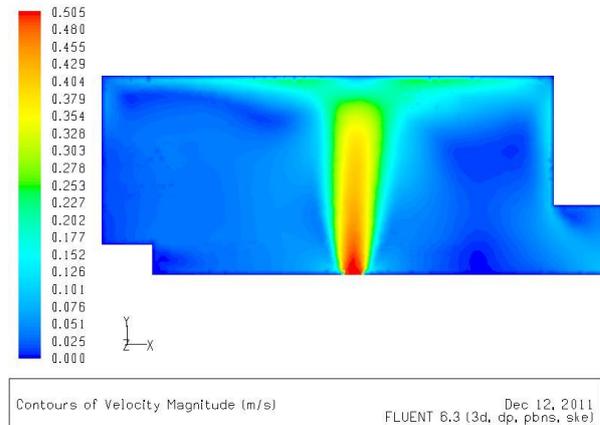
Gambar 5 Kontur Temperatur

Plot Kontur

1. Kontur temperatur

Kontur temperatur yang dihasilkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa setiap lokasi memiliki perbedaan temperatur yang sangat tipis atau kecil. Hal ini menunjukkan bahwa setiap lokasi memiliki temperatur yang tinggi dan seluruhnya terletak diatas nilai ambang batas yaitu diatas $32,2^{\circ}\text{C}$, hal ini menunjukkan bahwa dengan upaya apapun akan sulit untuk melakukan pengendalian. Pengendalian yang bisa dilakukan adalah dengan pengendalian teknik yaitu dengan melakukan pemasangan alat mekanik seperti *turbine ventilator* yang sekarang dipasang di Bengkel Las PPNS. Pemasangan ini sangat sesuai dan sudah diaplikasikan oleh PPNS. Pengendalian yang kedua yaitu dengan cara administratif, cara ini tidak mungkin untuk dilakukan mengingat bahwa pada nilai ambang batas iklim kerja yaitu Indek suhu bola dan basah (ISBB) melampaui maksimal nilai ISBB yang diijinkan oleh Kepmenaker No.Kep-51/MEN/1999 yaitu Nilai ambang batas faktor fisika. Pengendalian yang terakhir

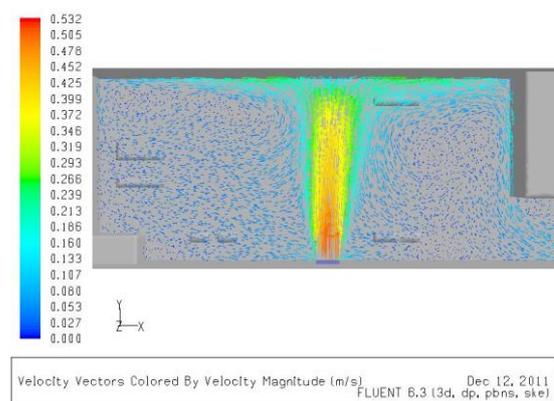
adalah Alat Pelindung Diri (APD) bisa dilakukan dengan menggunakan jas laboratorium.



Gambar 6 Kontur Kecepatan

2. Kontur vektor kecepatan

Pada kontur kecepatan terlihat bahwa kecepatan yang tinggi di daerah inlet selanjutnya menuju ke depan/ke arah selatan. Akan tetapi sebelum dinding selatan, menunjukkan arah berbelok ke kanan dan ke kiri dengan harga yang menurun. Suatu ketika kecepatan rendah mengalir pada sisi kiri dan sisi kanan yaitu sisi outlet. Standar kecepatan udara yang nyaman adalah 0,25-0,5 m/s.

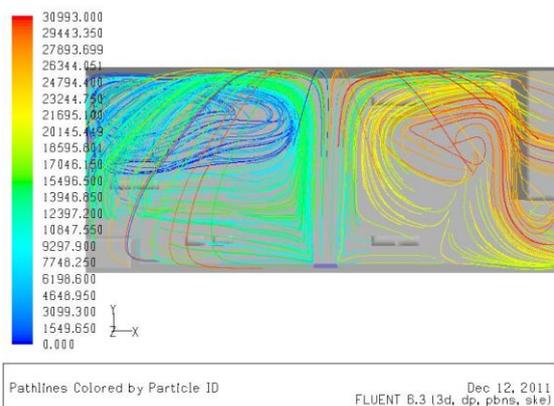


Gambar 7 Kontur Vektor Kecepatan

Kecepatan yang terukur dipintu 0,505 m/s. Parameter warna yang diijinkan adalah merah kuning dan hijau. Area

kerja atau praktek menunjukkan warna biru muda sampai biru tua, dimana nilai tersebut diluar jangkauan yang diijinkan sehingga bengkel las belum memenuhi standar kenyamanan.

3. Pathline



Gambar 8 Pathline

Pathline merupakan garis aliran dalam suatu medan kecepatan. *Pathline* menunjukkan bahwa aliran akan memasuki inlet dan bergerak lurus, menyentuh dinding yang akhirnya disebarkan ke

kanan dan kiri suatu ruangan seperti yang terlihat pada Gambar 8.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Gambar kontur temperatur menunjukkan temperatur di atas Nilai Ambang Batas (NAB).
2. Pengendalian pada Bengkel PPNS sudah cukup baik, yaitu dengan menggunakan *cyclon turbine ventilator*.
3. Gambar kontur kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan udara yang diijinkan adalah 0,25 – 0,5 m/s. Hasil kontur dalam batas diluar batas aman dengan kontur warna biru muda sampai biru muda yang memiliki kecepatan kurang dari 2,25 m/s. Pengendalian bengkel las sangat baik dengan memasang *cyclone turbine ventilator* yang membantu pergerakan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Awbi B. Hazim. 1998. *Ventilation. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2(1998) 157 – 188.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2001 . SNI 03-6572-2001. *Tentang Tata Cara Perancangan Ventilasi dan Pengkondisian Udara Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Budiono,A.M. Sugeng(editor). 1990. *Panduan Pelayanan Hiperkes dan Keselamatan Kerja*. Tri Tunggal Tata Fajar: Semarang
- Heru,S, Haryon. 2007. *Hygiene Lingkungan Kerja*. Jogjakarta : Mitra Cendekia Press
- Pungky W.2004. *Peraturan Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor: KEP-51.MEN/1999.
- Rata-rata Kecepatan Angin Bulanan (m/s) 22 Stasiun BMG di tiap Propinsi di Indonesia diakses dari <http://iklim.bmg.go.id/normal.asp> tanggal 8 Maret 2011 jam 18.00.
- Suma'mur. 1985. *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: Gunung Agung.
- Tuakia. F. 2008. *Dasar-dasar Computational Fluid Dynamics (CFD) menggunakan Fluent*, Informatika Bandung