



**HUBUNGAN ANTARA PAPARAN DEBU ASAP LAS (*WELDING FUME*)
DAN GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DENGAN GANGGUAN
FAAL PARU PADA PEKERJA BENGKEL LAS
(Studi di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya)**

SKRIPSI

Oleh

**Ahmad Aris Febrianto
NIM 102110101119**

**BAGIAN KESEHATAN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**HUBUNGAN ANTARA PAPARAN DEBU ASAP LAS (*WELDING FUME*)
DAN GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DENGAN GANGGUAN
FAAL PARU PADA PEKERJA BENGKEL LAS
(Studi di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Pendidikan S-1 Kesehatan Masyarakat
dan mencapai gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat

Oleh

**Ahmad Aris Febrianto
NIM 102110101119**

**BAGIAN KESEHATAN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Ibu dan Bapak serta adikku, yang telah mendoakan dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tiada akhir. Terima kasih untuk semua dukungan, pelajaran serta doa yang tiada henti.
2. Keluarga besar dari Ibu dan Bapak yang selalu memberikan dukungan moral ataupun spiritual yang sangat luar biasa kepada saya.
3. Saudara-saudaraku satu almamater Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember yang selalu mendukung dan memberi semangat di kala tengah tiada motivasi dan harapan.
4. Kawan-kawan terhebat yang pernah aku miliki di Fakultas Kesehatan Masyarakat, angkatan 2010, OSHU 2010 yang sangat istimewa dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman berharga dalam hidup saya.
5. Sahabat-sahabat yang selalu ada dikala senang maupun susah dan selalu memberikan secerca cahaya terang untuk kebaikan di masa depan.
6. Semua guruku dari Taman Kanak-Kanak sampai Perguruan Tinggi, yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas;
7. Almamaterku Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

MOTTO

Katakanlah, Tuhanku, tambahkanlah ilmu kepadaku
(terjemahan QS. Thaahaa: 20: 114)^{*)}

Barangsiapa menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, niscaya Allah memudahkan baginya dengan (ilmu) itu jalan menuju surga
(HR. Muslim)^{**)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 2009. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung. PT Sygma Examedia Arkanleema.

^{**)} Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al Hadist dan Terjemahannya*. Bandung, CV Penerbit J-ART.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Aris Febrianto

NIM : 102110101119

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: Paparan Antara Debu Asap Las (*Welding Fume*) dan Gas Karbon Monoksida (CO) dengan Gangguan Faal Paru Pada Pekerja Bengkel Las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 April 2015
Yang menyatakan,

(Ahmad Aris Febrianto)
NIM 102110101119

SKRIPSI

**HUBUNGAN ANTARA PAPARAN DEBU ASAP LAS (*WELDING FUME*)
DAN GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DENGAN GANGGUAN
FAAL PARU PADA PEKERJA BENGKEL LAS
(Studi di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya)**

Oleh

Ahmad Aris Febrianto
NIM 102110101119

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Anita Dewi P.S., S.KM., M.Sc

Dosen Pembimbing Anggota : dr. Ragil Ismi Hartanti, M.Sc.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Hubungan Antara Paparan Debu Asap Las (*Welding Fume*) dan Gas Karbon Monoksida (CO) dengan Gangguan Faal Paru Pada Pekerja Bengkel Las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya” telah diuji dan disahkan pada:

hari : Rabu

tanggal : 8 April 2015

tempat : Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua

Sekretaris

Dr. Isa Ma’rufi, S.KM, M.Kes
NIP 19750914 200812 1 002

dr. Ragil Ismi Hartanti, M.Sc
NIP 19811005 200604 2 002

Anggota I

Anggota II

Anita Dewi P.S., S.KM., M.Sc
NIP 19780710 200312 2 001

Jamrozi, S.H
NIP 19620209 199203 1 004

Mengesahkan,
Dekan

Drs. Husni Abdul Gani, M.S.
NIP 19560810 198303 1 003

***The Correlation Between Exposure of Welding Fumes and Carbon Monoxide With
Pulmonary Function Disorder in Welding Workers
(Study at Welding Station in Ngagel Village Wonokromo Sub district Surabaya City)***

Ahmad Aris Febrianto

*Department Of Environmental Health and Occupational Health and Safety
Faculty of Public Health, Jember University*

ABSTRACT

Welding industry has lot of potential dangers. Welding fume and carbon monoxide resulting from the welding process that can cause pulmonary function disorders. This study aims was to analyze the correlation between exposure of welding fumes and carbon monoxide, individual characteristics and work climate with pulmonary function disorder in the welding station. This study used a cross-sectional and cluster random sampling with 36 samples. There were 9 workers affected by interference obstruction, 6 workers suffer pulmonary disorders restriction. Analysis of data using spearman. The results of analysis showed an association between dust welding of fumes ($P = 0.027$), individual characteristics of age ($P = 0.015$), duration of exposure ($P = 0.006$), working periode ($P = 0.009$), cigarette smoke ($P = 0.006$), total of cigarette consumption ($P = 0.000$). Therefore, welding station owners and the government should conduct surveillance to improve the safety and health of workers in order to prevent the occurrence of occupational pulmonary disorders.

Keywords: *welding fume, carbon monoxide, individual characteristic, work climate, pulmonary function disorder.*

RINGKASAN

Hubungan Antara Paparan Debu Asap Las (*Welding Fume*) dan Gas Karbon Monoksida (CO) dengan Gangguan Faal Paru Pada Pekerja Bengkel Las (Studi di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya); Ahmad Aris Febrianto, 102110101119; 87 halaman; Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

Pengelasan adalah penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Proses pengelasan menghasilkan sisa kegiatan berupa debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida yang merupakan bahan kimia yang berdampak negatif pada kesehatan paru. Penyakit paru akibat kerja di Indonesia mencapai angka yang cukup tinggi. Gangguan faal paru di pengaruhi oleh beberapa faktor risiko seperti umur, lama paparan, masa kerja, merokok, status gizi, penggunaan APD, iklim kerja (suhu dan kelembaban), debu asap las (*welding fume*) dan karbon monoksida.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida dengan gangguan faal paru pada pekerja las. Penelitian ini dilakukan di 5 bengkel di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian analitik observasional dengan rancangan *cross sectional*. Responden pada penelitian ini sebanyak 36 pekerja dengan rincian 19 pekerja pada bengkel A, 2 pekerja pada bengkel B, 6 pekerja pada bengkel C, 3 pekerja pada bengkel D, 6 pekerja pada bengkel E. Pengukuran kadar debu dilakukan pada 5 titik pada tiap bengkel. Kadar debu asap las (*welding fume*) didapat dari hasil pengukuran dengan menggunakan *High Volume Dust Sampler*, dan gas karbon monoksida diukur dengan CO monitor. Gangguan faal paru diketahui dengan hasil pengukuran faal paru pekerja menggunakan *spirometri*, karakteristik

individu (umur, lama paparan, masa kerja, kebiasaan merokok, status gizi, kebiasaan menggunakan APD) di dapatkan dari hasil kuesioner dan wawancara. sedangkan iklim kerja didapat dari hasil pengukuran suhu dan kelembaban menggunakan *termohigrometer/heat stress*. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan uji asosiasi *spearman* dengan α sebesar 0,05.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara karakteristik individu, yaitu umur dengan gangguan faal paru ($p = 0,015$) berarti umur berpengaruh terhadap terjadinya gangguan faal paru seseorang. Lama paparan memiliki hubungan yang signifikan dengan gangguan faal paru ($p = 0,006$), bahwa lama paparan setiap pekerja berpengaruh terhadap gangguan faal paru. Masa kerja mempunyai hubungan yang signifikan dengan gangguan faal paru ($p = 0,009$), semakin lama masa kerja sangat berpengaruh terhadap gangguan faal paru. Terdapat hubungan yang signifikan antara kebiasaan merokok dengan gangguan faal paru ($p = 0,006$) dan jumlah konsumsi rokok dengan gangguan faal paru ($p = 0,000$), bahwa orang yang memiliki kebiasaan merokok memiliki risiko lebih besar terkena gangguan faal paru dan diperburuk dengan jumlah konsumsi rokok yang banyak akan semakin rentan terkena gangguan faal paru. Terdapat hubungan yang signifikan antara paparan debu asap las (*welding fume*) dengan gangguan faal paru ($p = 0,027$). Gangguan faal paru dapat terjadi akibat paparan debu asap las (*welding fume*) yang berkelanjutan dan di tambah lama paparan serta masa kerja yang lama akan meningkatkan risiko terkena gangguan faal paru. Variabel status gizi, karbon monoksida, suhu udara serta kelembaban tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan gangguan faal paru.

Berdasarkan hasil penelitian ini, diharapkan pekerja untuk mengurangi jam kerja untuk mengurangi paparan debu asap las (*welding fume*) dan mengurangi kebiasaan merokok atau bahkan berhenti merokok. Bagi pemilik bengkel lebih memberikan waktu kerja yang tidak lebih dari 8 jam per hari pekerja serta menyediakan APD yang sesuai. Bagi pemerintah lebih melakukan pengawasan,

pembinaan dan perlindungan pada pekerja bengkel las agar keselamatan dan kesehatan pekerja meningkat dan terdokumentasi.



PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Hubungan Antara Paparan Debu Asap Las (*Welding Fume*) dan Gas Karbon Monoksida (CO) dengan Gangguan Faal Paru Pada Pekerja Bengkel Las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada peminatan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Husni Abdul Gani, MS. selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember;
2. Anita Dewi P.S., S.KM., M.Sc. selaku Ketua Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja sekaligus dosen pembimbing utama yang telah membagi ilmu, memberikan petunjuk, nasehat, koreksi serta saran dengan penuh perhatian dan kesabaran hingga terselesaikan skripsi ini;
3. Dr. Isa Ma'rufi, S.KM., M.Kes selaku ketua penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membagi ilmu dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini;
4. dr. Ragil Ismi Hartanti., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang telah membagi ilmu, memberikan petunjuk, nasehat, koreksi serta saran dengan penuh perhatian dan kesabaran hingga terselesaikan skripsi ini;
5. Jamrozi, S.H selaku penguji tamu yang bersedia meluangkan waktu untuk membagi ilmu, memberikan petunjuk serta saran;
6. Pemilik bengkel las yang telah memberikan izin tempat penelitian sehingga melancarkan dalam penyelesaian skripsi ini;

7. Staf balai HIPERKES UPT K3 Dinas Tenaga Kerja, Transmigrasi, dan Kependudukan Provinsi Jawa Timur: Pak Antok, Pak Slamet, Bu Ririh, Pak Dwi dan Bu Ambar yang meluangkan waktu untuk melakukan pengukuran debu asap las (*welding fume*), gas karbon monoksida serta gangguan faal paru;
8. Ibunda Umi Mukhasidah dan Bapak Maskur yang telah membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang, memberikan motivasi dan semangat serta nasehat-nasehat yang bijak, tiada henti mendo'akan yang terbaik, serta senantiasa berkorban agar penulis dapat menyelesaikan pendidikan;
9. Adikku Fitria Arista Sari yang selalu memberikan semangat;
10. Sahabat-sahabatku Bhirawa Odi, M. Ali Yavie, Dhimas Herdhianta, Emir Saddam, Ongki Januar, Ririn Agustini, Maulia Afidah Cahyani, Putri terima kasih atas jasa-jasa kalian;
11. Teman-teman angkatan 2010, arkesma, peminatan K3 2010, ;
12. Keluarga besar Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember;
13. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Atas perhatian dan dukungannya, penulis menyampaikan terima kasih.

Jember, April 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRACT	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI LAMBANG	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.3.1 Tujuan Umum.....	4
1.3.2 Tujuan Khusus	4
1.4 Manfaat	4
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	4
1.4.2 Manfaat Praktis	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengelasan	6
2.1.1 Pengertian Pengelasan	6

2.1.2	Cara Kerja Pengelasan.....	6
2.1.3	Jenis-jenis Proses Pengelasan.....	8
2.1.4	Bahaya Pengelasan	9
2.2	Sistem Pernafasan	16
2.2.1	Pengertian Pernafasan.....	16
2.2.2	Anatomi dan Fisiologi Saluran Pernafasan	16
2.2.3	Volume dan Kapasitas Paru.....	21
2.2.4	Pengukuran Faal Paru	23
2.2.5	Gangguan Faal Paru dan Penyakit Paru.....	25
2.2.6	Diagnosa	30
2.3	Faktor yang Mempengaruhi Gangguan Faal Paru	31
2.3.1	Karakteristik Individu.....	31
2.3.2	Faktor Iklim Kerja (Suhu dan Kelembaban)	37
2.4	Kerangka Teori	39
2.5	Kerangka Konseptual.....	40
2.6	Hipotesis.....	41
BAB 3.	METODE PENELITIAN	42
3.1	Jenis Penelitian.....	42
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	42
3.2.1	Tempat Penelitian	42
3.2.2	Waktu Penelitian.....	43
3.3	Populasi dan Sampel.....	43
3.3.1	Populasi	43
3.3.2	Sampel	43
3.3.3	Teknik Pengambilan Sampel	46
3.3.4	Kriteria Inklusi.....	46
3.3.5	Kriteria Eksklusi	47

3.4 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional	47
3.4.1 Variabel Penelitian	47
3.4.2 Definisi Operasional	47
3.5 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data	51
3.5.1 Teknik Pengumpulan Data	51
3.5.2 Instrumen Pengumpulan Data.....	52
3.6 Data dan Sumber Data	58
3.7 Teknik Pengolahan, Penyajian dan Analisis Data	58
3.7.1 Teknik Pengolahan Data.....	59
3.7.2 Teknik Analisis Data	59
3.8 Alur Penelitian	61
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1 Lokasi Penelitian.....	62
4.2 Karakteristik Individu	62
4.2.1 Umur	63
4.2.2 Lama Paparan	63
4.2.3 Masa Kerja.....	63
4.2.4 Kebiasaan Merokok.....	64
4.2.5 Jumlah Rokok	64
4.2.6 Status Gizi.....	65
4.3 Kondisi Iklim Kerja.....	65
4.3.1 Suhu	66
4.3.2 Kelembaban	66
4.4 Kadar Debu Asap Las (<i>Welding Fume</i>) dan Karbon monoksida (CO) Pengelasan.....	67
4.4.1 Debu Asap Las (<i>Welding Fume</i>)	67
4.4.2 Karbon Monoksida (CO).....	68
4.5 Gangguan Faal Paru.....	69

4.6 Hubungan Antara Karakteristik Individu Dengan Gangguan Faal paru	69
4.6.1 Hubungan Antara Umur Dengan Gangguan Faal Paru.	70
4.6.2 Hubungan Antara Lama Paparan Dengan Gangguan Faal Paru	72
4.6.3 Hubungan Antara Masa Kerja Dengan Gangguan Faal Paru	73
4.6.4 Hubungan Antara Kebiasaan Merokok Dengan Gangguan Faal Paru.....	74
4.6.5 Hubungan Antara Jumlah Konsumsi Rokok Dengan Gangguan Faal Paru.....	75
4.6.6 Dengan Gangguan Faal Paru Status Gizi Dengan Gangguan Faal Paru.....	76
4.7 Hubungan Antara Iklim Kerja Dengan Gangguan Faal paru	78
4.7.1 Hubungan Antara Suhu Dengan Gangguan Faal Paru..	78
4.7.2 Hubungan Antara Kelembaban Dengan Gangguan Faal Paru	79
4.8 Hubungan Antara Debu Asap Las (<i>Welding Fume</i>) dan Gas Karbon Monoksida (CO) Dengan Gangguan Faal paru	81
4.8.1 Hubungan Antara Debu Asap Las (<i>Welding Fume</i>) Dengan Gangguan Faal Paru.	81
4.8.2 Hubungan Antara Karbon Monoksida (CO) Dengan Gangguan Faal Paru.....	82
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	86

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

2.1	Tanda–tanda dan gejala keracunan gas CO	11
2.2	Klasifikasi Gangguan Faal Paru	27
2.3	Klasifikasi Penyakit Paru Kerja	28
2.4	Nilai Standar Kapasitas Vital Paru.....	32
2.5	Indeks Masa Tubuh	37
3.6	Jumlah Sampel Setiap Pengelasan	46
3.7	Definisi Operasional, Cara Pengumpulan Data, Skala dan Cara Pengukuran.....	47
3.8	Analisis Data Penelitian	60
4.9	Distribusi Frekuensi Pekerja berdasarkan Umur.....	63
4.10	Distribusi Frekuensi Pekerja berdasarkan Lama Paparan	63
4.11	Distribusi Frekuensi Pekerja berdasarkan Masa Kerja	64
4.12	Distribusi Frekuensi Pekerja berdasarkan Kebiasaan Merokok.....	64
4.13	Distribusi Frekuensi Pekerja berdasarkan Jumlah Konsumsi Rokok...	65
4.14	Distribusi Frekuensi Pekerja berdasarkan Status Gizi	65
4.15	Distribusi Frekuensi Suhu pada Pengelasan.....	66
4.16	Distribusi Frekuensi Kelembaban pada Pengelasan	66
4.17	Distribusi Frekuensi Debu asap las (<i>Fume Welding</i>) pada Pengelasan.....	67
4.18	Distribusi Frekuensi Karbon Monoksida (CO) pada Pengelasan.....	68
4.19	Distribusi Frekuensi Gangguan Faal Paru.....	69
4.20	Distribusi Frekuensi Gangguan Faal Paru Obstruktif	69
4.21	Distribusi Frekuensi Gangguan Faal Paru Restriktif.....	69
4.22	Distribusi Frekuensi Gangguan Faal Paru Campuran (<i>mixed</i>).....	70
4.23	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Umur dengan Gangguan Faal Paru	70

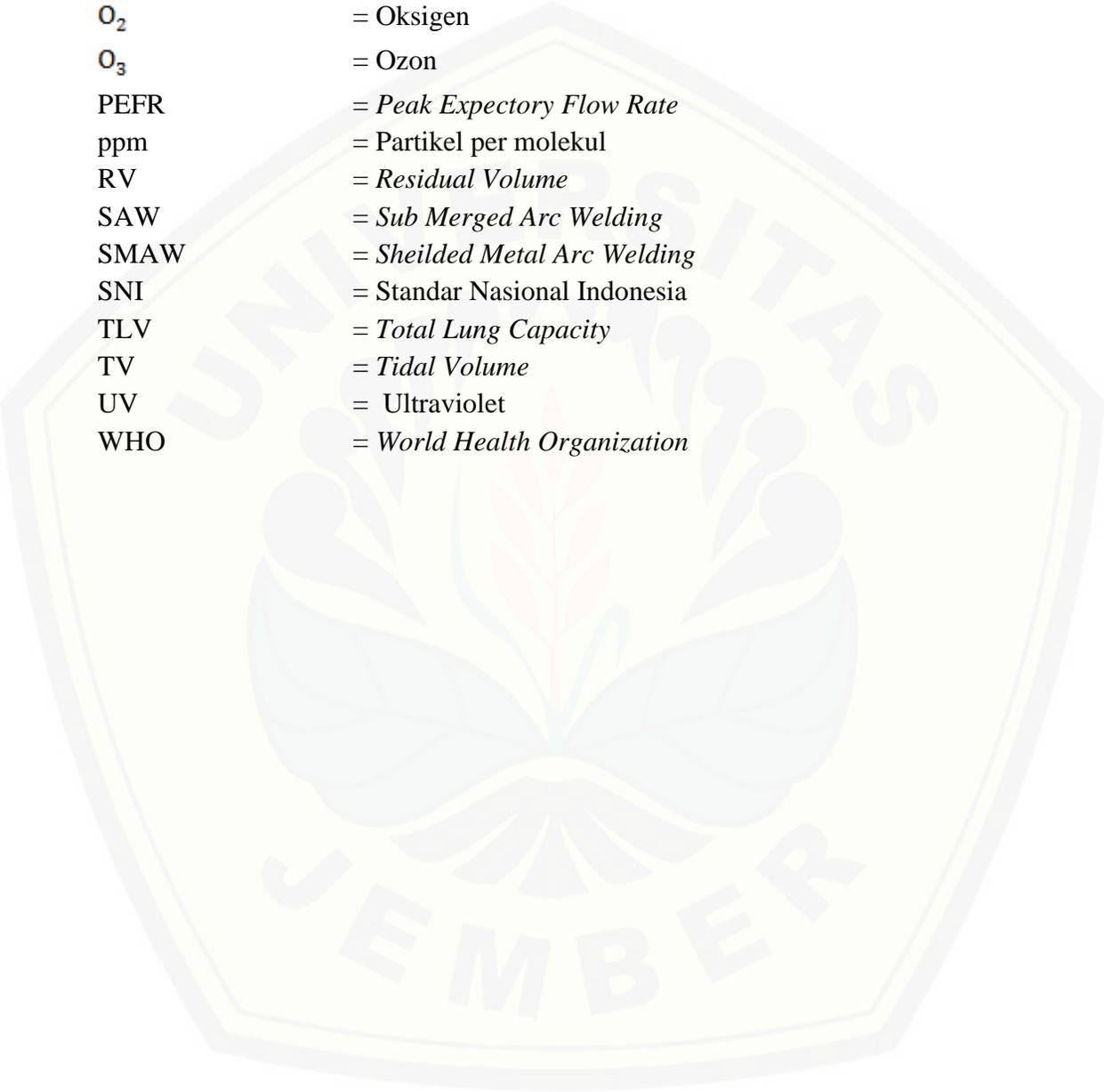
4.24	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan Lama Paparan antara dengan Gangguan Faal Paru.....	72
4.25	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Masa Kerja dengan Gangguan Faal Paru.....	73
4.26	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Kebiasaan Merokok dengan Gangguan Faal Paru	74
4.27	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Jumlah Konsumsi Rokok dengan Gangguan Faal Paru	75
4.28	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Status Gizi dengan Gangguan Faal Paru.....	77
4.29	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Suhu dengan Gangguan Faal Paru	78
4.30	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Kelembaban dengan Gangguan Faal Paru.....	79
4.31	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Debu Asap Las (<i>Fume Welding</i>).....	80
4.32	Distribusi Pekerja Berdasarkan Hubungan antara Gas Karbon Monoksida (CO).....	82

DAFTAR GAMBAR

2.1	Sistem Pernafasan Manusia.....	20
2.2	Kerangka Teori.....	36
2.3	Kerangka Teori.....	39
2.4	Kerangka Konseptual	40
3.5	<i>Spirometer</i>	53
3.6	<i>High Volume Dust Sampler</i>	56
3.7	Alur Penelitian	61

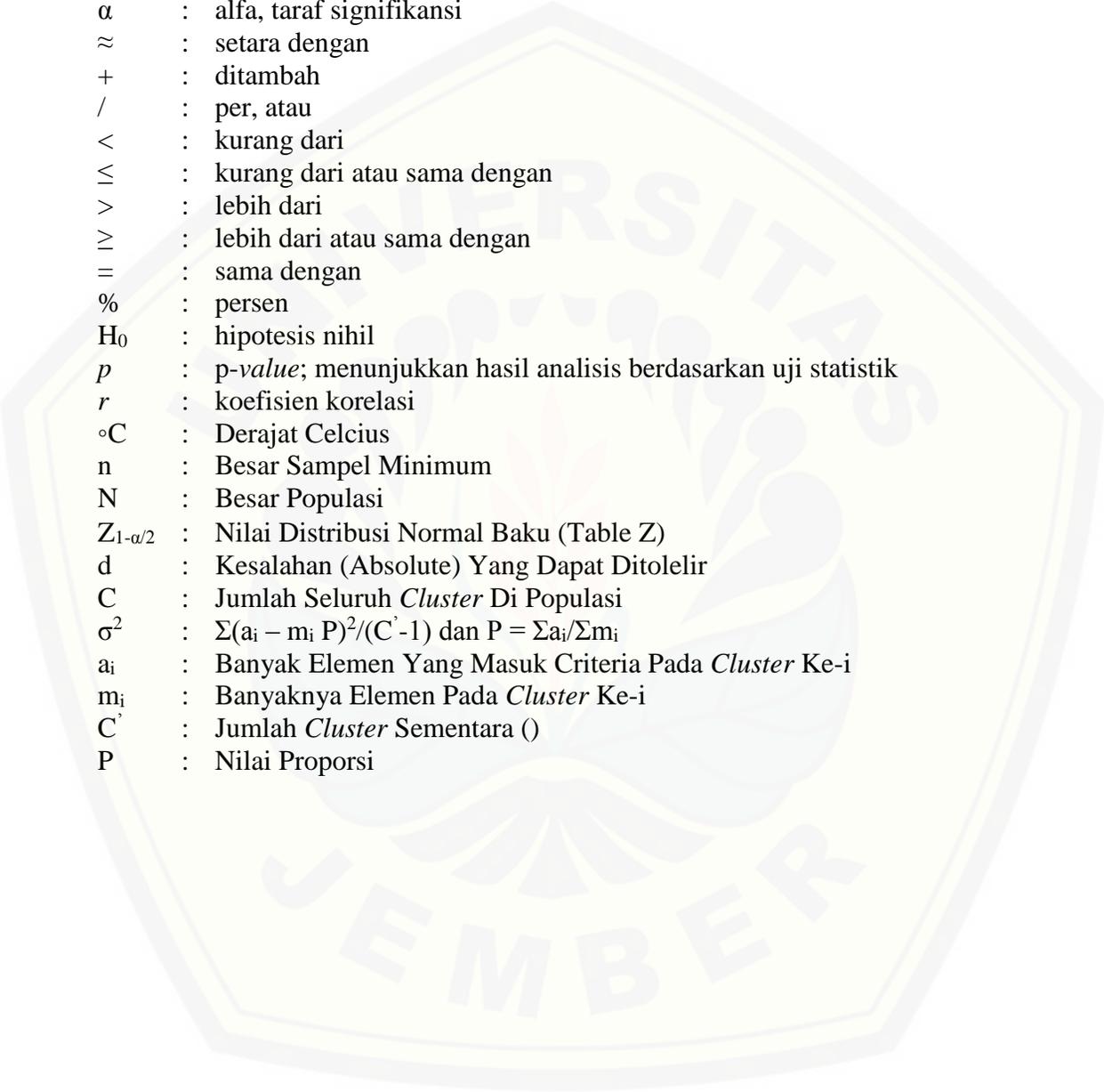
DAFTAR SINGKATAN

ACGIH	= <i>American Conference of Industrial Hygienist</i>
APD	= Alat Pelindung Diri
BPS	= Badan Pusat Statistik
CI	= <i>Confident Interval</i>
CoCl_2	= Fosgen
CO	= Karbon Monoksida
CO_2	= Karbon Dioksida
C_2H_2	= Asetilen
DepKes RI	= Departemen Kesehatan Republik Indonesia
ERV	= <i>Experatory Reserve Volume</i>
F	= Florida
FeO_3	= Oksida Besi
FRC	= <i>Functional Residual Capacity</i>
FVC	= <i>Force Vital Capacity</i>
GMAW	= <i>Gas Metal Arc Welding</i>
GTAW	= <i>Gas Tungstens Arc Welding</i>
Hb	= Hemoglobin
HbCO	= <i>Karboksihemoglobin</i>
HVDS	= <i>High Volume Dust Sampler</i>
IC	= <i>Inspiratory Capacity</i>
IMT	= Indeks Massa Tubuh
IRV	= <i>Inspiratory Reserve Volume</i>
KepMenKes RI	= Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia
Kg/m^2	= Kilogram per Meter Kuadrat
LPG	= <i>Liquified Petroleum Gas</i>
Mg/Nm^3	= Miligram per Nano Meter Kubik
Mn	= Mangan



NAB	= Nilai Ambang Batas
NO	= Nitrogen Monoksida
NO ₂	= Nitrogen Dioksida
O ₂	= Oksigen
O ₃	= Ozon
PEFR	= <i>Peak Expectory Flow Rate</i>
ppm	= Partikel per molekul
RV	= <i>Residual Volume</i>
SAW	= <i>Sub Merged Arc Welding</i>
SMAW	= <i>Sheilded Metal Arc Welding</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
TLV	= <i>Total Lung Capacity</i>
TV	= <i>Tidal Volume</i>
UV	= Ultraviolet
WHO	= <i>World Health Organization</i>

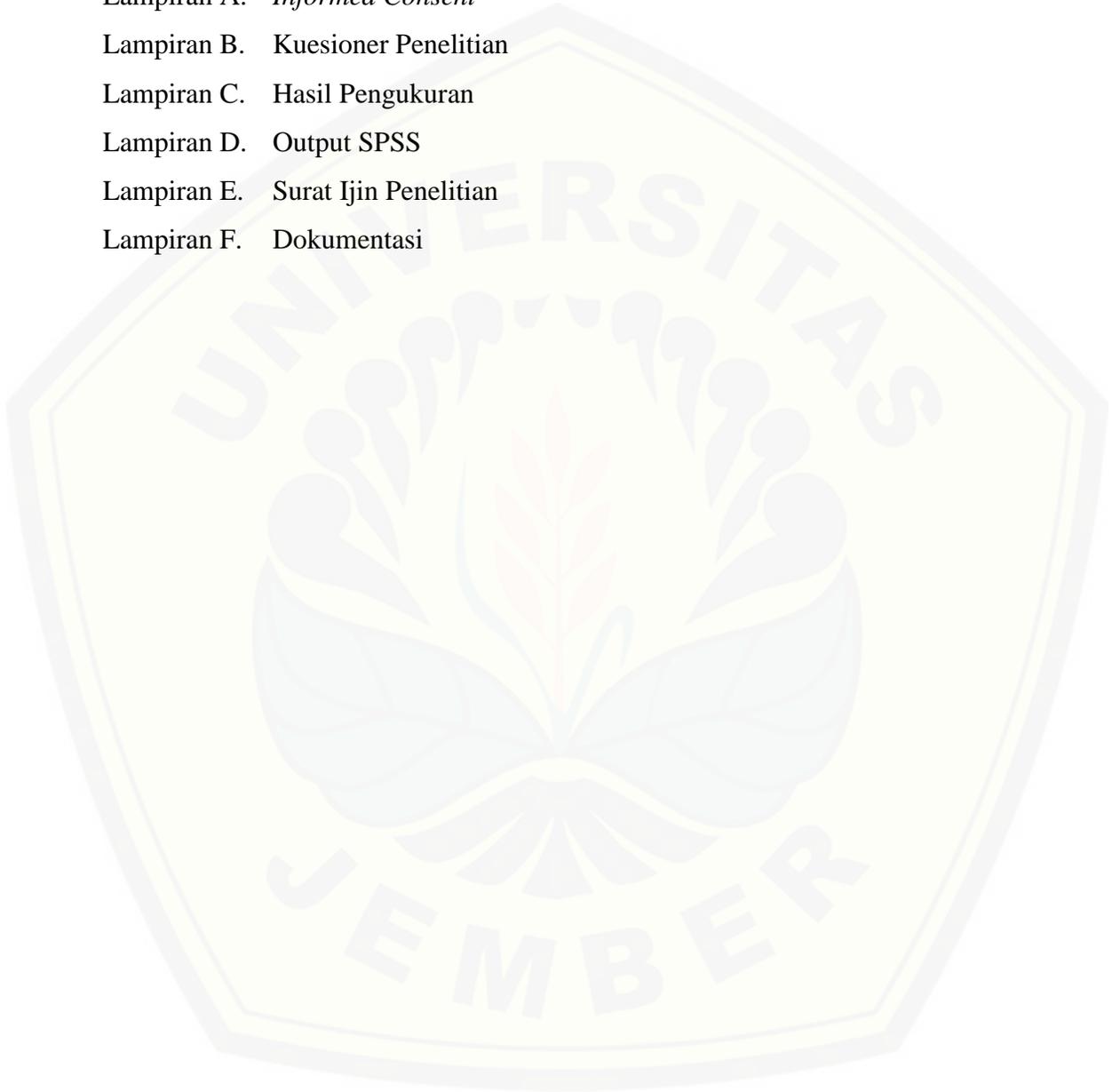
DAFTAR NOTASI



α	: alfa, taraf signifikansi
\approx	: setara dengan
+	: ditambah
/	: per, atau
<	: kurang dari
\leq	: kurang dari atau sama dengan
>	: lebih dari
\geq	: lebih dari atau sama dengan
=	: sama dengan
%	: persen
H_0	: hipotesis nihil
p	: <i>p-value</i> ; menunjukkan hasil analisis berdasarkan uji statistik
r	: koefisien korelasi
$^{\circ}\text{C}$: Derajat Celcius
n	: Besar Sampel Minimum
N	: Besar Populasi
$Z_{1-\alpha/2}$: Nilai Distribusi Normal Baku (Table Z)
d	: Kesalahan (Absolute) Yang Dapat Ditolelir
C	: Jumlah Seluruh <i>Cluster</i> Di Populasi
σ^2	: $\Sigma(a_i - m_i P)^2 / (C' - 1)$ dan $P = \Sigma a_i / \Sigma m_i$
a_i	: Banyak Elemen Yang Masuk Criteria Pada <i>Cluster</i> Ke- i
m_i	: Banyaknya Elemen Pada <i>Cluster</i> Ke- i
C'	: Jumlah <i>Cluster</i> Sementara ()
P	: Nilai Proporsi

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A. *Informed Consent*
- Lampiran B. Kuesioner Penelitian
- Lampiran C. Hasil Pengukuran
- Lampiran D. Output SPSS
- Lampiran E. Surat Ijin Penelitian
- Lampiran F. Dokumentasi



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan proses pengikat metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan ketika logam dalam keadaan cair. Proses mencairkan logam menggunakan energi panas yang dialirkan pada bagian logam yang ingin disambung. Kemudian proses penyambungan logam dapat dilakukan dengan atau tanpa tekanan. Sejalan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, berbagai cara pengelasan baru telah dikembangkan sehingga boleh dikatakan hampir tidak ada logam yang tidak dapat dipotong dan dilas dengan cara – cara yang ada pada waktu ini (Wirjosumatro dan Okumura, 2014).

Pekerjaan pengelasan juga banyak mengandung bahaya dan risiko terhadap kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Pekerjaan ini berhubungan dengan penggunaan alat pengelasan yang menghasilkan potensi bahaya diantaranya *fumes*, radiasi (*welding radiation*), kebakaran dan ledakan (*explosion and fire*), kebisingan (*noise*), bahaya listrik (*electrical hazards*), medan listrik, medan magnet (*electric and magnetic fields / EMF*) dan bahaya lainnya. Semua keadaan yang dapat menimbulkan bahaya seperti kebakaran dan penyakit akibat kerja (PAK) seperti gangguan pernafasan, sakit mata atau bahkan bisa menimbulkan kebutaan.

Panas dan energi yang dihasilkan oleh pengelasan akan menyebabkan berbagai reaksi fisika dan kimia. Secara umum bahaya pengelasan hanya ada dua yaitu bahaya fisika (*physical hazards*) dan bahaya kimia (*chemical hazard*). Bahaya fisik antara lain, *shock* aliran listrik, radiasi gelombang elektromagnetik, bahaya kebakaran, bahaya ledakan, partikel panas yang berterbangan, kebisingan, bahaya ergonomi dan bahaya mekanik. Bahaya kimia antara lain *welding fume*, asetilen (C_2H_2), LPG (*Liquified Petroleum Gas*), ozon (O_3), fosgen ($COCl_2$), karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) (Siswanto, 1991). Menurut Wirjosumatro dan

Okumura (2014) gas- gas berbahaya dalam pengelasan adalah gas karbon monoksida, gas karbon dioksida , gas ozon, nitrogen monoksida dan nitrogen dioksida.

Pengelasan menghasilkan sisa berupa debu asap las (*welding fume*) dan gas. Debu dalam asap las (*welding fume*) besarnya berkisar antara 0,2 μm sampai dengan 3 μm . Debu asap pengelasan (*welding fume*) dengan ukuran 5 μm atau lebih bila terhisap akan tertahan di bulu hidung dan pipa pernapasan sedangkan debu asap las (*welding fume*) yang lebih halus akan terbawa masuk ke paru-paru dimana sebagian dihembuskan dan debu asap las (*welding fume*) yang tertinggal akan melekat pada kantong udara di paru-paru dan dapat menimbulkan banyak penyakit seperti sesak napas dan lainnya. Salah satu gas yang berbahaya dari pengelasan adalah gas karbon monoksida (CO). Gas karbon monoksida (CO) merupakan hasil samping penguraian dari bahan-bahan pengelasan dari asetilen. Pemaparan gas CO terlalu lama juga bisa mengakibatkan penyakit paru (Wirjosumatro dan Okumura, 2014). *Welding fume* yang dihasilkan dari pengelasan antara lain adalah oksida kadmium, oksida besi, oksida, oksida tembaga, kromat, flourida, mangan, timah hitam, oksida seng (Siswanto, 1991).

Dampak pengelasan pada kesehatan (*health effects*) dapat dikategorikan menjadi dampak jangka pendek (*short-term / acute health effects of welding*) dan dampak jangka panjang (*long-term / chronic health effects of welding*) (Siswanto, 1991). Dampak jangka pendek antara lain adanya *metal fumes fever*, iritasi, dampak pada pencernaan (*gastrointestinal effects*) sampai kematian. Dampak jangka panjang diantaranya masalah pernapasan, gangguan saraf, penyakit jantung, penyakit kulit, dan peningkatan risiko kanker. Dampak jangka panjang bagi kesehatan juga dapat mengakibatkan penyakit akibat kerja yang disebabkan oleh pemajanan di lingkungan kerja. Selain pekerja pengelasan itu sendiri, bahaya pengelasan juga bisa mengenai orang yang berada disekitar lingkungan bengkel las, sebagai contoh sederhana penglihatan seseorang bisa terganggu apabila terkena percikan api pengelasan (Suharno, 2008).

Penurunan kapasitas paru merupakan salah satu gejala terjadinya gangguan fungsi paru bila dibiarkan terus menerus tanpa adanya tindakan preventif yang dilakukan, hal tersebut bisa menjadi potensi penyakit akibat kerja seperti *pneumoconiosis* akibat penumpukan debu pada paru. Menurut Prasetyo (2010), hasil penelitian yang dilakukan pada pekerja las di Pisangan Ciputat diketahui bahwa pekerja las yang mengalami restriksif sebanyak 14 pekerja (37,8%) dari 37 pekerja. Berbagai studi tentang partikulat asap pengelasan yang berhubungan dengan gangguan pernafasan antara lain menurut penelitian Amelia (2010) bahwa efek pernafasan terlihat pada pekerja pengelasan yang bekerja penuh diantaranya bronkitis, iritasi saluran nafas, *fume fever*, perubahan fungsi paru dan meningkatkan kemungkinan timbulnya kanker paru. Menurut Buchari (2007) penyakit paru dan saluran pernapasan (*bronkhopulmoner*) yang disebabkan oleh debu dan logam keras merupakan salah satu penyakit yang timbul akibat hubungan kerja. Selain itu, lingkungan kerja yang panas dan ventilasi buruk akan berkontribusi besar untuk meningkatkan *fumes* dan gas yang dihasilkan serta dapat terhirup oleh tenaga kerja.

Pengelasan yang terdapat di Kecamatan Ngagel Surabaya merupakan industri kecil, seperti yang diketahui pekerja industri kecil kurang mendapatkan perhatian mengenai risiko penyakit akibat kerja baik dari pemilik usaha maupun dari pemerintah. Berdasarkan hasil dari survey pendahuluan terdapat berbagai faktor risiko yang bisa mengakibatkan terjadinya penyakit akibat kerja seperti kebiasaan pekerja yang tidak menggunakan alat pelindung diri pernapasan ketika bekerja (*chemical respiratory*), kacamata pelindung yang sesuai dengan pengelasan (*full face mask*), bekerja sambil merokok, serta jam kerja yang lebih dari 8 jam sehari dengan masa kerja lebih dari 5 tahun, sehingga pekerja berisiko terhadap terjadinya gangguan faal paru.

Berdasarkan dari latar belakang maka peneliti ingin mengetahui lebih lanjut mengenai paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang maka dapat dirumuskan masalah penelitian yaitu: apakah ada hubungan paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menganalisis paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Menganalisis hubungan karakteristik individu meliputi umur, lama paparan, masa kerja, kebiasaan merokok, status gizi, penggunaan APD dengan paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.
- b. Menganalisis hubungan paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.
- c. Menganalisis hubungan kondisi suhu dan kelembaban dengan paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat Teoritis

Secara teoritis hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan kesehatan masyarakat khususnya bidang kesehatan dan keselamatan

kerja terkait masalah paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbonmonoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

1.4.2 Manfaat Praktis

a. Bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai literatur di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember dan sebagai referensi untuk pihak yang akan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbonmonoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

b. Bagi Peneliti

Melalui penelitian yang dilakukan diharapkan, peneliti dapat menambah pengetahuan dan pengalaman peneliti dalam melakukan penelitian paparan debu asap las (*welding fume*) dan gas karbonmonoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

c. Bagi Tempat Kerja Terkait

Penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan masukan dan pertimbangan untuk penyelenggaraan sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di tempat kerja terutama di pengelasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian

2.1.1 Pengelasan

Las menurut *Deutche Industrie Normen* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam dan panduan yang dilaksanakana dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumatro dan Okumura, 2014).

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas

2.1.2 Cara Kerja Pengelasan

Secara konvensional pengklasifikasian cara-cara pengelasan dibagi dalam dua golongan yaitu, klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lain. Klasifikasi kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan lain-lain. Diantara kedua klasifikasi tersebut tersebut di atas, klasifikasi berdasar cara kerja lebih banyak digunakan.

Berdasarkan cara kerjanya pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama, yaitu (Wiryosumatro dan Okumura, 2014).:

- a. Pengelasan cair adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

- b. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- c. Pematrian adalah cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

Terdapat dua cara pengelasan yang paling banyak digunakan pada waktu ini, diantaranya:

- a. Pengelasan dengan gas

Pengelasan dengan gas dilakukan dengan membakar gas dengan menggunakan O_2 , sehingga menimbulkan nyala api pada suhu yang dapat mencairkan logam induk dan pengisi. Sebagai bahan bakar dapat digunakan gas : asetilen, propana, H_2 . Bahan yang paling banyak digunakan adalah asetilen.

- b. Pengelasan dengan busur listrik (las busur nyala)

Pengelasan dengan busur listrik menimbulkan panas digunakan untuk melelehkan/melumerkan bagian-bagian benda yang akan disambung, di mana untuk mendapatkan busur nyala adalah dengan mengontakkan elektroda (arus +) dengan benda berarus (-) (benda yang akan dilas). Setelah arus listrik mengalir dari elektroda ke benda kerja, maka kontak arus diputuskan dengan menarik elektroda sedikit di atas benda kerja sehingga jarak antara elektroda dari benda kerja tersebut menimbulkan busur nyala. Temperatur yang timbul dari busur nyala listrik tergantung pada jenis elektroda yang digunakan, di mana untuk elektroda karbon menghasilkan temperatur sekitar $3.900^{\circ}C$ dan elektroda logam sekitar $2.400^{\circ}C$ - $2.600^{\circ}C$ (Wiryosumatro dan Okumura, 2014).

2.1.3 Jenis Proses Pengelasan

Jenis-jenis proses pengelasan dibedakan menjadi:

a. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) disebut juga las busur listrik dengan elektroda bersangkutan, yaitu pengelasan busur menggunakan elektroda logam yang terbungkus *fluks*. Yang dimaksud dengan *fluks* adalah bahan pembungkus elektroda yang berfungsi sebagai penyekat/isolator. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda, oleh karena panas dari busur tersebut maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair kemudian membeku bersama-sama.

b. *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah suatu pengelasan busur listrik menggunakan kawat elektroda yang dilindungi gas dimana pada proses pengelasan dialirkan gas ke sekitar las untuk melindungi busur dan logam yang mencair. Macam-macam gas yang digunakan antara lain: karbondioksida, argon dan helium. GMAW biasanya digunakan untuk mengelas baja dan alumunium.

c. *Sub merged Arc Welding* (SAW)

Sub merged Arc Welding (SAW) disebut juga las busur rendam yaitu pengelasan yang menggunakan logam cair yang ditutup dengan fluks yang diatur melalui suatu penampang fluks dan logam pengisi yang berupa kawat penjal diumpan secara terus-menerus. Dalam pengelasan ini busur listriknya terendam dalam *fluks* karena dalam pengelasan ini busur listriknya tidak kelihatan maka sangat sukar untuk mengatur utuhnya ujung busur. Di samping karena menggunakan kawat elektroda yang besar maka sangat sukar memegang alat pembakar dengan tangan tepat pada tempatnya. Oleh karena kedua hal tersebut maka pengelasan dilakukan secara otomatis penuh.

d. *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW)

Suatu kelompok elektroda tak terumpan yang menggunakan batang *welfram* atau *tungsten* sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik. Kelompok elektroda tak terumpan masih dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu jenis logam pengisi dan jenis logam tanpa pengisi. Kelompok ini biasanya menggunakan gas mulia

sebagai pelindung, sehingga secara keseluruhan nama kelompok ini menjadi las *welfram* gas mulia atau disebut juga *Tungsten Inert Gas Welding* (TIG).

Pada jenis ini logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan arus terbawa ke logam induk. Akan tetapi untuk mengelas plat yang sangat tipis kadang-kadang tidak diperlukan logam pengisi.

2.1.4 Bahaya Pengelasan

Secara umum, bahaya las dapat diklasifikasikan menjadi:

a. Bahaya Fisik (*Physical Hazard*)

Salah satu bahaya fisik adalah adanya bahaya radiasi terhadap kesehatan. Suhu yang dihasilkan pada las busur listrik dapat mencapai 12.000°F , dan keadaan ini dapat menyebabkan timbulnya radiasi inframerah dan ultraviolet (UV). Sebagian radiasi ini akan diserap oleh uap dan asap yang dihasilkan dari pembakaran pembungkus elektroda pada proses pengelasan logam dengan busur listrik. Efek sekunder dari radiasi UV adalah dapat menyebabkan transisi kimia (*chemical transition*) melalui fotoionisasi. Radiasi UV akan dapat menyebabkan disosiasi (*dissociation*) pada molekul-molekul oksigen sehingga terbentuk gas ozon pada panjang gelombang 170–220 nm. Radiasi ini akan menyebabkan putusannya ikatan N-N (gas nitrogen) dan membentuk gas NO (*nitric oxide*) serta NO₂ (*nitrogen dioxide*) pada panjang gelombang 130–190 nm. Dengan cara yang sama, zat-zat hidrokarbon yang mengandung unsur klor (*chlorinated hydrocarbons*) dapat mengalami proses degradasi termal (*thermal degradation*) dan membentuk gas fosgen (COCl₂) (Siswanto, 1991).

b. Bahaya Kimia (*Chemical Hazard*)

Beberapa bahaya kimia dari proses pengelasan, antara lain:

- 1) Karbon Dioksida (CO₂) ; NAB = 5000 ppm (STEL = 30.000 ppm). Gas CO₂ merupakan *simple asphyxiant* gas dengan efek pada tubuh stimulasi pada pernafasan dan sistem syaraf pusat. Gejala-gejala keracunan karbon dioksida

adalah sakit kepala, sesak nafas, mengeluarkan banyak keringat, kesemutan, badan lemas, kehilangan kesadaran sampai kematian (WHO, 2005).

- 2) Karbon Monoksida (CO) ; NAB = 25 ppm atau 29 mg/m³ menurut Permenakertrans Nomor 13 tahun 2011. Gas yang memiliki sifat tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa yang mempunyai potensi sifat racun yang berbahaya, karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen hemoglobin (Ebenezer *et all*, 2006). Gas CO yang terdapat dialam terdapat dari beberapa proses antara lain: pembakaran yang tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon, reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi merupakan hasil dari pembakaran tidak sempurna dari asetilen. Karbon monoksida dalam tubuh akan mengikat hemoglobin dan membentuk kompleks *karboksihemoglobin* (HbCO) serta menghambat kerja *sitrokrom oksidase* dan daya ikat CO terhadap hemoglobin kurang lebih 210-240 kali dari afinitas oksigen terhadap hemoglobin. Gejala-gejala keracunan CO adalah sakit kepala yang hebat, pusing, penglihatan kabur, mual, muntah, pingsan, denyut nadi, frekuensi pernafasan meningkat, koma dan kejang. Pada kadar 90-100 % penderita akan meninggal dalam waktu beberapa menit saja (WHO, 2005). Tanda- tanda keracunan akut gas CO tergantung dari kadar CO dalam udara lamanya paparan, pekerjaannya, dan kerentanan individu. Pada kadar 10.000-40.000 ppm (1- 4 %) pemaparan gas akan menyebabkan kematian, pada kadar 1000–10.000 ppm inhalasi gas CO akan menyebabkan antara lain: (sakit kepala, mual dalam waktu 13- 15 menit) akan terjadi kehilangan kesadaran dan kematian bila terpapar terus menerus dalam waktu 10–45 menit. Pada kadar 500 ppm pemaparan gas CO selama 20 menit menyebabkan sakit kepala, dan juga terpapar dalam waktu 50 menit akan menyebabkan pusing (Siswanto, 1994). Tanda-tanda dan gejala keracunan pada kadar COHb dalam darah yang berbeda anatara lain:

Tabel 2.1 Tanda- tanda dan gejala keracunan pada kadar COHb yang berbeda

Kadar COHb (%)	Tanda- tanda dan gejala- gejala
0,3 - 0,7	Tidak ada tanda- tanda dan gejala keracunan.
2,5 – 5	Tidak ada gejala keracunan namun aliran darah meningkat pada organ tertentu. Pada penderita <i>Angina Pectoris</i> akan terasa nyeri pada dada.
10 – 20	Dahi terasa penuh, sakit kepala ringan, sesak napas ringan saat beraktivitas, para penderita penyakit jantung yang berat mungkin dapat meninggal.
20 – 30	Sakit kepala sedang, muka merah, mual- mual.
30 – 40	Kepala terasa berat sekali, vertigo, mual, muntah badan terasa lemah, mudah tersinggung, pingsan bila melakukan aktivitas fisik.
40 – 50	Sama seperti diatas namun geja yang timbul lebih berat dan pingsan.
50 – 60	Kehilangan kesadaran (<i>coma</i>) disertai kejang dan pernafasan yang tidak teratur.
60 – 70	Koma (<i>coma</i>) disertai kejang, depresi pada pernafasan dan jantung serta kematian yang mungkin terjadi.
70 – 80	Denyut jantung lemah dan pernafasan menjadi lambat. Depresi pada pusat pernafasan yang menyebabkan penderita meninggal.

Sumber : *International Labour Office, 1983*

- 3) Asetilen (C_2H_2) ; NAB = 1000 ppm. Asetilen merupakan gas asfiksia, pada kadar yang tinggi asetilen dapat menyebabkan iritasi pada sistem syaraf pusat. Gejala-gejala keracunan adalah pusing, sakit kepala, mual, *cyanosis*, iritasi pada system syaraf pusat, kesadaran menurun, dan pada akhirnya penderita koma.
- 4) Nitrogen Dioksida (NO_2) ; NAB = 3 ppm (STEL = 5 ppm). NO_2 adalah gas berwarna coklat kemerahan, lebih berat dari udara, tidak mudah terbakar, sedikit larut dalam air, oksidator kuat. Efek lokal adalah iritasi pada mata, iritasi pada saluran pernafasan bawah, perubahan warna kulit dan gigi, efek sistemik adalah iritasi pada paru, dan kerusakan pada bronkhi (WHO, 2005).
- 5) *Nitric Oxide* (NO) ; NAB = 50 ppm. *Nitric Oxide* merupakan gas yang tidak berwarna, di udara NO akan dioksidasi secara spontan menjadi nitrogen dioksida, dan proses oksidasi ini berlangsung secara lambat. NO bersifat tidak mudah terbakar, lebih berat dari udara, dalam tubuh NO akan mengikat hemoglobin dan membentuk *NOHb* (*Methemoglobin*). NO juga merupakan oksidator yang sangat kuat (WHO, 2005).

- 6) Ozon (O_3) ; NAB = 0,1 ppm untuk pekerjaan ringan, 0,08 ppm untuk pekerjaan sedang, dan 0,05 ppm untuk pekerjaan berat. Ozon berupa gas berwarna kebiru-biruan, baunya sangat tajam, merupakan oksidator yang kuat, dan lebih berat dari udara. Ozon merupakan gas iritan pada saluran pernafasan atas dan dapat menyebabkan rasa kering pada tenggorokan. Ozon dapat menyebabkan pusing, sakit kepala, rasa terbakar pada mata pada tingkat paparan yang lebih tinggi. Pada keracunan yang berat dapat menyebabkan sembab paru. Pada kadar 0,6-0,8 ppm dalam paparan selama 2 jam akan menyebabkan faal paru terganggu.
- 7) Debu Asap Las (*Welding Fume*). *Fumes* adalah partikel zat padat yang berukuran sangat kecil (< 1 mikron) dan terbentuk bila logam dipanaskan. Uap logam yang terbentuk kemudian akan mengalami kondensasi dan oksidasi dalam udara sehingga terbentuk oksida dari logam tersebut. Kebanyakan dari proses pengelasan menggunakan bahan fluks untuk membungkus elektroda (*coated electrodes*). Debu dalam asap las besarnya sekitar $0,2\mu m - 0,3\mu m$. Distribusi ukuran debu asap las timbul dari elektroda jenis ilmenit dan hidrogen rendah. Pada debu asap las pada ukuran $0,5 \mu m$ atau lebih bisa terhisap dan tertahan dibulu hidung dan debu asap las yang lebih halus akan masuk kedalam paru-paru (Wiryosumarto dan Okumura, 2014). Nilai ambang batas debu asap las menurut ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) tahun 1974 adalah $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ yang sudah banyak dianut oleh negara – negara lain serta nilai ambang batas berdasarkan Permenakertrans Nomor 13 tahun 2011 sebesar $10 \text{ mg}/\text{Nm}^3$. Pada saat pengelasan berlangsung, *fluks* tersebut akan mencair dan membentuk terak dan membentuk terak dan kemudian terak ini akan menutupi logam yang mencair yang terdapat di tempat penyambungan. *Fluks* tersebut berfungsi sebagai bahan penghambat proses oksidasi. Pada pengelasan dengan elektroda-elektroda ini, berbagai jenis *fumes* dari *coated electrodes* akan

dilepaskan ke dalam udara tempat kerja. Sebagai bahan *fluks* digunakan *titanium oksida, kalsium karbonat, ferro mangan, mangan dioksida, kalium atau natrium silikat* dan lain-lain.

- 8) Kadmium (*Cadmium Oxide Fumes*) ; NAB = $0,1 \text{ mg/m}^3$. Beberapa persenyawaan kadmium organik adalah karsinogenik pada binatang percobaan (kanker ginjal dan prostat). *Fumes* dari kadmium adalah suatu zat iritan yang kuat terhadap paru dan debunya juga merupakan *pulmonary* iritan namun kemampuan untuk menyebabkan peradangan pada paru adalah lebih kecil dari *cadmium fumes* karena ukuran debu dari kadmium adalah lebih besar dari *cadmium fumes*. Pada kadar $40\text{-}50 \text{ mg/m}^3$ dan waktu pemaparan selama satu jam atau 9 mg/m^3 selama 5 jam *fumes* kadmium dapat menyebabkan kematian. Pada kadar $0,5\text{-}2,5 \text{ mg/m}^3$ dapat menyebabkan peradangan pada paru. Pada kadar yang lebih rendah, *fumes* dari kadmium dapat menyebabkan iritasi pada hidung dan tenggorokan, rasa penuh di dada, nyeri di bawah tulang dada, batuk, sesak, sakit kepala, menggigil, otot-otot terasa sakit, mual dan muntah gejala-gejala ini timbul setelah 4-5 jam.
- 9) Oksida Besi (Fe_2O_3) ; NAB = 5 mg/m^3 . Inhalasi *fumes* atau debu dari oksida besi dapat menyebabkan siderosis. Suatu studi yang dilakukan pada 25 orang pekerja las yang terpapar *fumes* oksida besi pada kadar berkisar antara 0.65 dan kadar 47 mg/m^3 dengan masa kerja rata-rata 18,7 tahun telah menemukan bahwa 8 dari 25 pekerja tersebut menderita siderosis dan mereka yang menderita siderosis ini tidak menunjukkan kelainan faal paru. Oksida besi (III) diduga dapat menyebabkan kanker pada hati, jaringan ikat, saluran pernafasan, dan jaringan retikuloendotelium.
- 10) Kromat (CrO_4) ; NAB = $0,05 \text{ mg/m}^3$. Kromat adalah persenyawaan krom bervalensi VI dan zat ini adalah tergolong iritan kuat. Kromat merupakan *fumes* yang dihasilkan pada *shielded metal-arc welding* yang menggunakan *high-alloy* dan *stainless steel electrodes* dapat mengandung sampai 6 % kromat. Pada pemaparan yang menahun, kromat yang tidak larut dalam air

dapat menyebabkan kanker paru dan sinus hidung. Gejala-gejala keracunannya adalah dermatitis, borok krom, peradangan pada selaput lendir mata, *perforasi septum nasi* (pelubangan pada rongga hidung), polip hidung, *sinusitis* (radang sinus), *faringitis* (radang faring), *laringitis* (radang laring) dan *anosmia* (kelumpuhan saraf pembau), batuk, nyeri dada, sesak, *bronchitis*, peradangan pada paru.

- 11) Tembaga (*fumes*; NAB = 0,1 mg/m³ dan *dust*; NAB = 1mg/m³). Inhalasi *fumes* tembaga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan atas. *Metal fumes fever* (demam uap logam) dapat terjadi pada mereka yang terpapar partikel-partikel tembaga yang sangat halus pada kadar 0,075-0,120 mg/m³. *Fumes fever* ini ditandai dengan badan panas, menggigil, otot-otot terasa sakit, rasa kering pada mulut, dan tenggorokan serta sakit kepala. Gejala-gejala ini biasanya menghilang setelah 24-48 jam. Selain oksida tembaga oksida logam lainnya dapat pula menyebabkan *metal fumes fever* atau demam uap logam.
- 12) Fluorida (F) ; NAB = 2,5 mg/m³. Fluorida digunakan sebagai bahan fluks pada las busur rendam dan las busur logam dengan pelindung yang menggunakan elektroda hidrogen rendah. Gejala-gejala keracunannya adalah melalui inhalasi : nafsu makan berkurang, mual, muntah, sembelit, berat badan menurun, batuk, sesak nafas, rasa kaku pada sendi, sering sakit pinggang, dan *fluorosis* (tulang mengeras karena kelebihan fluor). Melalui kulit dapat menyebabkan dermatitis. Melalui saluran pencernaan mual dan muntah, kolik dan mencret, sesak dan *cyanosis*, rasa haus, otot-otot terasa lemah dan paresis, albuminuria, kesadaran menurun.
- 13) Oksida Seng ; NAB = 5mg/m³. Inhalasi oksida seng dapat menyebabkan penyakit yang menyerupai influenza yang disebut dengan “ *metal fumes fever*”. *Metal fumes fever* hanya terjadi pada pemaparan *fumes* yang baru terbentuk karena *fumes* dapat mengadakan flokulasi dalam udara sehingga terbentuk partikel-partikel yang berukuran lebih besar yang akan ditimbun

dalam saluran pernafasan atas dan tidak menggunakan penetrasi ke dalam paru.

- 14) Fosgen/*Phosgene*/ CoCl_2 ; NAB: 0,1 ppm. Fosgen adalah suatu gas iritan yang sangat kuat (*severe irritant gas*) dan mencair pada suhu 8°C . Daya larut fosgen dalam cair adalah rendah. Gas ini terbentuk bila radiasi ultraviolet yang dihasilkan pada proses pengelasan mengenai *degreasing chemicals* (zat-zat pelarut lemak) misalnya karbon tetraklorida (CCl_4) melalui proses dekomposisi (*thermal decomposition*). Pada kadar 2-3 ppm, gas ini akan menyebabkan iritasi yang ringan (*mild irritation*) pada hidung dan tenggorokan. Pada kadar 4 ppm akan menyebabkan iritasi yang segera pada mata dan pada kadar 4,8 ppm akan menimbulkan batuk. Pada kadar 50 ppm, inhalasi fosgen dapat menyebabkan kematian dalam waktu yang relatif singkat. *Pulmonary edema* (sembab paru) dapat terjadi pada tingkat paparan yang tinggi dan gejala-gejalanya (batuk, sesak, *cyanosis* dan pengeluaran dahak yang berlebihan) biasanya timbul setelah beberapa jam paparan (sampai 72 jam). Sembab paru ini dapat berkembang dan menyebabkan peradangan pada paru (*pneumonia*). Pada tingkat paparan yang sedang, gejala-gejala yang timbul diantaranya adalah rasa panas dan kering pada tenggorokan, mual, dan muntah, nyeri dada, dan sesak napas (Siswanto, 1994)
- 15) Mangan/Mangan dioksida ; NAB = $0,5 \text{ mg/m}^3 \text{ C}$. *Fumes* mangan dioksida dapat dihasilkan pada las busur listrik di mana digunakan elektroda yang mengandung mangan (Mn). Kadar mangan dalam darah dari pekerja las yang menggunakan elektroda yang mengandung mangan dapat meningkat sampai 6 kali dari kadar normal dan dalam air seni dapat mencapai 10 kali dari kadar normal. Efek mangan terutama adalah pada sistem syaraf pusat dan inhalasi oksidasi mangan dapat menyebabkan *metal fumes fever*.

2.2 Sistem Pernafasan Manusia

2.2.1 Pengertian

Sistem pernafasan atau sistem respirasi adalah sistem organ yang digunakan untuk pertukaran gas. Sistem pernafasan umumnya termasuk saluran yang digunakan untuk membawa udara ke dalam paru-paru dimana terjadi pertukaran gas. Diafragma menarik udara masuk dan juga mengeluarkannya. Berbagai variasi sistem pernafasan ditemukan pada berbagai jenis makhluk hidup (Soemantri, 2007). Pada manusia terdapat dua variasi sistem pernafasan yaitu pernafasan dada dan pernafasan perut. Pernafasan dada adalah pernafasan yang melibatkan otot antar tulang rusuk, sedangkan pernafasan perut adalah pernafasan yang melibatkan otot diafragma.

Fungsi sistem pernafasan adalah untuk mengambil oksigen (O_2) dari atmosfer ke dalam sel-sel tubuh dan untuk mentranspor karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan sel-sel tubuh kembali ke atmosfer (Sloane, 2003). Fungsi pernafasan adalah menjamin tersedianya O_2 untuk kelangsungan metabolisme sel-sel tubuh serta mengeluarkan CO_2 hasil metabolisme sel secara terus menerus (Soemantri, 2007).

2.2.2 Anatomi dan Fisiologi Saluran Pernafasan

a. Anatomi saluran pernafasan

Saluran pernafasan dibagi menjadi dua, yaitu saluran pernafasan bagian atas dan saluran pernafasan bagian bawah.

1) Anatomi saluran nafas bagian atas antara lain:

- a) Rongga hidung, berbentuk piramid disertai dengan suatu akar dan dasar. Bagian ini tersusun dari pleksus venosus, kelenjar lendir, sinus-sinus dan rambut getar dimana tiap-tiap bagian ini mempunyai fungsi sebagai berikut:
 1. Pleksus venosus, merupakan anyaman dari pembuluh darah yang saling berhubungan. Pleksus venosus ini berfungsi untuk pernafasan

udara atmosfer yang masuk melalui hidung. Jika pleksus venosus ini membengkak maka dapat mengakibatkan rasa sesak pada penderita.

2. Kelenjar lendir, berfungsi untuk mengatur kelembaban udara dan menangkap partikel-partikel yang masuk ke dalam rongga hidung.
 3. Sinus-sinus, bermanfaat untuk memperluas permukaan rongga hidung sedemikian rupa sehingga proses pembasahan dan pembersihan udara atmosfer dapat berlangsung dengan baik.
 4. Rambut getar berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang terdapat dalam udara pernafasan. Partikel-partikel yang berukuran lebih dari 20 mikron hampir semua akan tersaring di rongga hidung (Sloane, 2003).
- b) Sinus Paranasalis, merupakan daerah yang terbuka pada tulang kepala. Dinamakan sesuai dengan tulang tempat dia berada yaitu sinus frontalis, sinus ethmoidalis dan sinus maxillaris. Sinus berfungsi untuk (Soemantri, 2007):
1. Membantu menghangatkan dan humidifikasi
 2. Meringankan berat tulang tengkorak
 3. Mengatur bunyi suara manusia dengan ruang resonansi
- c) Faring, merupakan tempat persimpangan antara saluran pernafasan dengan saluran pencernaan. Pada saat makan melalui faring, secara reflek laring akan ditarik keatas dan kemudian ditekan pada pangkal lidah sehingga epiglotis akan menutup saluran pernafasan. Faring berbentuk tabung muskular berukuran 12,5 cm yang merentang dari bagian dasar tulang tengkorak sampai esofagus. Faring terbagi menjadi nasofaring, orofaring dan laringofaring (Sloane, 2003).
- d) Laring, berfungsi untuk pembentukan suara, sebagai proteksi jalan nafas bawah dari benda asing dan untuk memfasilitasi proses terjadinya batuk. Laring terdiri atas (Soemantri, 2007):

1. Epiglottis: katup kartilago yang menutup dan membuka selama menelan.
 2. Glotis: lubang antara pita suara dan laring
 3. Kartilago tiroid: kartilago yang terbesar pada trakea, terdapat bagian yang membentuk jakun
 4. Kartilago krikoid: cincin kartilago yang utuh dilaring (terletak di bawah kartilago tiroid)
 5. Kartilago aritenoid: digunakan pada pergerakan pita suara bersama dengan kartilago tiroid
 6. Pita suara: sebuah ligamen yang dikontrol oleh pergerakan otot yang menghasilkan suara dan menempel pada lumen laring.
- 2) Anatomi saluran pernafasan bagian bawah

a) Trakea

Tuba dengan panjang 10 cm sampai 12 cm dan berdiameter 2,5 cm serta terletak diatas permukaan anterior esofagus. Tuba ini merentang dari laring pada area vertebrata serviks keenam sampai area vertebra toraks kelima tempatnya membelah menjadi dua bronkus utama. Pada trakea terdapat rambut-rambut getar dan sel goblet yang berfungsi untuk memproduksi mukus. Partikel-partikel yang masuk ke trakea akan menempel pada mukus dan dikeluarkan oleh rambut getar melalui reflek batuk (Sloane, 2003).

b) Bronkhus dan bronkiolus

Bronkhus primer (utama) lebih pendek, lebih tebal, dan lebih lurus dibandingkan bronkhus primer kiri karena arkus aorta membelokkan trakea bawah ke kanan. Objek asing yang masuk ke dalam trakea kemungkinan di tempatkan dalam bronkhus kanan. Setiap bronkhus primer bercabang 9 sampai 12 kali membentuk bronkhus sekunder dan tersier dengan diameter yang semakin kecil. Saat tuba semakin menyempit, batang atau lempeng kartilago mengganti cincin kartilago. Bronkhus disebut ekstrapulmonar

sampai memasuki paru-paru, setelah itu disebut intrapulmonar. Struktur mendasar dari kedua paru-paru adalah percabangan bronkhus yang selanjutnya: bronkhus, bronkiolus, bronkiolus terminal, bronkiolus respiratorik, duktus alveolar, dan alveoli. Tidak ada kartilago dalam bronkiolus, silia tetap ada sampai bronkiolus respiratorik terkecil (Slone, 2003).

c) Alveoli

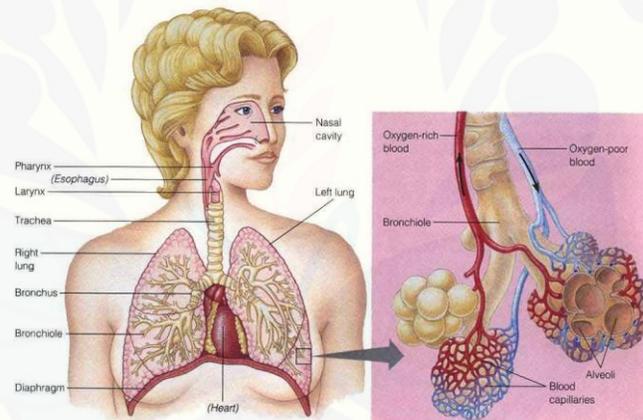
Parenkim paru merupakan area yang aktif bekerja dari jaringan paru-paru. Parenkim tersebut mengandung berjuta-juta unit alveolus. Alveoli merupakan kantong udara yang berukuran sangat kecil dan merupakan akhir dari bronkiolus respiratorius sehingga memungkinkan pertukaran O_2 dan CO_2 (Soemantri, 2007).

d) Paru

Paru-paru terletak pada rongga dada berbentuk kerucut yang ujungnya berada di atas tulang iga pertama dan dasarnya berada pada diafragma. Paru-paru kanan mempunyai tiga lobus sedangkan paru-paru kiri mempunyai dua lobus. Kelima lobus tersebut dapat terlihat dengan jelas. Paru-paru kanan dan kiri dipisahkan oleh ruang yang disebut mediastinum. Jantung, aorta, vena cava, pembuluh paru-paru, esofagus, bagian dari trakhea dan bronkhus, serta kelenjar timus terdapat pada mediastinum.

Hilus paru-paru dibentuk oleh beberapa struktur yaitu arteri pulmonalis yang mengembalikan darah tanpa oksigen ke dalam paru-paru untuk diisi oksigen. Vena pulmonalis yang mengembalikan darah berisi oksigen dari paru-paru ke jantung. Bronkhus yang bercabang dan beranting membentuk pohon bronchial merupakan jalan utama. Arteri bronchiali keluar dari aorta dan mengantarkan darah ke arteri ke jaringan paru-paru. Vena bronchialis mengembalikan sebagian darah dari paru-paru ke vena kava superior, dan pembuluh limfe.

Fungsi paru-paru adalah pertukaran gas oksigen dan karbondioksida. Pada pernafasan melalui paru-paru atau pernafasan eksternal, oksigen diambil melalui hidung dan mulut. Pada waktu bernafas oksigen masuk melalui trakea dan pipa bronhiali alveoli dan erat hubungannya dengan darah di dalam kapiler pulmonaris. Di dalam paru-paru karbondioksida, salah satu hasil buangan metabolisme menembus membran alveolar-kapiler dari kapiler darah ke alveoli, dan setelah melalui pipa bronchial dan trakea, dihembuskan keluar melalui hidung dan mulut melalui pipa bronchial dan trakea, dihembuskan keluar melalui hidung dan mulut (Price dan Wilson, 1995).



Gambar 2.1 Sistem pernafasan manusia (Arsyad, 2011)

e) Dada, diafragma, dan pleura

Tulang dada berfungsi melindungi paru-paru, jantung dan pembuluh darah besar. Bagian luar rongga dada terdiri atas 12 pasang tulang iga. Diafragma terletak di bawah rongga dada. Diafragma berbentuk seperti kubah pada keadaan relaksasi. Pengaturan saraf diafragma terdapat pada susunan saraf spinal pada tingkat C3, sehingga jika terjadi kecelakaan pada saraf C3 akan menyebabkan gangguan ventilasi. Pleura merupakan membrane serosa yang menyelimuti paru-paru. Pleura ada dua macam yaitu pleura parietal yang bersinggungan dengan rongga dada (lapisan luar

paru-paru) dan pleura visceral yang menutupi setiap paru-paru (lapisan dalam paru-paru) (Soemantri, 2007).

b. Fisiologis Proses Respirasi

- 1) Ventilasi pulmonar (pernafasan) adalah jalan masuk dan keluar udara dari saluran pernapasan dan paru-paru.
- 2) Respirasi eksternal adalah difusi O_2 dan CO_2 antara udara dalam paru dan kapilar pulmonar.
- 3) Respirasi internal adalah difusi O_2 dan CO_2 antara sel darah dan sel-sel jaringan
- 4) Respirasi selular adalah penggunaan O_2 oleh sel-sel tubuh untuk produksi energi dan pelepasan produk oksidasi (CO_2 dan air) oleh sel-sel tubuh (Sloane, 2003).

2.2.3 Volume dan Kapasitas Fungsi Paru

a. Volume Paru

Ada empat jenis volume paru yang masing-masing berdiri sendiri-sendiri, tidak saling tercampur. Arti dari masing-masing volume paru tersebut adalah sebagai berikut (Slone, 2003) :

1) Volume Tidal

Volume Tidal (*Tidal Volume* = TV) yaitu volume udara yang masuk dan keluar paru-paru selama ventilasi normal biasa. Volume tidal pada dewasa muda sehat berkisar 500 ml untuk laki-laki dan 380 ml untuk perempuan.

2) Volume Cadangan Inspirasi

Volume Cadangan Inspirasi (*Inspiratory Reserve Volume* = IRV) yaitu volume udara ekstra yang masuk ke paru-paru dengan inspirasi maksimum diatas inspirasi tidal. IRV berkisar 3100 ml pada laki-laki dan 1900 pada perempuan.

3) Volume Cadangan Ekspirasi

Volume Cadangan Ekspirasi (*Expiratory Reserve Volume* = ERV) yaitu volume ekstra udara yang dapat dengan kuat dikeluarkan pada akhir ekspirasi tidal normal. ERV biasanya berkisar 1200 ml pada laki-laki dan 800 pada perempuan.

4) Volume Residu

Volume Residu (*Residual Volume* = RV) yaitu volume udara sisa dalam paru-paru setelah melakukan ekspirasi kuat. Volume residual penting untuk kelangsungan aerasi dalam darah saat jeda pernafasan. Rata-rata 1200 ml dan pada perempuan 1000 ml.

b. Kapasitas Fungsi Paru

Untuk menguraikan peristiwa-peristiwa dalam siklus paru, kadang perlu menyatukan dua atau lebih volume diatas. Berbagai kapasitas baru yang penting yang dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Kapasitas Inspirasi (*Inspiratory Capacity* = IC) sama dengan volume tidal ditambah volume cadangan inspirasi. Ini adalah jumlah udara (kira-kira 3500) yang dapat dihirup oleh seseorang dimulai dari tingkat ekspirasi normal dan ($IC = IRV + TV$).
- 2) Kapasitas Vital (*Vital Capacity* = VC) sama dengan volume cadangan inspirasi ditambah volume tidal dan volume cadangan inspirasi ini adalah jumlah udara maksimum yang dapat dikeluarkan seseorang dari paru, setelah terlebih dahulu mengisi paru secara maksimum dan kemudian mengeluarkan sebanyak-banyaknya (kira-kira 4600 ml). ($VC = IRV + ERV + TV$).
- 3) Kapasitas Paru Total (*Total Lung Capacity* = TLC) adalah volume maksimum yang dapat mengembangkan paru sebesara mungkin dengan inspirasi sekuat mungkin (kira-kira 5800 ml). Kapasitas vital ditambah volume sisa ($TLC = VC + RV$ atau $TLC = IC + ERV + RV$).

- 4) Kapasitas Residu Fungsional (*Functional Residual Capacity* = FRC) sama dengan volume cadangan ekspirasi ditambah volume residu. Ini adalah jumlah yang tersisa dalam paru akhir ekspirasi normal (kira-kira 2300 ml). ($FRC = ERV + RV$).

Volume dan kapasitas seluruh paru pada wanita kira-kira 20 sampai 25 persen lebih kecil dari pada pria dan lebih lagi pada orang yang atletis dan bertubuh besar dari pada orang yang bertubuh kecil dan astenis (Guyton & Hall, 2008).

2.2.4 Pengukuran Faal Paru

Pemeriksaan fungsi paru sangat dianjurkan bagi tenaga kerja, yaitu menggunakan spirometer dengan alasan spirometer lebih mudah digunakan, biaya murah, ringan praktis, bisa dibawa kemana-mana, tidak memerlukan tempat khusus, cukup sensitif, akurasinya tinggi, tidak invasif dan cukup dapat memberi sejumlah informasi handal (Yunus, 2006). Dengan pemeriksaan spirometri dapat diketahui semua volume paru kecuali volume residu, semua kapasitas paru kecuali kapasitas paru yang mengandung komponen volume residu. Interpretasi dari hasil spirometri biasanya langsung dapat dibaca dari *print out* setelah hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai prediksi sesuai dengan tinggi badan, umur, berat badan, jenis kelamin dan ras yang datanya telah terlebih dahulu dimasukkan kedalam spirometer sebelum pemeriksaan dimulai.

Pasien diminta untuk menghirup nafas sedalam-dalamnya dan kemudian menghembuskannya secara cepat dan keras ke katup dari alat tersebut. Kekuatan hembusan nafas akan mendorong cakram pada tabung spirometer terangkat dan menunjukkan kapasitas paru. Pemeriksaan faal paru yang sederhana, cukup sensitif dan bersifat reproduksibel serta digunakan secara luas adalah pemeriksaan kapasitas vital paksa (*Force Vital Capacity* = VC) dan volume ekspirasi paksa detik pertama (*Forced Expiratory Volume in 1 Second* = FEV1). Dengan demikian dapat diketahui gangguan fungsional ventilasi paru dengan jenis gangguan yang digolongkan menjadi 2 bagian yaitu:

- a. Gangguan faal paru obstruktif, yaitu hambatan pada aliran udara yang ditandai dengan penurunan VC dan FVC/FEV1.
- b. Gangguan faal paru restriktif adalah hambatan pada pengembangan paru yang ditandai dengan penurunan pada VC, RV dan TLC.

Mukono (2008) berpendapat bahwa dari berbagai pemeriksaan faal paru, yang sering dilakukan adalah:

- a. *Vital Capacity* (VC) adalah volume udara maksimal yang dapat dihembuskan setelah inspirasi maksimal. Ada 2 macam vital capacity berdasarkan cara pengukurannya, yaitu: 1) *Vital Capacity* (VC), disini subyek tidak perlu melakukan aktivitas pernafasan dengan kekuatan penuh dan 2) *Forced Vital Capacity* (FVC). Pemeriksaan dilakukan dengan kekuatan maksimal. Sedangkan berdasarkan fase yang diukur, ada 2 macam VC yaitu: 1) VC inspirasi, VC diukur hanya fase inspirasi dan 2) VC ekspirasi, diukur hanya pada fase ekspirasi. Orang normal tidak ada perbedaan antara FVC dan VC. *Vital Capacity* (VC) merupakan refleksi dari kemampuan elastisitas atau jaringan paru atau kekakuan pergerakan dinding toraks. *Vital Capacity* (VC) yang menurun merupakan kekuatan jaringan paru atau dinding toraks, sehingga dapat dikatakan pemenuhan (*compliance*) paru atau dinding toraks mempunyai korelasi dengan penurunan VC hanya mengalami penurunan sedikit atau mungkin normal.
- b. *Forced Expiratory Volume in 1 Second* (FEV) adalah besarnya volume udara yang dikeluarkan dalam satu detik pertama. Lama ekspirasi orang normal berkisar antara 4-5 detik dan pada detik pertama orang normal dapat mengeluarkan udara pernafasan sebesar 80% dari nilai VC. Fase detik pertama ini dikatakan lebih penting dari fase-fase selanjutnya. Adanya obstruktif pernafasan didasarkan atas besarnya volume pada detik pertama tersebut. Interpretasi tidak didasarkan nilai absolutnya tetapi pada perbandingan dengan FVCnya. Bila FEV/FVC kurang dari 75% berarti normal. Penyakit obstruktif seperti bronchitis kronik atau enfisema terjadi pengurangan FEV lebih besar dibandingkan kapasitas vital (kapasitas vital mungkin normal) sehingga rasio FEV/FVC kurang 80%.

- c. *Peak Expiratory Flow Rate* (PEFR) adalah flow/aliran udara maksimal yang dihasilkan oleh sejumlah volume tertentu. Maka PEFR dapat menggambarkan keadaan saluran pernafasan, apabila PEFR menurun berarti ada hambatan aliran udara pada saluran pernafasan. Pengukuran dapat dilakukan dengan *Mini Peak Flow Meter* atau *Pneumotachograf*.

2.2.5 Gangguan Faal Paru dan Penyakit Paru

a. Gangguan Faal Paru

Untuk menginterpretasikan nilai faal paru yang diperoleh harus dibandingkan dengan nilai standarnya. Pada waktu ini banyak diterbitkan nilai normal yang kesemuanya mempunyai ciri-ciri yang berbeda dalam pengumpulan datanya tersebut dapat disebabkan oleh seleksi sampel, metodologi, teknik penilaian dan kelompok etnik subyek yang diperiksa. Interpretasi hasil pemeriksaan spirometri dapat dikategorikan sebagai berikut :

1) Restriktif (sindrom pembatasan)

Restriktif (sindrom pembatasan) adalah keterbatasan ekspansi paru yang ditandai dengan penurunan kapasitas vital (VC) dan volume istirahat yang kecil, tetapi resistensi jalan nafas meningkat (West, 2010). Parameter yang dilihat adalah kapasitas vital (VC) dan kapasitas vital paksa (FVC). Pada gangguan restriktif baik hasil pengukuran FEV1 maupun FVC sama-sama berkurang sedikit sehingga rasio FEV1/FVC hasilnya dapat kembali normal atau meningkat dan biasanya kapasitas vital paksa (FVC) kurang dari 80% nilai prediksi (Harrianto, 2010).

2) Obstruktif (sindrom penyumbatan)

Obstruktif adalah setiap perlambatan atau gangguan kecepatan aliran udara yang masuk dan keluar dari dalam paru-paru (Yunus, 2006). Sindrom penyumbatan ini terjadi apabila kapasitas ventilasi menurun akibat menyempitnya saluran udara pernafasan. Biasanya ditandai dengan terjadi penurunan FEV1 yang lebih besar dibandingkan dengan FVC sehingga rasio

FEV1/FVC menurun atau kurang dari 75% dan nilai FEV1 kurang dari 80% nilai prediksi (Harrianto, 2010). *Forced Expiratory Volume in 1 Secon* (FEV1) adalah besarnya volume udara yang dikeluarkan dalam satu detik pertama. Lama ekspirasi orang normal berkisar antara 4-5 detik dan pada detik pertama orang normal dapat mengeluarkan udara pernafasan sebesar 80% dari nilai VC. Fase detik pertama ini dikatakan lebih penting dari fase-fase selanjutnya. Adanya obstruktif pernafasan didasarkan atas besarnya volume pada detik pertama tersebut. Interpretasi tidak didasarkan nilai absolutnya tetapi pada perbandingan dengan FVCnya. Bila FEV/FVC kurang dari 75% berarti tidak normal (Alsagaf dan Mangunegoro, 2004). Penyakit obstruktif seperti bronkitis kronik atau emfisema terjadi pengurangan FEV lebih besar dibandingkan kapasitas vital (kapasitas vital mungkin normal) sehingga rasio FEV/FVC kurang 80%.

3) Kombinasi obstruktif dan restriktif (*Mixed*)

Kombinasi obstruktif dan restriktif adalah suatu gangguan fungsi paru yang terjadi juga karena proses patologi yang mengurangi volume paru, kapasitas vital dan aliran, yang juga melibatkan saluran napas. Rendahnya FEV1/FVC (%) merupakan suatu indikasi obstruktif saluran napas dan kecilnya volume paru merupakan suatu restriktif (Rahmatullah, 2006). Partikel debu yang terdapat di lingkungan kerja lokasi penelitian bersumber dari debu anorganik golongan metal yang bersifat inert yaitu debu besi dan alumunium yang dapat menimbulkan gangguan paru akibat menginhalasi debu tersebut. Debu inert merupakan debu kerja golongan nonfibrogenik. Inhalasi debu nonfibrogenik hanya akan mengakibatkan bertambahnya jaringan ikat paru dalam jumlah yang sangat sedikit, contohnya adalah debu besi, seng, kapur dan timah. Pada akumulasi debu inert dalam paru, alveoli tetap utuh, tidak terbentuk jaringan ikat dan umumnya bersifat sementara (Harrianto, 2010). Inhalasi debu anorganik di lingkungan kerja cenderung menyebabkan terjadinya pneumokoniosis pada pekerja, dimana pada umumnya pneumokoniosis menimbulkan gangguan restriktif pada paru (Rahmatullah, 2009).

Menurut moris ada tiga bentuk metode untuk mengidentifikasi gangguan faal paru (Mukono, 2008):

- 1) Normal bila nilai diprediksinya lebih dari 80%. Untuk FEV tidak memakai nilai absolute akan tetapi menggunakan perbandingan dengan FVCnya yaitu FEV/FVC dan bila didapatkan nilai kurang dari 0,70 dianggap normal.
- 2) Metode dengan 95th percentile, pada metode ini subjek dinyatakan dengan persen predicted dan nilai normal terendah apabila berada diatas 95% populasi.
- 3) Metode 95% *Confidence Interval* (CI). Pada metode ini batas normal terendah adalah nilai prediksi dikurangi 95% CI.

Table 2.2 Klasifikasi Gangguan Faal Paru

Klasifikasi	Pengukuran
Nilai normal	FVC > 80% nilai prediksi untuk semua umur. FEV1/FVC > 75%
Restriksi	a. FVC < 80%, FEV > 75%, nilai prediksi b. Restriksi ringan : FVC : 60%-80% nilai prediksi c. Restriksi sedang : FVC: 30% - 59%, nilai prediksi d. Restriksi berat: FVC, 30%, nilai prediksi
Obstruksi	a. FVC > 80%, FEV ≤ 75%, nilai prediksi b. Obstruksi ringan: FEV1/FVC: 60-75% c. Obstruksi sedang: FEV1/FVC: 40-59% d. Obstruksi berat: FEV1/FVC: < 40%
Mixed/kombinasi obstruktif dan restriktif	FVC < 80% FEV1 < 80% nilai prediksi

Sumber: *American Thoracic Society* (2004)

b. Penyakit Paru Kerja

Penyakit paru kerja adalah penyakit atau kerusakan paru yang disebabkan oleh debu, uap atau gas berbahaya yang terhirup pekerja ditempat kerja. Berbagai penyakit paru dapat terjadi akibat pajanan zat seperti serat, debu, dan gas yang timbul pada proses industrialisasi. Jenis penyakit paru yang timbul tergantung pada jenis zat pajanan, tetapi manifestasi klinis penyakit paru kerja mirip dengan penyakit paru lain yang tidak berhubungan dengan kerja. Penyakit paru kerja ternyata merupakan penyebab utama ketidakmampuan, kecacatan, kehilangan hari kerja dan kematian pada pekerja (Ikhsan *et al*, 2009).

Penyakit paru kerja dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, salah satunya adalah klasifikasi berdasarkan gejala klinis atau penyakit seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.3 Klasifikasi Penyakit Paru Kerja

Kelompok Penyakit Utama	Agen Penyebab
Iritasi saluran napas atas	Gas iritan, pelarut
Gangguan jalan napas Asma kerja Sensitisasi Berat molekul kecil Berat molekul besar Induksi iritan, RADS Bisinosi Efek debu biji-bijian Bronkitis kronik/PPOK Jejas inhalasi akut Pneumonitis toksik Demam uap logam Demam uap polimer Inhalasi asap	Diosianat, anhidra, debu kayu Alergen dari binatang, lateks Gas iritan, asap Debu kapas Biji-bijian Debu mineral, batu bara, uap, debu Gas iritan, logam Oksida logam, seng, tembaga Plastic Produk pembakaran
Pneumonitis hipersensitif	Bakteri, jamur, protein binatang
Penyakit infeksi	Tuberkolusis, virus bakteri
Pneumokoniosis	Asbes, silika, batubara, berilium, kobalt
Keganasan Kanker sinonasal Kanker paru Mesotelioma	Debu kayu Asbes, radon Asbes

Sumber: Ikhsan et al, 2009

Untuk menentukan apakah penyakit paru disebabkan oleh pekerjaan atau lingkungan, harus ditentukan penyakitnya, ditentukan sifatnya, kemudian ditentukan tingkat pajanan ditempat kerja atau lingkungan yang mungkin menjadi penyebab. Beberapa kriteria yang digunakan untuk menentukan bahwa suatu penyakit memang disebabkan oleh agen ditempat kerja atau lingkungan, antara lain gejala klinis dan perkembangannya sesuai dengan diagnosis, hubungan sebab akibat antara pajanan dan kondisi diagnosis telah ditentukan sebelumnya atau diduga kuat berdasarkan kepustakaan medis, epidemiologi atau toksikologi, terdapat pajanan yang diduga sebagai penyebab penyakit serta tidak ditemukan diagnosis lain.

Menurut Ikhsan *et al*, (2009) terdapat beberapa karakteristik penyakit paru kerja yaitu:

- 1) Penyakit paru kerja dan lingkungan mempunyai gejala yang tidak khas sehingga sulit dibedakan dengan penyakit paru lainnya. Dengan demikian penyebab penyakit paru kerja atau lingkungan harus dievaluasi dan ditata laksana secara berkala.
- 2) Paparan ditempat kerja dapat menyebabkan lebih dari satu penyakit atau, misalnya kobalt dapat menyebabkan penyakit parenkim paru atau saluran napas.
- 3) Beberapa penyakit paru disebabkan oleh berbagai faktor, dan faktor pekerjaan mungkin berinteraksi dengan faktor lainnya. Misalnya risiko menderita penyakit kanker pada pekerja terpajan debu asbes yang merokok, lebih besar dibandingkan pekerja yang terpajan asbestos atau rokok saja.
- 4) Dosis paparan penting untuk menentukan proporsi orang yang terkena penyakit atau beratnya penyakit. Dosis umumnya berhubungan dengan beratnya penyakit pada penderita yang mengalami toksisitas langsung nonimunologi seperti pneumonia toksik kimia, asbestosis atau silikosis. Pada penyakit keganasan atau immune-mediated, dosis biasanya lebih berhubungan dengan insidens dibandingkan beratnya penyakit.
- 5) Ada perbedaan kerentanan pada setiap individu terhadap paparan zat tertentu. Faktor pejamu yang berperan dalam kerentanan terhadap agen lingkungan masih belum banyak diketahui, tetapi diduga meliputi faktor genetic yang diturunkan maupun faktor yang didapat seperti diet, penyakit paru lain dan paparan lainnya.
- 6) Penyakit paru akibat paparan ditempat kerja atau lingkungan biasanya timbul setelah periode laten yang dapat diduga sebelumnya.

2.2.6 Diagnosis

Diagnosis ditegakkan dengan anamnesis, pemeriksaan fisis, dan pemeriksaan penunjang (Ikhsan *et al*, 2009).

a. Anamnesis

Riwayat pekerjaan sangat penting untuk diketahui dan dinilai guna menentukan apakah suatu penyakit berhubungan dengan pekerjaan. Hal-hal yang perlu dinyatakan antara lain:

- 1) Riwayat pekerjaan ditanyakan berupa:
 - a) Pencatatan pekerjaan dan kegemaran yang terus menerus atau part time secara kronologis.
 - b) Identifikasi bahan berbahaya ditempat kerja: Bahan yang digunakan oleh pekerja, Bahan yang digunakan oleh pekerja pembantu.
 - c) Hubungan antara pajanan dan gejala yang timbul: Waktu antara mulai bekerja dan gejala pertama, urutan dan perkembangan gejala, Hubungan anatara gejala dan tugas tertentu, perubahan gejala pada waktu tidur.
- 2) Riwayat penyakit, Ditanyakan mengenai ada tidaknya penyakit/keluhan yang pernah diderita berupa:
 - a) Batuk, batuk selama 3 bulan terjadi setiap tahun, sifat batuk (keras/tidak keras), waktu batuk (pagi/siang/malam/terus-menerus), peningkatan batuk selama 3 minggu atau lebih, selama 1 tahun terakhir.
 - b) Dahak, dahak selama 3 bulan terjadi setiap tahun, waktu terjadinya dahak (pagi/siang/malam/terus-menerus), peningkatan batuk selama 3 minggu atau lebih, selama 3 tahun terakhir.
 - c) Napas pendek, sejak 12 bulan terakhir pernah mengalami/tidak pernah mengalami terbangun tidur malam.
 - d) Mengi (*wheezing*): sejak 3 bulan terakhir pernah mengalami/tidak, waktu mengi disertai napas pendek atau napas normal.

- e) Nyeri dada, sejak 3 tahun terakhir pernah mengalami/tidak, lamanya 1 minggu.
 - f) Penyakit-penyakit lain yang pernah diderita: kecelakaan/operasi didaerah dada, gangguan jantung, bronkitis, pneumonia, pleuritis, TB paru, asma, gangguan dada yang lain.
- 3) Riwayat kebiasaan merokok
- Ditanyakan kebiasaan merokok meliputi jumlah rokok yang dihisap, lama merokok, cara menghisap rokok, umur mulai menjadi perokok, jenis rokok, dan kontinuiti merokok.
- b. Pemeriksaan fisis berupa: keadaan umum, keadaan pulmonologik.
 - c. Pemeriksaan penunjang, berupa:
 - 1) Rutin : laboratorium (darah, urin), foto toraks (PA dan lateral), spirometri.
 - 2) Khusus: uji alergi pada kulit, uji provokasi pada bronkus, sputum BTA, sitologi, bronkoskopi, patologi anatomi (biopsi), radiologi (tomogram, bronkografi, CT Scan).

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Gangguan Faal Paru

2.3.1 Faktor Karakteristik Individu

Fungsi paru yang ditampilkan dalam kapasitas vital paru dan daya fisik berubah-ubah akibat sejumlah faktor non pekerjaan, yaitu beberapa faktor selain faktor dalam bekerja diantaranya: usia, jenis kelamin, kelompok etnik, tinggi badan, kebiasaan merokok, toleransi latihan, kekeliruan pengamat, kekeliruan alat, dan suhu sekitar lingkungan (Harrington dan Gill, 2005).

a. Umur

Umur berhubungan dengan proses penuaan atau bertambahnya umur. Semakin tua umur seseorang semakin besar kemungkinan terjadi penurunan fungsi paru (Suyono, 2001). Kekuatan otot maksimal pada usia 20-40 tahun dan akan berkurang sebanyak 20% setelah usia 40 tahun (Pusparini, 2003). Dalam keadaan normal usia mempengaruhi frekuensi pernafasan dan kapasitas paru. Frekuensi pernafasan pada

orang dewasa antara 16-18 kali permenit, pada Pada individu normal terjadi perubahan nilai fungsi paru secara fisiologis sesuai dengan perkembangan umur dan pertumbuhan parunya.

Mulai pada fase anak sampai umur kira-kira 22-24 tahun terjadi pertumbuhan paru sehingga pada waktu nilai fungsi paru semakin besar bersamaan dengan penambahan umur dan nilai fungsi paru mencapai maksimal pada umur 22-24 tahun. Beberapa waktu nilai fungsi paru menetap kemudian menurun secara perlahan-lahan, biasanya umur 30 tahun sudah mulai penurunan, berikutnya nilai fungsi paru (FEV = Kapasitas Vital Paksa dan VEP1 = Volume ekspirasi paksa satu detik pertama) mengalami penurunan rerata sekitar 20 ml tiap pertambahan satu tahun umur individu (Rahmatullah, 2009).

Table 2.4 Nilai Standar Kapasitas Vital Paru

Umur	Kapasitas vital (ml)
16	3900
17	4100
18	4200
19	4300
20	4320
21	4320
22	4300
23	4280
24	4250
25	4220
26	4200
27	4180
28	4150
29	4120
30	4100
31-35	3990
36-40	3800
41-45	3600
46-50	3410
51-55	3240
56-60	3100
>61	2970

Sumber: Koesyanto dan Pawenang, 2005

b. Lama Paparan

Lama paparan berdasarkan lamanya pekerja berada di tempat kerja dengan lama 8 jam sehari dan 40 jam seminggu. Semakin tinggi konsentrasi partikel dalam udara dan semakin lama paparan berlangsung, jumlah partikel yang mengendap di paru juga semakin banyak. Salah satu upaya pencegahan tersebut adalah menetapkan waktu bekerja sehari-hari yaitu selama tidak lebih dari 8 jam per hari atau 40 jam per minggu (UU Ketenagakerjaan Nomor 13 tahun 2003). Lama paparan lebih dari 8 jam (> 8 jam) perhari mempunyai risiko kemungkinan terkena gangguan fungsi paru sebesar 2,2 kali dibandingkan responden dengan lama paparan kurang dari sama dengan 8 jam perhari (Triatmo *et al*, 2006).

c. Masa Kerja

Masa kerja ialah lamanya seorang pekerja bekerja dalam (tahun) dalam satu lingkungan perusahaan dihitung mulai saat bekerja sampai penelitian berlangsung. Dalam penelitian Setyani (2005) dalam lingkungan kerja yang berdebu, masa kerja dapat mempengaruhi dan menurunkan kapasitas fungsi paru pada karyawan. Semakin lama seseorang dalam bekerja maka semakin banyak dia telah terpapar bahaya yang ditimbulkan oleh lingkungan kerja tersebut (Suma'mur, 2009). Berdasarkan hasil penelitian Uninta (1998) di Bandung, mengatakan bahwa masa kerja di suatu perusahaan yang mengandung banyak debu mempunyai resiko tinggi untuk timbulnya pneumokoniosis. Pada pekerja yang berada dilingkungan dengan kadar debu tinggi dalam waktu lama memiliki risiko tinggi terkena penyakit paru obstruktif. Masa kerja mempunyai kecenderungan sebagai faktor resiko terjadinya obstruktif pada pekerja di industri yang berdebu lebih dari 5 tahun (Hyatt *et al*, 2006). Gangguan kronis terjadi akibat pajanan debu ditempat kerja yang cukup tinggi dan untuk jangka waktu yang lama yang biasanya adalah tahunan. Tidak jarang gejala gangguan fungsi paru nampak setelah lebih dari 10 tahun terpajan (Depkes RI, 2003).

d. Kebiasaan Merokok

Merupakan kegiatan yang dilakukan secara berulang-ulang dalam menghisap rokok mulai dari satu batang atau lebih dalam satu hari (Bustan, 2007). Merokok

dapat menyebabkan perubahan struktur dan fungsi saluran pernafasan dan jaringan paru. Merokok juga dapat lebih merendahkan kapasitas vital paru dibandingkan dengan beberapa bahaya kesehatan kerja (Suyono, 2001). Kebiasaan merokok akan mempercepat penurunan faal paru. Menurut Rahmatullah (2009) yang menyatakan bahwa besarnya penurunan fungsi paru (FEV1) berhubungan langsung dengan kebiasaan merokok (konsumsi rokok). Pada orang dengan fungsi paru normal dan tidak merokok mengalami penurunan FEV1 20 ml pertahun, sedangkan pada orang yang merokok (perokok) akan mengalami penurunan FEV1 lebih dari 50 ml pertahunnya (Rahmatullah, 2009). Penurunan ekspirasi paksa pertahun 28,7 ml untuk nonperokok, 38,4 ml untuk bekas perokok dan 41,7 ml untuk perokok aktif. Pengaruh asap dapat lebih besar dari pada pengaruh debu yang hanya sepertiga dari pengaruh buruk rokok (Depkes RI, 2003). Rata-rata perokok ringan dalam sehari < 10 batang/hari, bagi perokok sedang 10-20 batang/hari, dan perokok berat > 20 batang/hari (Bustan, 2007).

e. Penggunaan APD

Alat pelindung diri adalah suatu alat yang dipakai untuk melindungi diri dari tubuh terhadap bahaya-bahaya kecelakaan kerja untuk mencegah dan mengurangi tingkat keparahan dari kecelakaan yang terjadi. Pemakaian alat pelindung diri oleh pekerja di tempat kerja yang udaranya banyak mengandung debu, merupakan upaya mengurangi masuknya partikel debu kedalam saluran pernafasan (Pusparini, 2003). Alat pelindung diri (APD) yang berfungsi sebagai pelindung hidung dan mulut yang merupakan alat pelindung pernafasan berupa inhalasi debu, gas, uap, *mist* (kabut), *fume*, asap dan fog. Dengan mengenakan alat pelindung diri diharapkan pekerja melindungi dari kemungkinan terjadinya gangguan pernafasan akibat terpapar udara yang kadar debunya tinggi. Walaupun demikian, tidak ada jaminan bahwa dengan mengenakan masker, seorang pekerja di industri akan terhindar dari kemungkinan terjadinya gangguan pernafasan (Suma'mur, 2009).

Penggunaan alat pelindung diri merupakan upaya terakhir dalam usaha perlindungan bagi pekerja, oleh karena itu alat pelindung diri harus memenuhi

persyaratan antara lain : enak dipakai, tidak mengganggu kerja dan memberikan perlindungan yang efektif terhadap jenis bahaya yang ada (Suma'mur, 2009). Alat pelindung diri (APD) adalah adalah suatu alat yang dipakai untuk melindungi diri dari tubuh terhadap bahaya-bahaya kecelakaan kerja. misalnya pelindung kepala, sarung tangan, pelindung pernafasan (respirator dan masker), serta pelindung kaki. Pemilihan APD yang handal secara cermat adalah merupakan persyaratan mutlak yang sangat mendasar. Pemakaian APD yang tidak tepat dapat mencelakakan tenaga kerja yang memakainya karena mereka tidak terlindung dari bahaya potensial yang ada di tempat mereka terpapar. Oleh karena itu agar dapat memilih yang tepat, maka perusahaan harus mampu mengidentifikasi bahaya potensi yang ada, khususnya yang tidak dapat dihilangkan ataupun dikendalikan, serta memahami dasar kerja setiap jenis APD yang akan digunakan di tempat kerja dimana bahaya potensial tersebut ada. Perlindungan terhadap sistem pernafasan sangat diperlukan terutama bila tercemar partikel-partikel berbahaya, baik yang berbentuk gas, aerosol, cairan, ataupun kimiawi (Ramli, 2009). Berikut merupakan jenis alat pelindung pernafasan yang tepat bagi tenaga kerja yang berada pada lingkungan berdebu adalah:

1) *Disposable Face Mask*

Masker untuk melindungi debu atau partikel - partikel yang lebih kasar masuk ke dalam saluran pernapasan, terbuat dari bahan kain dengan ukuran pori - pori tertentu. Salah satu jenis masker ini adalah *disposable face masker* yakni masker yang dapat dibuang.

2) *Chemical Respirator*

Respirator ini membersihkan udara yang terkontaminasi dengan cara adsorb atau absorb. *Chemical respirator* digunakan di tempat kerja terdapat gas-gas atau uap yang toksik dan kadar gas atau uap tersebut dalam udara tempat kerja cukup tinggi. *Chemical respirator* dibedakan menjadi *cartridge* dan *canister gas mask*, *cartridge respirator* dapat berupa *full face mask/ full face piece*, *half mask/ half face piece* atau *mouth piece respirator* sedangkan pada *canister respirator*

terdapat 7 jenis alat yang digunakan untuk melindungi pekerja dari pemaparan gas-gas atau uap-uap yang toksik.



Gambar 2.2 Alat pelindung pernafasan (*chemical respiratory*)(Wiryosumatro dan Okumura, 2014)

f. Status Gizi

Status gizi merupakan keadaan tubuh sebagai akibat konsumsi makanan dan zat gizi. Status gizi seseorang dapat mempengaruhi kapasitas vital paru. Orang kurus panjang biasanya kapasitas lebih besar dari orang gemuk pendek. Masalah kekurangan dan kelebihan gizi pada orang dewasa merupakan masalah penting, karena dapat mempengaruhi produktivitas kerja. Berat badan yang berada di bawah batas minimum dinyatakan sebagai *underweight* atau kekurusan, dan berat badan yang diatas batas maksimum dinyatakan sebagai *overweight* atau kegemukan. Orang-orang yang berada di bawah ukuran berat normal mempunyai risiko tinggi terhadap penyakit degeneratif (Supariasa, *et al*, 2012).

Salah satu cara untuk mengetahui gambaran keseimbangan zat gizi adalah dengan pengukuran status gizi. Melalui pengukuran status gizi maka dapat ditentukan seseorang yang mengalami status gizi kurang, normal, dan lebih. Indeks massa tubuh (IMT) merupakan indikator yang paling sering digunakan untuk mendeteksi masalah gizi pada seseorang. Indeks Masa Tubuh (IMT) adalah alat yang sederhana untuk memantau status gizi orang dewasa khususnya yang berkaitan dengan kekurangan dan kelebihan berat badan (Supariasa, *et al*, 2012)

Pengukuran status gizi seseorang dapat dihitung dengan menggunakan Indeks Massa Tubuh (IMT). Perbandingan (rasio) berat badan per tinggi badan sering digunakan untuk menilai status gizi orang dewasa, untuk mengetahui apakah status gizi orang tersebut tergolong kurus, normal, atau gemuk. Perbandingan ini dinamakan Indeks Massa Tubuh (IMT). IMT adalah berat badan dalam kilogram dibagi dengan tinggi badan kuadrat dalam meter (Almatsier, 2009).

Rumus perhitungan IMT adalah sebagai berikut:

$$\text{IMT} = \frac{\text{Berat Badan (kg)}}{\text{Tinggi Badan x Tinggi Badan (m)}}$$

Dengan kategori ambang batas IMT untuk Indonesia sebagai berikut:

Tabel 2.5 Kategori Ambang Batas IMT Untuk Indonesia

Kategori	IMT
Kurus	<18,5
Normal	18,5-25
<i>Overweight</i>	25,1-27
Obesitas	>27

(Sumber: Depkes RI, 2005)

2.3.2 Faktor Iklim Kerja

a. Suhu

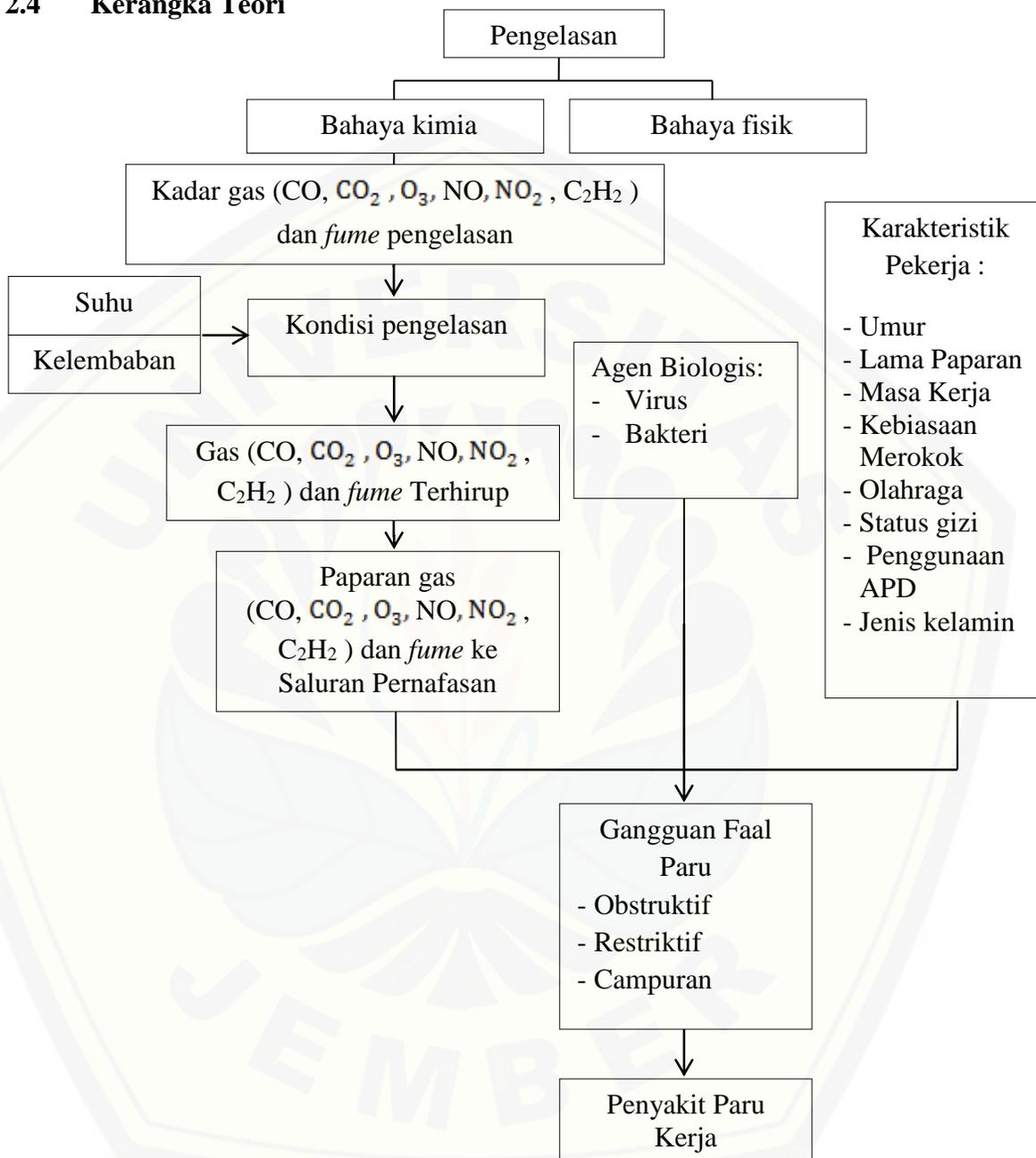
Iklim kerja merupakan keadaan udara ditempat kerja yang merupakan interaksi dari suhu udara, kelembaban, kecepatan gerakan udara dan suhu radiasi (Suma'mur, 2009). Persyaratan kesehatan untuk ruang kerja industri yang nyaman di tempat kerja adalah suhu yang tidak dingin dan tidak menimbulkan kepanasan bagi

tenaga kerja yaitu berkisar antara 18°C sampai 30°C. Suhu yang rendah dapat menyebabkan polutan dalam atmosfer terperangkap dan tidak menyebar, sedangkan peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi kimia perubahan suatu polutan udara yang menyebabkan partikel debu bertahan lebih lama di udara sehingga kemungkinan terhisap oleh pekerja, kondisi itu yang menjadikan faktor resiko terjadinya gangguan penurunan vital paru bagi pekerja. Bila suhu udara > 31°C perlu menggunakan alat penata udara seperti *air conditioner*, kipas angin dan lainnya. Bila suhu udara luar <18°C perlu menggunakan alat pemanas (KepMenkes RI Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002).

b. Kelembaban

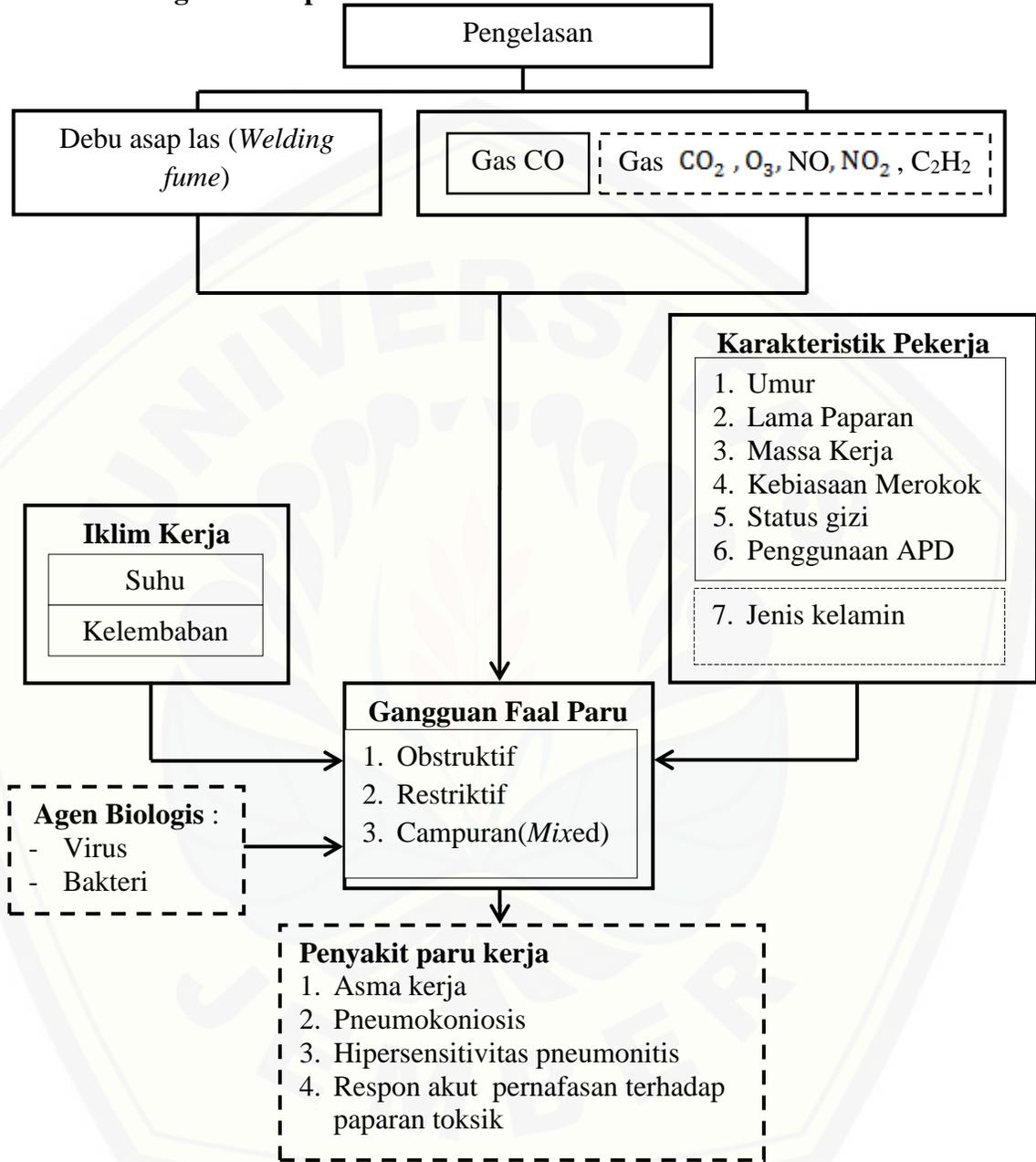
Kelembaban udara tergantung berapa banyak uap air (dalam %) yang terkandung di udara. Saat udara dipenuhi uap air dapat dikatakan bahwa udara berada dalam kondisi jenuh dalam arti kelembaban tinggi dan segala sesuatu menjadi basah. Kelembaban lingkungan kerja yang tidak memberikan pengaruh kepada kesehatan pekerja berkisar 65%-95%. Kelembaban sangat erat kaitanya dengan suhu, dan keduanya merupakan pemicu pertumbuhan jamur dan bakteri (Suma'mur, 2009). Nilai Ambang Batas yang berlaku untuk lingkungan kerja industri sesuai KepMenkes RI Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 untuk kelembaban adalah berkisar antara 65%-95%. Bila kelembaban udara ruang kerja >95% perlu menggunakan alat dehumidifier, misalnya mesin pembentuk aerosol (KepMenkes RI Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002).

2.4 Kerangka Teori



Gambar 2.3 Kerangka Teori

2.5 Kerangka Konsep



Gambar 2.4 Kerangka Konseptual

Keterangan:

————— : Diteliti

- - - - - : Tidak Diteliti

Kerangka konseptual ini didasarkan oleh beberapa faktor, yaitu faktor bahaya kimia pengelasan, karakteristik individu, agen biologis, dan kondisi iklim kerja yang dapat mempengaruhi terjadinya penyakit paru kerja. Pada penelitian ini peneliti tidak menganalisis semua faktor yang menyebabkan gangguan faal paru, tetapi hanya beberapa faktor saja. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah gangguan faal paru, sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini adalah paparan debu asap las (*welding fume*), gas karbon monoksida (CO) dan karakteristik individu yang meliputi umur, lama paparan, masa kerja, kebiasaan merokok, penggunaan APD, status gizi, suhu dan kelembaban.

2.6 Hipotesis

Berdasarkan tujuan khusus penelitian, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Ada hubungan karakteristik individu yaitu umur, lama paparan, masa kerja, kebiasaan merokok, penggunaan APD saat bekerja, status gizi, dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.
- b. Ada hubungan paparan debu asap las (*welding fume*), gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya
- c. Ada hubungan suhu dan kelembaban dengan gangguan faal paru pada pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian observasional, dimana menurut Notoatmodjo (2012), penelitian observasional adalah suatu penelitian yang dilakukan tanpa melakukan intervensi atau tindakan terhadap subyek penelitian (masyarakat), sehingga sering disebut noneksperimen.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian analitik dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian observasional analitik adalah penelitian yang mencoba menggali bagaimana dan mengapa fenomena kesehatan itu terjadi kemudian melakukan analisis dinamika korelasi antara fenomena atau antara faktor risiko dengan faktor efek (Notoatmodjo, 2012).

Berdasarkan waktu penelitiannya, penelitian ini termasuk penelitian *cross sectional* karena variabel bebas (*independent*) yaitu karakteristik responden, iklim kerja, debu asap las (*fume welding*) dan gas karbon monoksida (CO), serta variabel terikat (*dependent*) yaitu Gangguan faal paru akan diteliti dalam waktu yang bersamaan. Notoatmodjo (2012) berpendapat bahwa rancangan survei *cross sectional* ialah suatu penelitian untuk mempelajari dinamika korelasi antara faktor-faktor risiko dengan efek, dengan cara pendekatan, observasi, atau pengumpulan data sekaligus pada suatu saat (*point time approach*). Artinya tiap subjek penelitian hanya diobservasi sekali saja dan pengukuran dilakukan terhadap status karakter atau variabel subjek pada saat pemeriksaan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di bengkel pengelasan yang berada di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya. Peneliti memilih lokasi ini karena kelurahan Ngagel merupakan salah satu pusat pengelasan yang cukup besar di Surabaya.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dimulai dari tahap penyusunan proposal dari bulan Juli, dilanjutkan dengan seminar proposal pada bulan November, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data di lapangan bulan Desember dan tahap akhir penelitian yaitu penyusunan hasil dan pembahasan pada bulan April. Total kurun waktu dalam penelitian ini selama 10 bulan yaitu bulan Juli 2014-April 2015.

3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Sampling

3.3.1 Populasi

Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri atas objek/subjek yang mempunyai kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti dan kemudian ditarik kesimpulanya (Sugiyono, 2012). Populasi dalam penelitian ini adalah pekerja bengkel las di Kelurahan Ngagel Kecamatan Wonokromo Kota Surabaya yaitu sebanyak 58 pekerja yang tersebar dalam 13 bengkel pengelasan.

3.3.2 Sampel

Sampel adalah bagian (*subset*) dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki populasi tersebut (Sugiyono, 2012). Agar karakteristik sampel tidak menyimpang dari populasi, perlu ditentukan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi adalah kriteria atau ciri-ciri yang perlu dipenuhi oleh anggota populasi yang diambil sebagai sampel. Kriteria eksklusi adalah ciri-ciri anggota populasi yang tidak diambil sebagai sampel. Untuk menentukan jumlah bengkel las sebagai tempat penelitian, dapat digunakan *cluster random sampling* (Notoboto, 2006).

$$n = \frac{NZ^2_{1-\alpha/2}\sigma^2}{(N-1)d^2\left(\frac{N}{c}\right)^2 + Z^2_{1-\alpha/2}\sigma^2}$$

Dengan menggunakan rumus di atas, maka dapat diketahui sampel yang dibutuhkan dalam penelitian ini yakni sebesar:

$$n = \frac{NZ^2_{1-\alpha/2}\sigma^2}{(N-1)d^2\left(\frac{N}{c}\right)^2 + Z^2_{1-\alpha/2}\sigma^2}$$

$$n = \frac{58 \times 1,96^2 \times 0,26}{(58 - 1) \times 0,1^2 (58 \div 13)^2 + 1,96^2 \times 0,26}$$

$$n = 4,69 \approx 5 \text{ cluster}$$

Dimana

$$\sigma^2 = \sum (a_i - m_i \cdot P)^2 / (C' - 1)$$

$$\sum (58 - 50 \times 0,86)^2 / (9 - 1)$$

$$\sigma^2 = 0,26$$

dan

$$P = \sum a_i / \sum m_i$$

$$P = \frac{50}{58} = 0,86$$

Setelah dihitung menggunakan rumus tersebut, didapat besar sampel dalam penelitian ini yaitu 5 *cluster* (tempat kerja) bengkel pengelasan yang akan dilakukan penelitian.

Keterangan:

n = Besarnya sampel (jumlah *cluster*) minimum.

N = Besar populasi = $\sum m_i$

$Z_{1-\alpha/2}$ = Nilai distribusi normal baku (table Z) pada α 0,05 yaitu 1,96

d = Kesalahan (absolute) yang dapat ditolelir yaitu 0,1

C = Jumlah seluruh *cluster* di populasi

σ^2 = $\sum (a_i - m_i P)^2 / (C' - 1)$ dan $P = \sum a_i / \sum m_i$

a_i = banyak elemen yang masuk criteria pada *cluster* ke-i

m_i = banyaknya elemen pada *cluster* ke-i

C' = jumlah *cluster* sementara (9)

Sedangkan untuk menentukan jumlah sample pekerja yang diperlukan untuk penelitian ini dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{(z_{1-\alpha})^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{d^2(N - 1) + (z_{1-\alpha})^2 \cdot p \cdot q}$$

Keterangan:

p = nilai proporsi sebesar 0,5

$Z_{1-\alpha/2}$ = nilai Z pada kurva normal untuk $\alpha = 0,05 = 1,96$

N = Besarnya populasi pekerja pengelasan ($N = 58$ pekerja)

n = besarnya sampel

d = *degree of precision*/ derajat keputusan = 0,1

z = *Confidence coefficient* 95% ($z = 1,96$)

Hasil perhitungan:

$$n = \frac{(z_{1-\alpha})^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{d^2(N-1) + (z_{1-\alpha})^2 \cdot p \cdot q}$$

$$n = \frac{(1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 58}{(0,10)^2(58-1) + (1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$$n = 36,39 \approx 36$$

Dari perhitungan sampel didapatkan hasil yaitu sebesar 36 sampel pekerja.

Selanjutnya untuk menentukan banyaknya anggota sampel dari tiap bengkel pengelasan di gunakan rumus sebagai berikut:

$$ni = \frac{Ni}{N} \times n$$

Keterangan: ni = besarnya sampel untuk sub populasi

Ni = masing-masing populasi

N = Populasi secara keseluruhan

n = besar sampel

Berikut adalah jumlah sampel dari setiap pengelasan adalah:

Tabel 3.6 Jumlah Sampel Setiap pengelasan

No.	Pengelasan	Jumlah Populasi	Jumlah sampel
1.	Bengkel Las A	23	$(Ni:N) \times n = (23:44) \times 36 = 19$
2.	Bengkel Las B	3	$(Ni:N) \times n = (3:44) \times 36 = 2$

3.	Bengkel Las C	7	$(N_i:N) \times n = (7:44) \times 36 = 6$
4.	Bengkel Las D	4	$(N_i:N) \times n = (4:44) \times 36 = 3$
5.	Bengkel Las E	7	$(N_i:N) \times n = (7:44) \times 44 = 6$
	Jumlah	44 orang	36 orang

3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan metode *Cluster random sampling* yaitu pengambilan sampel bukan terdiri dari unit individu, tetapi terdiri dari kelompok atau gugusan (*cluster*). Pengambilan sampel secara gugus peneliti tidak mendaftarkan semua anggota atau unit yang ada dalam populasi tetapi cukup mendaftarkan banyaknya kelompok atau gugus yang ada dalam populasi itu. Kemudian mengambil beberapa sampel berdasarkan gugus-gugus tersebut. (Notoatmodjo, 2010). Berdasarkan hasil perhitungan *cluster* terdapat 5 *cluster* yang akan dijadikan sebagai tempat penelitian dari total 13 tempat kerja. Peneliti mengambil 5 bengkel pengelasan yang akan dijadikan sebagai tempat penelitian. Hasil dari *cluster* random sampling tersebut yaitu bengkel las A yang memiliki 23 pekerja, bengkel las B memiliki 3 pekerja, bengkel las C dengan pekerja 7, bengkel las D memiliki 4 pekerja dan bengkel las E memiliki 7 pekerja. Jumlah populasi dari 5 bengkel pengelasan tersebut adalah 44 pekerja. Setelah dilakukan penghitungan, didapatkan hasil sebesar 19 pekerja dari bengkel las A, 2 pekerja dari bengkel las B, 6 pekerja dari bengkel las C, 3 pekerja dari bengkel las D dan 6 pekerja dari bengkel las E yang akan diambil secara acak dari masing-masing populasi pengelasan tersebut.

3.3.4 Kriteria Inklusi

- 1) Pekerja bengkel las yang pekerjaannya melakukan pengelasan.

3.3.5 Kriteria Eksklusi

- 1) Responden yang memiliki riwayat penyakit paru.

3.4 Variabel dan Definisi Operasional

3.4.1 Variabel penelitian

Variabel adalah suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang, objek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulan (Sugiyono, 2012).

Dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah

- a. Variabel bebas (*independent variable*) adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi perubahannya atau timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2012). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah karakteristik pekerja, suhu, dan kelembaban.
- b. Variabel terikat (*dependent variable*) adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2012). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah gangguan faal paru.

3.4.2 Definisi Operasional

Definisi operasional adalah suatu definisi yang diberikan kepada suatu variabel atau konstruk dengan cara memberikan arti ataupun memberikan suatu operasional yang diperlukan untuk mengukur konstruk atau variabel tersebut (Nazir, 2005).

Tabel 3.7 Definisi Operasional, Cara Pengumpulan Data, Skala dan Cara Pengukuran

No	Variabel	Definisi Operasional	Kategori	Teknik pengambilan data	Skala data
Variabel dependent					
1	Gangguan faal paru	Gangguan fungsi paru yang mengganggu proses pernafasan baik fase inspirasi atau ekspirasi.			
a.	Obstruktif	Terhambatnya aliran udara karena sumbatan atau penyempitan saluran nafas	0. obstruktif ringan: FEV1/FVC: 60-75%, 1. obstruktif sedang: FEV1/FVC: 40-59%, 2. obstruktif berat:	Pengukuran FVC dan FEV1 menggunakan spirometri	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Kategori	Teknik pengambilan data	Skala data
		sehingga akan mempengaruhi kemampuan ekspirasi	FEV1/FVC: <40%. (American Thoracic Society, 2004)		
b.	Restriktif	Gangguan paru yang menyebabkan kekakuan paru sehingga membatasi pengembangan paru dan berpengaruh pada inspirasi	0. restriktif ringan: FVC:60-80%, nilai prediksi 1. restriktif sedang: FVC:30-59%, nilai prediksi 2. restriktif berat: FVC <30%, nilai prediksi (American Thoracic Society, 2004)	Pengukuran FVC dan FEV1 menggunakan spirometri	Ordinal
c.	Gangguan faal paru mixed	Gangguan paru berupa kombinasi antara obstruktif dan restriktif	0. Restriktif ringan-obstruktif ringan: FVC:60-80% dan FEV1/FVC: 60-75%. 1. Restriktif ringan-obstruktif sedang: FVC:60-80% dan FEV1/FVC: 40-59%. 2. Restriktif ringan-obstruktif berat : FVC:60-80% dan FEV1/FVC: <40%. 3. Restriktif sedang-obstruktif ringan : FVC:30-59% dan FEV1/FVC: 60-75%. 4. Restriktif sedang-obstruktif sedang: FVC:30-59% dan FEV1/FVC: 40-59%. 5. Restriktif sedang-obstruktif berat: FVC:30-59% dan FEV1/FVC: <40%. 6. Restriktif berat-obstruktif ringan: FVC <30% dan FEV1/FVC: 60-75%. 7. Restriktif berat-obstruktif sedang: FVC <30% dan FEV1/FVC: 40-59%. 8. Restriktif berat-obstruktif berat : FVC <30% dan FEV1/FVC: <40%.	Pengukuran FVC dan FEV1 menggunakan spirometri	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Kategori	Teknik pengambilan data	Skala data
Variabel independent					
2.	Debu asap logam (<i>welding fume</i>)	Partikel padat yang berukuran 0,2 μ sampai 0,5 μ yang timbul dari elektroda jenis ilmenit dan hidrogen rendah	0. ≤ 10 mg/Nm ³ 1. > 10 mg/Nm ³ (Permenaker No 13 tahun 2011)	Pengukuran dengan <i>high volume dust sample</i>	Ordinal
3.	Gas CO	Gas tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa tidak bisa dilihat mata diproduksi dari proses pembakaran yang tidak sempurna	0. < 25 ppm 1. ≥ 25 ppm (Permenaker No 13 tahun 2011)	Pengukuran dengan menggunakan CO monitor	Ordinal
4.	Karakteristik Individu				
a.	Umur	Lama hidup responden sejak lahir sampai penelitian dilakukan	0. ≤ 20 tahun 1. 21-30 tahun 2. 31-40 tahun 3. 41-50 tahun 4. > 50 tahun	Wawancara dengan kuesioner	Ordinal
b.	Lama paparan	Waktu responden terpapar ditempat kerja dalam sehari dengan satuan jam/hari	0. ≤ 8 jam/hari 1. > 8 jam/hari (Permenaker No 13 tahun 2011)	Wawancara dengan kuesioner	Ordinal
c.	Masa kerja	Lama responden bekerja terhitung pertama kali bekerja sampai penelitian dilakukan dengan satuan tahun	0. ≤ 5 Tahun 1. 6-10 Tahun 2. > 10 Tahun	Wawancara dengan kuesioner	Ordinal
d.	Kebiasaan merokok	Kebiasaan membakar tembakau kemudian menghisap asapnya	0. Tidak merokok 1. Merokok	Wawancara dengan kuesioner	Nominal

No	Variabel	Definisi Operasional	Kategori	Teknik pengambilan data	Skala data
		baik menggunakan rokok atau pipa			
e.	Jumlah rokok	Banyaknya rokok yang dihisap setiap harinya dalam satuan hari	1. Perokok ringan: < 10 batang/hari 2. Perokok sedang: 10-20 batang/hari 3. Perokok berat: >20 batang/hari (Bustan , 2007).	Wawancara dengan kuesioner	Ordinal
f.	Penggunaan APD (Alat Pelindung Diri)	Kebiasaan menggunakan alat pelindung pernapasan pada saat bekerja	0. Ya, jika selalu menggunakan APD 1. Tidak, jika tidak menggunakan alat pelindung pernapasan saat bekerja	Wawancara dengan kuesioner	Nominal
g.	Status gizi	Keadaan tubuh responden pada saat penelitian akibat konsumsi makanan dan zat gizi diukur dengan menggunakan rumus (BB/TB ²) dengan satuan Kg/m ² . (Supariasa, 2012)	0. > 27: Obesitas 1. 25,1-27: <i>Overweight</i> 2. 18,5-25: Normal 3. < 18,5: Kurus (Depkes RI, 2005)	Pengukuran indeks masa tubuh (IMT) dengan mengukur tinggi badan menggunakan <i>microtoise</i> dan berat badan menggunakan <i>bathroomscale</i>	Ordinal
4.	Iklm kerja				
a.	Suhu	Ukuran derajat panas atau dingin suatu benda atau lingkungan	a. >30°C b. 18-30°C c. <18°C (Kepmenkes RI nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002)	Pengukuran dengan menggunakan <i>Thermohigrometer</i>	Ordinal
b.	Kelembaban	Presentase kandungan uap air yang terkandung di udara	a. > 95% b. 65-95% c. <65% (Kepmenkes RI nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002)	Pengukuran dengan menggunakan <i>Thermohigrometer/Heat Stress</i>	Ordinal

3.5 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

3.5.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Wawancara

Wawancara adalah suatu metode yang dipergunakan untuk mengumpulkan data, dimana peneliti mendapatkan keterangan atau informasi secara lisan dari seseorang sasaran penelitian (responden), atau bercakap-cakap berhadapan muka dengan orang tersebut (Notoatmodjo, 2010). Jenis wawancara yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian ini adalah wawancara terpimpin yang dilakukan berdasarkan pedoman-pedoman berupa kuesioner yang telah disiapkan sebelumnya, sehingga interviewer tinggal membacakan pertanyaan-pertanyaan kepada responden. Pertanyaan-pertanyaan dalam pedoman (kuesioner) tersebut disusun sedemikian rupa sehingga mencakup variabel-variabel yang berkaitan dengan hipotesisnya (Notoadmodjo, 2010). Dalam penelitian ini wawancara dilakukan untuk memperoleh data mengenai karakteristik responden.

b. Observasi

Observasi adalah suatu prosedur yang berencana, yang antara lain meliputi melihat, mendengar, dan mencatat sejumlah dan taraf aktivitas tertentu atau situasi tertentu yang ada hubungannya dengan masalah yang diteliti (Notoatmodjo, 2010). Teknik observasi digunakan untuk memperoleh data yang mendukung penelitian ini.

c. Dokumentasi

Metode dokumentasi adalah mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, lengger, agenda dan sebagainya (Arikunto, 2010). Dokumentasi dalam penelitian ini digunakan untuk memperoleh data awal sebagai latar belakang penelitian.

3.5.2 Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data adalah alat bantu yang digunakan peneliti untuk membantu peneliti memperoleh data yang dibutuhkan (Arikunto, 2010). Instrumen

pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuesioner untuk wawancara, *bathroomscale* dan *microtoise* untuk mengukur status gizi responden, spirometer untuk mengukur kapasitas paru, dan *high volume dust sampler* untuk mengukur kadar debu asap las (*welding fume*) dan CO monitor di tempat kerja. Instrumen pengumpul data pengelasan antara lain:

a. Kuesioner

Kuesioner merupakan panduan yang digunakan dalam melakukan wawancara terhadap responden untuk memperoleh data tentang karakteristik individu (umur, lama paparan, masa kerja, kebiasaan merokok dan kebiasaan penggunaan APD, status gizi).

b. Alat Ukur Status Gizi

Alat ukur yang digunakan adalah *microtoise* dan *bathroomscale*.

1) Pengukuran tinggi badan menggunakan *microtoise*

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a) Menempelkan *microtoise* dengan paku pada dinding yang lurus datar setinggi 2 meter dari lantai. Pada dinding lantai yang rata, angka akan menunjukkan angka nol.
- b) Melepaskan alas kaki. Responden harus berdiri tegak seperti sikap siap sempurna. Kaki lurus serta tumit, pantat, punggung dan kepala bagian belakang menempel pada dinding dan muka menghadap lurus ke depan.
- c) Menurunkan *microtoise* sampai pada kepala bagian atas, siku-siku harus menempel pada dinding. Baca angka pada skala yang nampak pada lubang dalam gulungan *microtoise*. Angka yang muncul tersebut menunjukkan tinggi badan yang diukur. Saat pembacaan skala angka, posisi pengukur harus sejajar dengan skala.

2) Pengukuran berat badan menggunakan *bathroomscale*

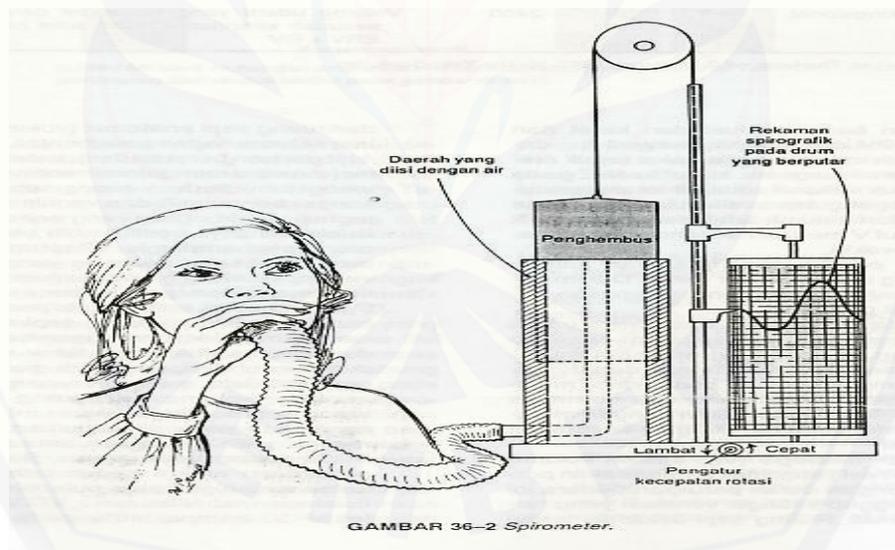
langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut :

- a) Memastikan jarum penunjuk berat badan menunjuk angka nol.

- b) Pakaian yang dikenakan usahakan seminimal mungkin, baju/ pakaian yang tebal dan alas kaki harus dilepas.
 - c) Responden berdiri di atas *bathroomscale* dan angka yang ditunjuk oleh jarum penunjuk adalah berat badan responden.
- c. Alat ukur kapasitas paru

Alat yang digunakan adalah *spirometer*. Berikut langkah langkah yang dilakukan:

- 1) Ukur tinggi badan dan berat badan
- 2) Mempersiapkan alat spirometri merk MIR SP 10 Spirometer
- 3) Menginput data nama, usia, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan, dan etnik atau ras pada spirometri.
- 4) Melakukan latihan pernapasan kurang lebih tiga kali melalui mulut.
- 5) Posisikan , ambil napas maksimal melalui mulut dan keluarkan pada pipa spirometri hingga muncul hasil pengukuran. Hasil pengukuran akan keluar mealui layar spirometer.



Gambar 3.5 Spirometer

Sumber: Wiryosumatro dan Okumura, 2014

- d. Pengukuran kadar debu asap logam (*welding fume*)
- 1) Lokasi dan jumlah titik pengukuran

Lokasi tempat pengukuran debu asap las (*welding fume*) ditempatkan pada ketinggian 0,5 sampai 1,5 m dari lantai dan jumlah titik pengukuran berjumlah 1 titik dari masing-masing bengkel pengelasan yang berukuran kecil dan 3 titik pengukuran pada bengkel yang luas.

2) Prinsip

Alat diletakkan pada titik pengukuran setinggi zona pernafasan, pengambilan contoh dilakukan selama beberapa menit hingga satu jam (sesuai kebutuhan dan tujuan pengukuran) dan kadar debu total yang diukur ditentukan secara gravimetri (SNI 16-7058-2004).

3) Peralatan

- a) *High volume dust sampler* (HDVS) dilengkapi dengan pompa pengisap udara dengan kapasitas 5 l/menit – 15 l/menit dan selang silikon atau selang teflon;
- b) Timbangan analitik dengan sensitivitas 0,01 mg;
- c) Pinset;
- d) Desikator, suhu $(20 + 1)$ C dan kelembaban udara $(50 + 5)\%$;
- e) *Flowmeter*;
- f) Tripod;

4) Bahan berupa: Filter hidrofobik (misal PVC, fiberglass) dengan ukuran pori 0,5 μm .

5) Prosedur kerja

a) Persiapan

- (1) Mempersiapkan filter yang diperlukan disimpan di dalam desikator selama 24 jam agar mendapatkan kondisi stabil.
- (2) Melakukan penimbangan filter kosong diperoleh berat konstan, minimal tiga kali penimbangan, sehingga diketahui berat filter sebelum pengambilan contoh, catat berat filter blanko dan filter contoh masing-masing dengan berat B_1 (mg) dan W_1 (mg). Masing-masing filter tersebut ditaruh di dalam holder setelah diberi nomor (kode).

- (3) Memasukkan filter contoh ke dalam *high volume dust sampler holder* dengan menggunakan pinset dan tutup bagian atas holder.
 - (4) Mengkalibrasi pompa pengisap udara dengan kecepatan laju aliran udara 10 l/menit dengan menggunakan flowmeter (flowmeter harus dikalibrasi oleh laboratorium kalibrasi yang terakreditasi)
- b) Pengambilan contoh
- (1) Menghubungkan HVDS pada poin di atas dengan pompa pengisap udara dengan menggunakan selang silikon atau teflon.
 - (2) Meletakkan HVDS pada titik pengukuran (di dekat tenaga kerja terpapar debu) dengan menggunakan tripod kira-kira setinggi zona pernafasan tenaga kerja sekitar 1,5 – 2 meter.
 - (3) Menghidupkan pompa pengisap udara dan lakukan pengambilan contoh dengan kecepatan laju aliran udara (*flowrate*) 10 l/menit.
 - (4) Lama pengambilan contoh dapat dilakukan selama beberapa menit hingga satu jam (tergantung pada kebutuhan, tujuan dan kondisi di lokasi pengukuran).
 - (5) Setelah selesai pengambilan contoh, pada bagian luar *holder* dibersihkan untuk menghindari kontaminasi.
 - (6) Filter dipindahkan dengan menggunakan pinset ke kaset filter dan dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam.
- c) Penimbangan
- (1) Filter blanko sebagai pembanding dan filter contoh ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik yang sama sehingga diperoleh berat filter blanko dan filter contoh masing-masing B2 (mg) dan W2 (mg).
 - (2) Mencatat hasil penimbangan berat filter blanko dan filter contoh sebelum pengukuran.
- d) Perhitungan

Kadar debu total di udara dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

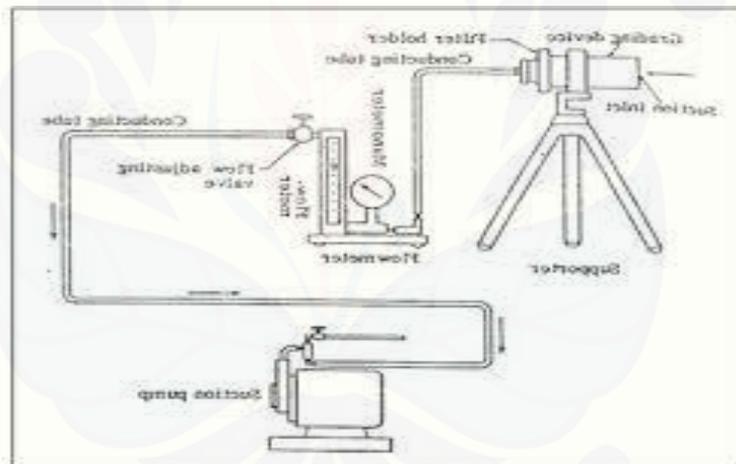
$$C = \frac{(W2 - W1) \pm (B2 - B1)}{V} \times 10^3 (\text{mg}/\text{m}^3)$$

dengan

$$V = v \times t$$

Keterangan:

- C : kadar debu total (mg/l) atau ($10^3 \text{ mg}/\text{m}^3$);
 W2 : berat filter contoh setelah pengambilan contoh (mg);
 W1 : berat filter contoh sebelum pengambilan contoh (mg);
 B2 : berat filter blanko setelah pengambilan contoh (mg);
 B1 : berat filter blanko sebelum pengambilan contoh (mg);
 V : volume udara pada waktu pengambilan contoh (dm^3).



Gambar 3.6 *High Volume Dust Sampler*

Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2014

e. Pengukuran kadar CO dengan menggunakan CO monitor

Langkah- langkah pengoperasian CO monitor sebagai berikut:

- a) Memeriksa keadaan fisik CO monitor dan pastikan dalam keadaan baik.
- b) Memasangkan baterai 9 volt pada bodi CO monitor.
- c) Menekan tombol ON untuk menghidupkan CO monitor.

- d) Memaparkan CO monitor selama 30 menit.
 - e) Dilayar display akan muncul angka yang dihasilkan dari paparan.
 - f) Catat angka yang muncul dilayar display.
 - g) Takan tombol OFF untuk mematikan CO monitor.
- f. Pengukuran suhu dan kelembaban
- 1) Prinsip
Alat diletakkan pada titik pengukuran saat pekerja melakukan kegiatannya, dengan menggunakan heat stress merek QUESTemp 34 *Thermal Environment Monitor*.
 - 2) Persiapan
 - a) Memastikan kain katun dalam kondisi bersih.
 - b) Mengisi reservoir dengan air yang sudah terdestilasi.
 - c) Memastikan peralatan dalam kondisi siap pakai.
 - 3) Pelaksanaan
 - a) Menempatkan alat di lokasi yang aman pada ketinggian $\pm 1,1$ m dari lantai.
 - b) Menghidupkan alat dengan menekan tombol "ON".
 - c) Biarkan 10 menit agar sensor stabil dan sesuai dengan kondisi lingkungan.
 - d) Pembacaan dimulai, pada awal display, alat akan menunjukkan WET dan DRY (Suhu Kering dan Suhu Basah).
 - e) Menekan panah (\downarrow), pada display akan terbaca Globe (Suhu Radiasi).
 - f) Menekan panah (\downarrow) lagi, pada display akan terbaca WBGT_i dan WBGT_o (ISSB Dalam Ruangan Dan ISBB Luar Ruangan).
 - 4) Prosedur kerja
 - a) Persiapan
Menyiapkan *Heat Stress Apparatus* dan pastikan dalam kondisi baik.
 - b) Penentuan lokasi pengukuran

- (1) Menempatkan *Heat Stress Apparatus* pada lokasi pengukuran sedekat mungkin dengan area kerja yang spesifik (tertentu) dimana tenaga kerja terpapar.
 - (2) Jika pekerja terpapar tidak hanya satu tempat saja yang panas tetapi berpindah pada dua atau lebih tempat kerja yang berbeda tingkat panasnya, maka pengukuran tekanan panas harus diukur setiap tempat kerjanya.
- 5) Prosedur kerja
- a) Menempatkan *Heat Stress Apparatus* pada lokasi pengukuran yang telah ditentukan.
 - b) Memaparkan *Heat Stress Apparatus* selama waktu tertentu.
 - c) Mencatat angka ditunjukkan oleh alat, meliputi suhu basah alami, suhu kering, suhu radiasi, kelembaban dan ISBB.

3.6 Data dan Sumber Data

Dalam penelitian ini menggunakan data primer. Data primer adalah yang langsung diperoleh dari sumber data pertama di lokasi penelitian atau objek penelitian (Bungin, 2005). Data primer dalam penelitian ini didapatkan dengan berbagai cara antara lain: wawancara, observasi dan hasil pengukuran (Sekaran, 2006). Data primer yang didapatkan dari wawancara, observasi dan pengukuran berupa data karakteristik individu, suhu, kelembaban, gangguan faal paru pada pekerja bengkel las.

3.7 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data merupakan kegiatan lanjutan setelah pengumpulan data dilaksanakan. Pada penelitian kuantitatif, pengolahan data secara umum dilaksanakan dengan melalui tahap memeriksa (*editing*), proses pemberian identitas (*coding*), dan proses pembeberan (*tabulating*) (Bungin, 2010).

3.7.1 Teknik Pengolahan Data

a. *Editing*

Editing adalah kegiatan yang dilakukan setelah peneliti selesai menghimpun data di lapangan. Kegiatan ini menjadi penting karena kenyataannya bahwa data yang terhimpun kadang kala belum memenuhi harapan peneliti, ada diantaranya kurang atau terlewatkan, tumpang tindih, berlebihan bahkan terlupakan. Oleh karena itu, keadaan tersebut harus diperbaiki melalui *editing* ini (Bungin, 2010).

b. *Coding*

Setelah tahap editing selesai dilakukan, kegiatan berikutnya adalah mengklasifikasikan data-data tersebut melalui tahapan coding. Hal ini bermaksud bahwa data yang telah diedit diberi identitas sehingga memiliki arti tertentu pada saat dianalisis (Bungin, 2010).

c. *Tabulating*

Tabulating merupakan bagian akhir dari pengolahan data. Maksud dari tabulasi adalah memasukkan data pada table-tabel tertentu dan mengatur angka-angka serta menghitungnya (Bungin, 2010).

3.7.2 Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini analisis data dilakukan dengan dua cara, yaitu:

a. Analisis Univariat (Analisis Deskriptif)

Analisi univariat bertujuan untuk menjelaskan atau mendeskripsikan karakteristik setiap variabel penelitian (Notoatmodjo, 2010). Dalam penelitian ini variabel yang akan dianalisis secara deskriptif adalah variabel bebas yaitu karakteristik pekerja (umur, lama bekerja, masa kerja, kebiasaan merokok dan kebiasaan penggunaan APD, status gizi) iklim kerja (suhu, kelembaban) serta debu asap las (*welding fume*) dan gas karbon monoksida (CO).

b. Analisis Bivariat

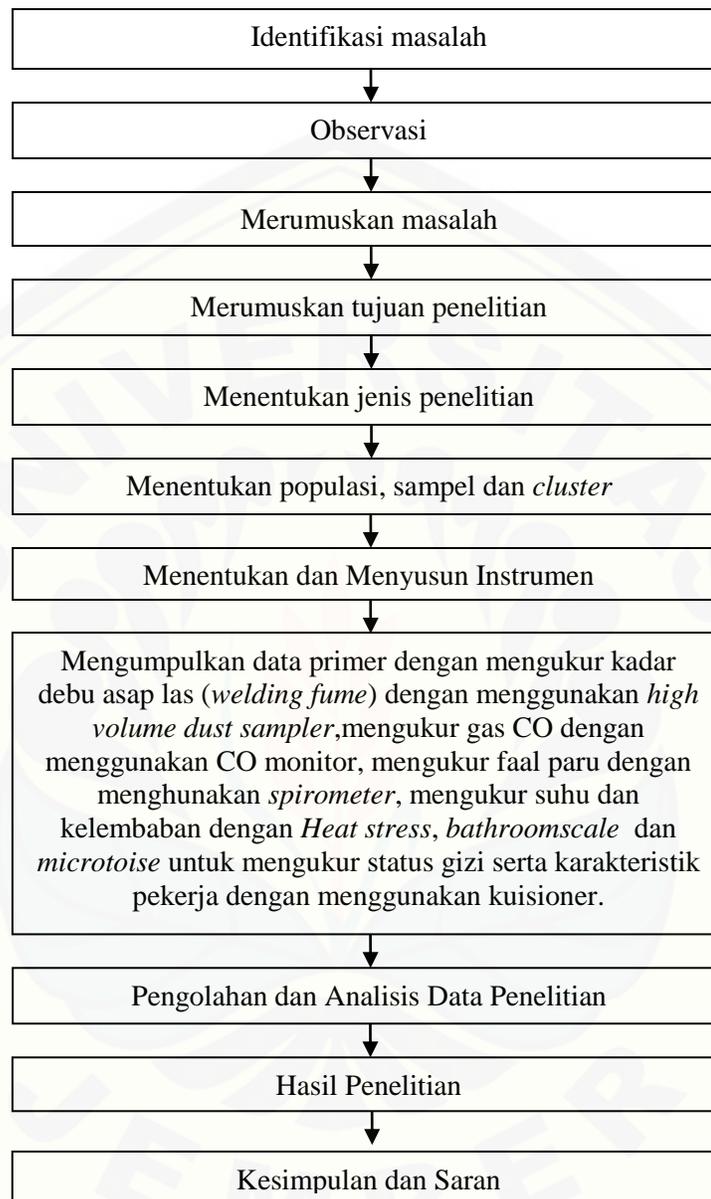
Analisis bivariat dilakukan terhadap dua variabel yang diduga berhubungan atau berkorelasi (Notoatmodjo, 2010). Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada tabel di bawah ini:

Table 3.8 Analisis Data Penelitian

No	Jenis Data	Jenis Analisis Data
1	Hubungan karakteristik individu dengan gangguan faal paru	<i>spearman</i>
2	Hubungan suhu dan kelembaban dengan gangguan faal paru	<i>spearman</i>
3	Hubungan paparan debu asap las (<i>welding fume</i>), gas karbon monoksida (CO) dengan gangguan faal paru	<i>spearman</i>

Uji statistic pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Program SPSS version 11,5*. Interval kepercayaan yang digunakan adalah 95% atau *level of significancy* 5% (0.05). Hipotesis nihil (H_0) ditolak jika $p < \alpha$, bila H_0 ditolak maka variabel yang diteliti dinyatakan ada hubungan atau ada pengaruh yang signifikan. Sebaliknya jika $p > \alpha$, maka H_0 diterima berarti antara variabel satu dengan variabel lainnya tidak ada perbedaan atau pengaruh.

3.8 Alur Penelitian



Gambar 3.7 Alur Penelitian