

**PAPARAN DEBU TERHIRUP DAN GANGGUAN FUNGSI
PARU PADA PEKERJA INDUSTRI BATU KAPUR
(STUDI DI DESA MRISI KECAMATAN TANGGUNGHARJO
KABUPATEN GROBOGAN)**



**Tesis
untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S - 2**

**Magister Kesehatan Lingkungan
Konsentrasi Kesehatan Lingkungan Industri**

**Oleh :
SITI YULAEKAH
E4B005061**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
TAHUN 2007**

PENGESAHAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis yang berjudul :

**PAPARAN DEBU TERHIRUP DAN GANGGUAN FUNGSI
PARU PADA PEKERJA INDUSTRI BATU KAPUR
(STUDI DI DESA MRISI KECAMATAN TANGGUNGHARJO
KABUPATEN GROBOGAN)**

Dipersiapkan dan disusun oleh

Nama : Siti Yulaekah

NIM : E4B005061

Telah dipertahankan di depan dewan penguji pada tanggal 8 Juni 2007 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Pembimbing I

dr. Mateus Sakundarno Adi, M.Sc
NIP. 131 875 459

Penguji I

dr. Onny Setiani, Ph.D
NIP. 131 958 807

Pembimbing II

H. Nurjazuli, SKM. M. Kes
NIP. 132 139 521

Penguji II

Soedjono, SKM. M. Kes
NIP. 140 090 033

Semarang, Juni 2007
Universitas Diponegoro
Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan
Ketua Program

dr. Onny Setiani, Ph.D
NIP. 131 958 807

PERNYATAAN

Saya, Siti Yulaekah, yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis yang saya ajukan ini adalah hasil karya saya sendiri yang belum pernah disampaikan untuk mendapatkan gelar pada program Magister Kesehatan Lingkungan maupun program lainnya. Karya ini adalah milik saya, karena itu pertanggungjawaban sepenuhnya berada di pundak saya.

Siti Yulaekah
E4B005061

” Dan, barangsiapa yang bertakwa kepada Allah niscaya Allah akan menjadikan baginya jalan kemudahan dalam urusannya. ” (QS. Ath – Thalaq : 4)

” Betapa banyak jalan keluar yang datang setelah rasa putus asa
Dan betapa banyak kegembiraan datang setelah kesusahan,
Siapa yang berbaik sangka pada Pemilik ’Arasy dia akan memetik
Manisnya buah yang dipetik di tengah – tengah pohon berduri ”
(Disadur dari buku ” La Tahzan ” Karya DR. ’Aidh bin Abdullah Al – Qarni)

Ketahuiilah, bahwa ilmu itu tidak dikehendaki untuk diketahui saja, melainkan dikehendaki untuk diketahui dan diamalkan, karena pahala amal itu dapat diraih berdasarkan pengamalan, bukan karena ilmu semata.
Tidakkah anda lihat bahwa ilmu itu apabila tidak diamalkan, maka akan berubah menjadi bencana dan senjata makan tuan ?
(Disadur dari buku “ Cambuk Hati “ Karya DR. ’Aidh bin Abdullah Al – Qarni)

” Dan sesungguhnya kemenangan akan datang bersama kesabaran dan jalan keluar akan datang bersama ujian dan sesungguhnya di balik kesukaran itu terdapat kemudahan ”
(Hadist riwayat Imam Ahmad)

Kupersembahkan karya ini kepada :

Suamiku Sugeng Rianto, Putraku Yusrio Fadhil Riandika Putra, Mertuaku, Saudara – Saudaraku dan teman-temanku yang dengan doa, cinta, kesabaran serta percikan semangat dalam setiap langkahku untuk merengkuh tujuan

Special Karya ini kupersembahkan untuk Alm. Ayah dan Alm. Ibuku Tercinta

KATA PENGANTAR

Berkat Rahmat Allah SWT dan dorongan keinginan yang kuat, sehingga penulis dapat menyusun tesis dengan judul "*Paparan Debu Terhirup Dan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Batu Kapur (Studi di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan)*".

Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat S2 pada Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan yang baik ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan tesis ini, antara lain :

1. Prof. Dr. dr. Suharyo Hadisaputro, Sp.PD-KTI, Ketua Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Onny Setiani, Ph. D, Ketua Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan dan sebagai penguji, atas ketulusannya mencurahkan perhatiannya sehingga memacu penulis untuk segera menyelesaikan tesis ini.
3. dr. Mateus Sakundarno Adi, M.Sc dan H. Nurjazuli, SKM, M.Kes, sebagai pembimbing I dan pembimbing II yang dengan penuh perhatian sejak awal selalu mengarahkan agar tetap konsisten untuk menulis topik sesuai dengan judul tesis.
4. Soedjono, SKM, M.Kes, sebagai penguji dan Kepala Seksi Penyehatan Lingkungan yang bersama – sama dengan stafnya mensupport penulis.

5. Pimpinan BP4 Semarang, BLK Semarang, Balai Pengembangan Keselamatan Kerja dan Hiperkes Semarang, yang membantu dalam pengukuran fungsi paru pekerja, kadar gas SO₂ udara, gas NO₂ udara dan kadar debu *respirable* pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.
6. Segenap keluarga, suami dan anakku tercinta yang selalu memberi semangat, memberi arti tersendiri bagi penulis.
7. Rekan - rekan sejawat, sanak saudara, handai taulan dan semua pihak yang telah membantu kelancaran pembuatan tesis ini, terima kasih atas segala bantuan dalam bentuk apapun.

Semoga bantuan, petunjuk, bimbingan dan pengarahan yang diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, meskipun demikian semoga masih dapat memberikan sumbangan betapapun kecilnya kepada dunia ilmu pengetahuan, masyarakat dan penulis lain.

Semarang,

Penulis

ABSTRAK

Siti Yulaekah

**PAPARAN DEBU TERHIRUP DAN GANGGUAN FUNGSI PARU PADA
PEKERJA INDUSTRI BATU KAPUR (STUDI DI DESA MRISI KECAMATAN
TANGGUNGHARJO KABUPATEN GROBOGAN)**

xv + 154 + 33 tabel + 8 gambar + 17 Lampiran

Pemaparan debu organik dan anorganik pada umumnya akan menyebabkan obstruksi pada saluran pernapasan yang ditunjukkan dengan penurunan % FEV₁/FVC. Pekerja industri batu kapur mempunyai risiko yang sangat besar untuk penimbunan debu terhirup pada saluran pernapasan. Absorpsi dari partikel – partikel debu terhirup terjadi hanya lewat paru – paru melalui mekanisme pernapasan.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hubungan paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggungharjo Kabupaten Grobogan. Penelitian ini merupakan penelitian *observasional* dengan desain *cross sectional*, jumlah sampel 60 orang. Pemilihan sampel dilakukan dengan teknik rancangan *systematic probability sampling*. Analisis data untuk mengetahui hubungan paparan debu terhirup dengan fungsi paru pekerja mempertimbangkan jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, olah raga, status gizi, penggunaan APD dan lama paparan, menggunakan uji *chi square*, berstrata, analisis multivariat dengan uji Regresi Logistik metode *backward stepwise*.

Hasil penelitian menemukan bahwa paparan debu terhirup mempunyai hubungan yang bermakna dengan terjadinya gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,02$ dan OR = 5,833 CI 95 % (1,865 – 18,245) serta probabilitas terjadinya gangguan fungsi paru bagi responden yang bekerja di tempat kerja dengan konsentrasi debu terhirup di atas NAB 3 mg/m³ adalah 68,6 %. Sebagai isu utama dari penelitian ini adalah pekerja wanita lebih banyak yang terpapar debu, status gizi normal dan penggunaan APD mempunyai hubungan yang bermakna dengan terjadinya gangguan fungsi paru.

Rekomendasi penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah/instansi terkait pada umumnya dan Dinas Kesehatan pada khususnya untuk dapat dipergunakan sebagai acuan pelaksanaan program yang berkaitan dengan efek merugikan dari pekerjaan terhadap kesehatan pekerja dan monitoring lingkungan kerja serta *surveilans* kesehatan kerja. Agar program tersebut berjalan secara optimal perlu dilakukan promosi kesehatan kerja di tempat kerja

Kata Kunci : Paparan Debu Terhirup, Gangguan Fungsi Paru, Pekerja, Industri Batu Kapur

Kepustakaan : 83 (1984 – 2006)

ABSTRACT

Siti Yulaekah

INHALED DUST EXPOSURE AND LUNG FUNCTION DISORDER ON WORKERS IN LIMESTONE INDUSTRY (STUDY AT VILLAGE OF MRISI, SUB DISTRICT OF TANGGUNGHARJO, GROBOGAN REGENCY)

xv + 154 pages + 33 tables + 8 figures + 17 attachments

Exposed to low concentration of inhaled dust for a long time can cause respiratory tract disorders such as restriction, obstruction or mixed. Generally, organic and non organic dust exposure will effect on obstruction of respiratory tract, which is indicated by decreasing of FEV₁/FVC. Workers of limestone industries have a high risk from inhaled dust deposition on their respiratory tract. Absorption of inhaled dust particles in the lung is occurred by respiration mechanism.

This research purpose was to analyze association between inhaled dust exposure and lung function disorder on workers in limestone industry (Study at Village of Mrisi, Sub District of Tanggungharjo) in Grobogan Regency. This research was an *observational* study using *cross sectional* approach for 60 samples. Sample was carried out by using a *systematic probability sampling*. Data were analyzed by using *Chi Square* test after controlling for gender, age, working years, smoking habit, exercise, nutrient status, awareness in using Personal Protective Equipment and time of exposure. Multivariate analysis was carried out by *Logistic Regression* test with the method of *backward stepwise*.

The result of this research shows that inhaled dust exposure significantly influences the occurrence of lung function disorder ($p = 0.02$ and Odds Ratio = 5.833 with 95%CI : 1.865 – 18.245). Probability of inhaled dust exposure factor toward lung function disorder which is assessed by *Logistic Regression* formula resulted in inhaled dust exposure over the Threshold Limit Value of 3 mg/m³ is 68.6%. Most of respondents who are exposed by dust and have significant association with the occurrence of lung disorder have some characteristics namely female, normal nutrient status, and awareness in using Personal Protective Equipment.

The recommendation of this research is expected to be an input for local government and Health Service in particular, in making guidelines of the programs related to harmful effects from the workplace to the workers health, as well as for the needs of workplace monitoring and occupational health surveillance. Therefore, to make the programs succeed, it needs occupational promotion.

Key Words : Inhaled Dust Exposure, Lung Function Disorder, Workers,
Limestone Industry

Bibliography : 83 (1984 - 2006)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini pencemaran udara telah menjadi masalah kesehatan lingkungan utama di dunia, khususnya di negara berkembang, baik pencemaran udara dalam ruangan maupun udara ambien di perkotaan dan pedesaan.¹ Di banyak kota, terutama di negara – negara sedang berkembang yang urbanisasinya tumbuh pesat, pencemaran udara telah merusak sistem pernapasan, khususnya bagi orang yang lebih tua, lebih muda, para perokok dan mereka yang menderita penyakit – penyakit kronis saluran pernapasan.² Menurut WHO, penyakit pernapasan dari akut sampai dengan kronis telah menyerang 400 - 500 juta orang di negara berkembang.³

Di pedesaan atau pedalaman pencemaran udara terjadi karena eksploitasi sumber daya alam, baik secara tradisional maupun modern. Industri batu kapur merupakan salah satu kegiatan di pedesaan yang kontribusinya terhadap pencemaran udara cukup besar. Batu kapur atau *limestone*, adalah sedimen yang banyak mengandung organisme laut yang telah mati yang berubah menjadi kalsium karbonat. Batuan ini merupakan hasil penumpukan dan sedimentasi ribuan tahun yang lalu, membentuk bebatuan *masif* berwarna putih kekuningan sampai kecoklatan. Mineral murni batu kapur mengandung CaCO_3 sebagai kalsit (*calcite*).

Kebanyakan batu kapur komersial mengandung oksida besi, alumina, magnesia, silika dan belerang, dengan CaO (22 – 56 %) dan MgO (sekitar 21 %) sebagai komponen utamanya. Di masa dahulu batu kapur dipakai sebagai pengeras tembok, namun dalam industri modern dipakai sebagai bahan pembuat semen. Kapur dipakai dalam sektor pertanian dan perkebunan untuk mengurangi keasaman tanah (menaikkan pH). Agar dapat digunakan sebagai campuran pupuk, batu kapur harus dibakar sehingga dihasilkan kapur tohor (CaO). Secara teoritis, pada proses ini diemisikan gas – gas hasil pembakaran seperti NO₂, SO₂ dan CO yang menambah pencemaran udara.⁴

Partikel – partikel kapur bersifat iritan namun tidak tergolong karsinogen. Industri batu kapur telah mencemari udara dengan debu dan gas – gas hasil pembakaran batu kapur menjadi kapur tohor. Debu dan gas – gas yang disebabkan oleh proses pengolahan batu kapur akan berada di lingkungan kerja, hal ini akan berakibat tenaga kerja terpapar debu kapur dan gas – gas pada konsentrasi maupun ukuran yang berbeda – beda.⁵ Efek utama debu kapur terhadap tenaga kerja berupa kelainan paru baik bersifat akut dan kronis, terganggunya fungsi fisiologis, iritasi mata, iritasi sensorik serta penimbunan bahan berbahaya dalam tubuh. Efek terhadap saluran pernapasan adalah terjadinya iritasi saluran pernapasan, peningkatan produksi lendir, penyempitan saluran pernapasan, lepasnya silia dan lapisan sel selaput lendir serta kesulitan bernapas.⁶ Deteksi dini tenaga kerja industri batu kapur harus dilakukan secara dini agar tidak berlanjut menjadi Penyakit Paru Obstruksi Kronik (PPOK) yang *irreversible*. Pekerja industri batu kapur sering terpapar dengan debu dan gas, dianjurkan untuk memeriksa faal paru

setiap tahun, pada mereka yang abnormal jangka waktu pemeriksaan ulangan dapat diperpendek.⁷

Paru merupakan organ manusia yang mempunyai fungsi sebagai ventilasi udara, difusi O₂ dan CO₂ antara alveoli dan darah, transportasi O₂ dan CO₂ serta pengaturan ventilasi serta hal – hal lain dari pernapasan.⁸ Fungsi paru dapat menjadi tidak maksimal oleh karena faktor dari luar tubuh atau faktor *ekstrinsik* yang meliputi kandungan komponen fisik udara, komponen kimiawi dan faktor dari dalam tubuh penderita itu sendiri atau *instrinsik*.⁹ Faktor *ekstrinsik* yang pertama adalah keadaan bahan yang diinhalasi (gas, debu, uap). Ukuran dan bentuk berpengaruh dalam proses penimbunan debu, demikian pula dengan kelarutan dan nilai higroskopisnya. Komponen yang berpengaruh antara lain kecenderungan untuk bereaksi dengan jaringan di sekitarnya, keasaman atau tingkat alkalinitas (dapat berupa silia dan sistem enzim). Bahan tersebut dapat menimbulkan fibrosis yang luas di paru dan dapat bersifat antigen yang masuk paru. Faktor *ekstrinsik* lainnya adalah lamanya paparan, perilaku merokok, perilaku penggunaan alat pelindung diri (APD) terutama yang dapat melindungi sistem pernapasan dan kebiasaan berolah raga. Faktor *instrinsik* dari dalam diri manusia juga perlu diperhatikan, terutama yang berkaitan dengan sistem pertahanan paru, baik secara anatomis maupun fisiologis, jenis kelamin, riwayat penyakit yang pernah diderita, *indeks massa* tubuh (IMT) penderita dan kerentanan individu.¹⁰

Penumpukan dan pergerakan debu pada saluran napas dapat menyebabkan peradangan jalan napas. Peradangan ini dapat mengakibatkan penyumbatan jalan napas, sehingga dapat menurunkan kapasitas paru.¹¹ Dampak paparan debu yang

terus menerus dapat menurunkan faal paru berupa obstruktif.⁶ Akibat penumpukan debu yang tinggi di paru dapat menyebabkan kelainan dan kerusakan paru. Penyakit akibat penumpukan debu pada paru disebut *pneumoconiosis*. Salah satu bentuk kelainan paru yang bersifat menetap adalah berkurangnya elastisitas paru, yang ditandai dengan penurunan pada kapasitas vital paru. Prevalensi yang tinggi kasus ini berkorelasi dengan biaya kesehatan yang ditanggung oleh perusahaan untuk pengobatan dan rehabilitasi penderita. Untuk mengetahui secara dini, penegakan diagnosis kasus penurunan kapasitas paru harus dilakukan secara rutin, minimal setahun sekali dengan melakukan pengukuran kapasitas paru.

Industri batu kapur umumnya merupakan industri informal. Industri informal biasanya dikelola oleh masyarakat dengan teknologi yang masih sederhana, tanpa banyak tersentuh oleh peraturan perundangan, sehingga segala peraturan yang berkaitan dengan perlindungan kesehatan dan keselamatan terhadap tenaga kerja serta masyarakat sekitarnya kurang mendapat perhatian.¹²

Data penyakit akibat kerja dari Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Tengah merupakan hasil survei pemeriksaan fungsi paru pada 80 orang pekerja formal dan 120 orang pekerja informal, pada tahun 2004 di 5 (lima) Kabupaten (Semarang, Jepara, Cilacap, Rembang, Pekalongan) dengan hasil yaitu 83,75 % pekerja formal dan 95 % pekerja informal mengalami gangguan fungsi paru.

Salah satu langkah untuk mengatasi percepatan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur tersebut adalah melakukan diagnosis dini, dengan melakukan pengukuran fungsi paru, sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan.¹³

Salah satu sentra industri batu kapur di Kabupaten Grobogan, terletak di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan. Industri batu kapur ini merupakan usaha kegiatan turun temurun dari orang tua, jumlah industri yang aktif 83 buah dengan kapasitas produksi 2.490 ton/bulan. Industri kapur menyerap tenaga kerja sekitar 205 orang, terdiri dari 132 pekerja laki – laki dan 73 pekerja perempuan, berasal dari daerah setempat. Dari pengamatan pendahuluan terhadap 41 pekerja, 38 (92,68 %) pekerja bekerja tanpa menggunakan APD, seperti masker, sarung tangan, sepatu boot dan kaca mata. Pembakaran batu kapur yang sering disebut “ Tobong “ terletak di tengah perkampungan penduduk, pada saat produksi hal yang paling menyolok adalah tebalnya debu, asap disertai bau menyengat di udara baik debu yang berasal dari bubuk kapur maupun dari pembakaran bahan bakar yang menggunakan batu bara. Data penyakit ISPA pada puskesmas Tanggunharjo di desa Mrisi selama 3 tahun berturut – turut mengalami kenaikan. Tahun 2003 : 116 orang, tahun 2004 : 151 orang dan tahun 2005 : 164 orang. Di wilayah Puskesmas Tanggunharjo, penyakit ISPA menduduki urutan pertama dalam urutan sepuluh besar penyakit selama 5 tahun berturut - turut. (Dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2005).

Baku Mutu Udara Emisi Sumber Tidak Bergerak Tingkat Provinsi Jawa Tengah berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor : 10 Tahun 2000 untuk parameter debu (TSP) = 350 mg/m^3 , $\text{SO}_2 = 800 \text{ mg/m}^3$ sedangkan $\text{NO}_2 = 1.000 \text{ mg/m}^3$. Dari hasil pengukuran terhadap 3 (tiga) parameter tersebut yang telah dilakukan oleh Kantor Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Kabupaten Grobogan di area pemukiman penduduk yang dekat dengan lokasi

industri batu kapur selama 3 (tiga) tahun terakhir (2003 – 2005) dapat diketahui bahwa untuk 2 (dua) parameter, yaitu SO₂ (0 mg/m³, 1,78 mg/m³, 2,04 mg/m³) dan NO₂ (1,74 mg/m³, 0,29 mg/m³, 0,30 mg/m³) masih di bawah nilai ambang batas (NAB), sedangkan untuk debu (1.927,24 mg/m³, 334 mg/m³, 255,5 mg/m³) walaupun terlihat ada kecenderungan menurun untuk setiap tahunnya akan tetapi nilai tersebut masih di atas NAB yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil pemeriksaan spirometer yang dilakukan oleh Balai Pencegahan dan Pengobatan Penyakit Paru (BP4) Semarang pada bulan Juli 2006 terhadap 10 (sepuluh) pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan untuk mengetahui kondisi fungsi paru pekerja, diperoleh hasil 4 orang (40 %) kondisi parunya masih dalam keadaan normal, sedangkan 6 orang (60 %) sudah mengalami gangguan restriksi ringan, restriksi sedang, obstruksi ringan, obstruksi sedang dan kombinasi restriksi berat obstruksi berat. Hal ini dapat memberikan gambaran bahwa pekerjaan industri batu kapur mempunyai risiko terjadinya gangguan fungsi paru bagi pekerjaanya.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil pengukuran kualitas udara ambien yang dilakukan oleh Kantor Pengendalian Dampak Kabupaten Grobogan pada bagian produksi industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan, pada tanggal 9 September 2006 diperoleh hasil SO₂ : 0,504 mg/m³, NO₂ : 0,396 mg/m³ dan debu : 1.852,9 mg/m³ sedangkan pemeriksaan pada tanggal 13 September 2006 diperoleh hasil SO₂ : 0,698 mg/m³, NO₂ : 0,495 mg/m³ dan debu : 1.038,7 mg/m³.

Untuk parameter SO₂ dan NO₂ masih di bawah NAB, tetapi parameter debu jauh di atas NAB. Pada Tahun 2001 sampai dengan 2005 (lima tahun berturut – turut) di wilayah Puskesmas Tanggunharjo, penyakit ISPA menduduki urutan pertama dalam urutan sepuluh besar penyakit. Hasil pemeriksaan spirometer oleh BP4 Semarang pada survai pendahuluan, terdapat 60 % pekerja mengalami gangguan fungsi paru dengan kategori restriksi ringan, restriksi sedang, obstruksi ringan, obstruksi sedang dan kombinasi restriksi berat obstruksi berat. Dari pengamatan pendahuluan terhadap 41 pekerja, 38 (92,68 %) pekerja bekerja tanpa menggunakan APD, seperti masker, sarung tangan, sepatu boot dan kaca mata. Hasil wawancara penulis dengan beberapa pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi ternyata pekerja tersebut mengalami keluhan debu, asap dan bau menyengat yang ditimbulkan dari pembakaran batu kapur dengan bahan bakar batu bara. Hal tersebut dapat menimbulkan rasa tidak nyaman dan terjadinya penyakit saluran pernapasan sebagai akibat penimbunan debu dalam paru pekerja. Apabila kondisi ini dibiarkan dimungkinkan penyakit akibat kerja semakin meningkat sehingga perlu dilaksanakan pemeriksaan kesehatan untuk mengetahui apakah pekerjaan yang dilakukan di lingkungan berdebu telah menimbulkan gangguan fungsi paru. Hal ini sebagai upaya pencegahan yang bertujuan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan pekerja.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, dengan topik dalam penelitian ini adalah paparan debu terhirup dan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur (Studi di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan).

Pertanyaan penelitian yang diajukan adalah “ Apakah ada hubungan antara paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru (restriksi, obstruksi dan mixed) pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan ? “

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Mengetahui hubungan paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.

2. Tujuan Khusus

- a. Mengukur kapasitas fungsi paru pekerja menggunakan spirometer.
- b. Mengukur kadar debu *respirable* (terhirup) dengan menggunakan *personal dust sampler* (PDS).
- c. Mengukur konsentrasi SO₂ udara dengan menggunakan *spektrofotometer* dengan metode *pararosanilin*.
- d. Mengukur konsentrasi NO₂ udara dengan menggunakan *spektrofotometer* dengan metode *saltzman*.
- e. Menganalisis hubungan paparan debu terhirup dengan fungsi paru pekerja industri batu kapur dengan mempertimbangkan faktor jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, kebiasaan olah raga (OR), status gizi, kebiasaan penggunaan APD dan lama paparan.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi dan menambah pengetahuan tentang efek paparan debu terhadap gangguan fungsi paru di lingkungan kerja industri batu kapur kepada pengusaha, pekerja, Kepala Desa dan Kepala Puskesmas.
2. Memberikan saran bagi pengusaha dan pekerja tentang kesadaran kebiasaan penggunaan APD sebagai upaya meningkatkan kesehatan kerja di lingkungan kerja industri batu kapur.
3. Pengendalian dini terhadap pencemaran udara di lingkungan industri batu kapur untuk mencegah efek kesehatan yang merugikan di kalangan pekerja.
4. Memberikan manfaat bagi program kesehatan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut pada industri batu kapur di daerah / tempat lain.
5. Memberikan informasi pada instansi kesehatan masyarakat dalam pelayanan kesehatan yang paripurna (*promotif, preventif, kuratif dan rehabilitatif*).

E. Keaslian Penelitian

Dari studi pustaka, yang melakukan penelitian tentang hubungan debu kapur dengan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur di Indonesia belum banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan antara lain seperti tercantum dalam tabel 1.1. :

Tabel 1.1. Beberapa Penelitian Tentang Gangguan Fungsi Paru

No.	Peneliti dan Desain	Subyek	Tujuan	Hasil
1.	Balai Pencegahan dan Pemberantasan Penyakit Paru Kab. Klaten Tahun 2004 <i>Cross sectional.</i>	154 pekerja industri pembakaran batu gamping dan masyarakat sekitar industri di Klaten.	Menganalisis pengaruh debu pembakaran batu gamping terhadap GFP pekerja dan masyarakat sekitar.	Debu berpengaruh terhadap fungsi paru dengan OR = 4,86.
2.	Harre (<i>Journal Thorax</i> , Vol. 52, 1997) <i>Case control</i>	40 penderita PPOK berusia 50 tahun ke atas yang bertempat tinggal di Ibukota selandia baru	Mengetahui hubungan antara polusi udara NO ₂ , SO ₂ , CO ₂ dengan kejadian PPOK	Kejadian PPOK pada kelompok yang terpapar polusi udara NO ₂ , SO ₂ , CO ₂ , 6x lebih besar dibandingkan yang tidak terpapar polusi udara NO ₂ , SO ₂ , CO ₂
3	Ernomo Gatot Praktinyo, 2003 <i>Cross sectional</i>	120 responden pekerja pengolahan batu kapur di Kab. Banyumas	Mengetahui hubungan merokok pada pekerja tambang batu kapur terhadap kapasitas paru.	Merokok berpengaruh terhadap fungsi paru dengan OR = 5,3.
4	Ady Setiawan, 2002 <i>Cross sectional</i>	234 karyawan PT. Semen Cibinong Pabrik Cilacap	-Mengetahui hubungan kadar TSP dengan fungsi paru di lingkungan industri semen Cibinong pabrik Cilacap. -Menghitung besarnya RP pada paparan TSP tinggi dan rendah terhadap terjadinya gangguan fungsi paru karyawan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pengujian korelasi parsial menunjukkan bahwa ada hubungan negatif antara kadar TSP dengan FP. ▪ RP pada paparan TSP tinggi dan rendah terhadap terjadinya gangguan fungsi paru karyawan adalah 1,12, berarti bahwa paparan TSP merupakan faktor risiko untuk terjadinya gangguan Fungsi Paru
5.	Budi Utomo, 2005 <i>Case Control</i> (Pekerja Industri Penambangan Batu Kapur di Desa Darmakradenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas)	63 pekerja dengan kelainan kapasitas paru kombinasi restriksi dan obstruksi. 63 pekerja dengan kondisi kapasitas paru sebagai <i>control</i>	Untuk mengetahui pengaruh antara faktor – faktor <i>intrinsik</i> dan <i>ekstrinsik</i> dengan kejadian penurunan kapasitas paru.	Kadar debu lebih dari 350 mg/m ³ udara/hari (OR = 2,8 ; 95 % CI = 1,8 – 9,9) merupakan salah satu faktor <i>intrinsik</i> yang terbukti berhubungan dengan penurunan kapasitas paru.

Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti adalah pada :

1. Parameter yang diperiksa beberapa peneliti terdahulu pada pekerja industri batu kapur, umumnya hanya debu total saja. Sedangkan yang dilakukan peneliti selain memeriksa gas SO₂ dan NO₂, juga memeriksa kadar debu terhirup (*respirable*) yang terinhalasi secara perorangan dengan menggunakan *Personal Dust Sampler*.
2. Lokasi Penelitian yang dilakukan di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.

F. Ruang Lingkup Penelitian

- a. Ruang lingkup materi penelitian yang dilakukan terbatas pada hubungan pencemaran udara debu kapur terhadap fungsi paru pekerja industri batu kapur.
- b. Lingkup keilmuan penelitian ini merupakan lingkup keilmuan kesehatan lingkungan khususnya kesehatan lingkungan industri.
- c. Lingkup metoda penelitian ini termasuk *observation research*, metoda yang dipergunakan adalah survey dengan pendekatan *cross sectional*.
- d. Lingkup lokasi penelitian adalah Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.
- e. Lingkup waktu penelitian dilaksanakan bulan Agustus 2006 sampai dengan Pebruari 2007.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Udara

Udara tidak pernah bersih tetapi selalu mengandung partikel – partikel asing yang jika konsentrasinya terlalu tinggi dapat menyebabkan kualitas udara berkurang atau tidak berfungsi sesuai peruntukannya. Hal ini tercantum dalam Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 02/MENKLH/1988, yang menyatakan bahwa pencemaran udara, adalah : ¹⁴

Masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan / atau komponen lain ke dalam udara dan / atau berubahnya tatanan (komposisi) udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Berdasarkan definisi di atas dapat disimpulkan bahwa setiap pembebasan bahan atau zat ke udara tidak harus selalu dikatakan pencemaran udara selama bahan tersebut secara potensial tidak mengubah stabilitas kualitas udara dan untuk menimbulkan gangguan harus dipenuhi dahulu angka batas.

Pencemaran udara luar ruang berasal dari proses – proses alam (letusan gunung berapi, kebakaran hutan) serta akibat kegiatan manusia, meliputi sumber bergerak (transportasi) dan tidak bergerak (industri, limbah rumah tangga).

Asal pencemaran udara dapat diterangkan dengan 3 (tiga) proses, yaitu atrisi (*attrition*), penguapan (*vaporization*) dan pembakaran (*combustion*). Dari ketiga proses tersebut di atas, pembakaran merupakan proses yang sangat dominan dalam kemampuannya menimbulkan bahan polutan.

Jenis pencemar udara primer yang dihasilkan umumnya berupa gas, meliputi CO, NO_x, HC, SO_x dan partikel. Kecepatan dan arah angin sangat berpengaruh terhadap pencemaran udara luar ruangan karena angin kencang yang bergolak kuat menyebabkan konsentrasi pencemar menjadi encer, sedangkan angin reda bergolak lemah menyebabkan konsentrasi menjadi pekat dan kecepatan angin ini dapat menjadi petunjuk arah penyebaran dan fluktuasi konsentrasi pencemar di udara.¹⁵

Tercemar atau tidaknya udara di suatu daerah dapat ditentukan dengan kriteria pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kriteria Udara Bersih Dan Udara Tercemar

No.	Parameter	Udara Bersih	Udara Tercemar
1.	Bahan partikel	0,01 – 0,02 mg/m ³	0,07 – 0,7 mg/m ³
2.	SO ₂	0,003 – 0,02 ppm	0,02 – 2 ppm
3.	CO	< 1 ppm	5 – 200 ppm
4.	NO ₂	0,003 – 0,02 ppm	0,02 – 0,1 ppm
5.	CO ₂	310 – 330 ppm	350 – 700 ppm
6.	Hidrokarbon	< 1 ppm	1 – 20 ppm

Sumber : Buletin WHO, 1986

Sentra industri kapur di Kabupaten Grobogan terletak di daerah Kecamatan Tanggunharjo, Kabupaten Grobogan. Salah satunya di Desa Mrisi. Proses pembuatan kapur dilakukan dengan cara membakar batu kapur dalam tobong pembakaran dengan media pembakaran batu bara. Adapun mekanisme pembakaran batu kapur dengan cara berlapis, yaitu :

1. Lapisan pertama dalam tobong diisi terlebih dahulu dengan batu bara.
2. Lapisan kedua diisi dengan batu kapur.
3. Lapisan ketiga diisi dengan garam

Demikian seterusnya hingga tobong penuh. Setelah tobong penuh baru dilakukan pembakaran. Pembakaran awal mempergunakan kayu bakar, hal ini dimaksudkan untuk mengaktifkan batu bara dalam tobong. Setelah batu bara dalam tobong terbakar maka mulut pembakaran ditutup. Agar nyala batu bara tetap besar diberi dorongan angin yang berasal dari blower. Proses pembakaran ini berlangsung selama lima hari lima malam. Batu bara teknik berlapis mengemisikan asap dan bau yang amat tajam.

Pengusaha tobong beralih ke bahan bakar batu bara, karena kesulitan mendapatkan bahan bakar kayu. Dampak negatif terhadap pemakaian bahan bakar batu bara adalah emisi gas yang mencemari udara berupa *hidro carbon* (HC), *sulfur dioksida* (SO₂), *nitrogen dioksida* (NO₂), *carbon monoksida* (CO), *carbon dioksida* (CO₂) dan debu.¹⁶

“Pembakaran biomassa dan batu bara menghasilkan kombinasi polutan yang berasosiasi dengan berbagai tingkat kejadian ISPA, PPOK, asma, kanker, *nasopharynx*, *larynx*, kanker paru (*for coal smoke*), TBC dan penyakit mata“.¹⁷

Pertambangan batu bara Indonesia pada umumnya memproduksi batu bara dengan *calorific value* bervariasi antara 5.000 – 7.000 Kcal/Kg, dengan kadar abu dan belerang yang rendah. Kadar belerang dalam batu bara yang dihasilkan di Indonesia umumnya di bawah 1,0 %, dengan emisi gas SO₂ yang rendah.

Batu bara dan minyak bumi mengandung sejumlah kecil (0,5 – 5 % massa) sulfur yang merupakan bahan pengotor. Bila bahan bakar dibakar, kotoran – kotoran sulfur bereaksi dengan O₂ dan menghasilkan SO₂. Gas tersebut keluar melalui cerobong asap dan masuk ke dalam atmosfer. Dalam beberapa hari sebagian besar dari SO₂ di atmosfer tersebut dikonversi menjadi SO₃, yang kemudian bereaksi dengan air di udara untuk membentuk droplet dari asam sulfat (H₂SO₄). Kabut atmosfer dari asam sulfat tersebut dapat merusak logam dan bahan – bahan lainnya menyebabkan iritasi pada mata serta merusak paru – paru.⁴

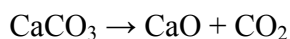
Berdasarkan hasil analisa kimia laboratorium geokimia Direktorat Vulkanologi Yogyakarta terhadap contoh batu kapur diketahui bahwa unsur kimia terbanyak dari batu kapur adalah CaO, SiO₂, MgO dan unsur lain. Proses pengolahan batu kapur secara umum, meliputi pemecahan batu kapur, pengisian ke dalam tanur, pembakaran, pengambilan/pembongkaran, pengecoran dengan air, pengadukan dan pengemasan. Sebelum menjadi serbuk, batu kapur dibakar dahulu di atas tungku selama 5 (lima) hari, disini akan terjadi reaksi dekomposisi CaCO₃ dan melepas CO₂ ke udara.¹⁸

Secara umum pembuatan kapur tohor, meliputi :¹⁹

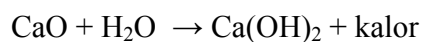
1. Kalsinasi pada suhu 900 – 1.000 ° C sehingga terurai menjadi CaO dan CO₂.
2. CO₂ dilepaskan ke udara.

3. Dari kalsinasi terbentuk kapur tohor (CaO) dan kapur padam/mati Ca(OH)₂, yaitu setelah CaO disiram air.

Jika pembakaran batu kapur dilakukan pada suhu sekitar 900 ° C, maka diperoleh CaO dengan reaksi :



Hasil pembakaran masih berbentuk padat, disebut kapur tohor yang kaya akan CaO. Selanjutnya kapur tohor diolah menjadi kapur padam dengan penambahan air dan reaksinya menghasilkan kalor. Adapun persamaan reaksinya :



Kalor yang dihasilkan dari reaksi ini sangat besar dan menghasilkan panas serta menimbulkan partikel CaO ke udara.¹⁸

Produk CaO hasil pembakaran dengan batu bara lebih disukai karena bakarannya lebih tua (suhu lebih tinggi) dan lebih bersih karena abu tidak bercampur.¹⁹ Batu kapur sangat luas kegunaannya. Dapat digunakan sebagai CaCO₃ maupun setelah dikalsinasi CaO dan diseduh menjadi Ca(OH)₂. Sebagai CaCO₃ untuk keperluan pertanian/perkebunan, filter untuk cat, sabun, pasta gigi dan lain – lain. Dapat juga digunakan untuk filter kertas.

Kalsium Oksida (CaO) berupa bubuk, berwarna putih sampai agak kuning atau coklat tergantung pada pengotoran besi di dalamnya, dibuat dari CaCO₃.

Banyak dipakai dalam konstruksi bangunan, *metalurgi*, pabrik kertas dan pengolahan air, bersifat basa serta iritan. Efek terhadap kesehatan : keterpaparan pada membran mukus yang lembab akan menimbulkan iritasi karena proses dehidrasi atau hidrolisa, menghasilkan basa yang *korosif*, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Penghirupan debu dapat menyebabkan *inflamasi* saluran pernapasan, luka pada *nasal septum* (hidung) dan gangguan paru – paru seperti batuk dan sukar bernapas.²⁰

Seperti jenis debu – debu lainnya, debu kapur diperkirakan dapat menjadi faktor risiko PPOK. Ada 2 (dua) macam PPOK yang dikenal saat ini, yaitu bronkhitis kronik dan emfisema. Pada PPOK bronkhitis kronik terjadi peradangan dinding saluran pernapasan. Akibatnya saluran pernapasan menjadi berlendir dan jika lendir cukup banyak menjadi sempit sehingga bisa mengganggu laju pertukaran udara. Pada PPOK emfisema terjadi kerusakan luas alveoli. Gelembung – gelembung paru melebar sehingga bisa menyatu satu sama lain. Secara umum, PPOK menyebabkan fungsi faal paru terganggu, umumnya menyerang mereka yang berusia 40 tahun/lebih.⁴

Penyebab utama PPOK adalah merokok, terpapar karena pekerjaan terhadap bahan – bahan seperti debu batu bara, konsentrasi yang tinggi dari partikulat SO_2 dan NO_2 .

B. Dampak Pencemaran Udara

Pedoman pengendalian pencemaran udara ambien yang berhubungan dengan kesehatan masyarakat yang dikeluarkan oleh Departemen Kesehatan menyebutkan bahwa pencemaran udara terhadap manusia melalui berbagai cara

akan mempengaruhi sistem pernapasan, hal ini terjadi karena manusia menghirup dan menghembuskan udara dari paru - paru sekitar 10 m³ per hari.

Pada saat bernapas akan terjadi translokasi bahan pencemar udara terhisap masuk ke dalam pembuluh darah alveoli. Darah membawa bahan pencemar kembali ke jantung dan dari jantung beredar ke seluruh tubuh melalui aorta, dengan demikian bahan pencemar tersebut disamping dapat menimbulkan *bronchitis* dan *pulmonary emphisema* juga akan merangsang timbulnya penyakit di organ jaringan dalam tubuh.

Pencemaran udara dapat mengakibatkan peradangan paru dan jika hal ini berlangsung terus – menerus dapat mengakibatkan penurunan fungsi paru, yang akhirnya dapat meningkatkan kelainan faal paru obstruktif. Kelainan faal paru obstruktif yang dimaksud adalah penyakit paru obstruktif menahun (PPOM). Bahan pencemar udara yang dapat menyebabkan kelainan pada saluran pernapasan jika bahan pencemar tersebut dihirup dari udara ambien antara lain adalah gas SO₂, O₃, NO₂ dan partikel debu. Bahan – bahan tersebut dapat mempengaruhi fungsi paru yang akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kelainan paru obstruktif.

Gas yang paling berbahaya bagi paru – paru adalah SO₂ dan NO₂. Kalau unsur ini diisap, maka berbagai keluhan di paru – paru akan timbul dengan nama CNSRD (*chronic non spesific respiratory disease*) seperti asma dan bronkhitis^{21, 22}

Kenaikan konsentrasi gas SO₂ dan NO₂ dikaitkan dengan adanya gangguan fungsi paru. Juga mempengaruhi sistem pernapasan. Pemaparan yang akut dapat menyebabkan radang paru sehingga respon paru kurang permeabel. Fungsi paru menjadi berkurang dan menghambat jalan udara.²³

NO₂ dan SO₂ telah diketahui nyata menurunkan fungsi paru – paru, melalui mekanisme *neural* (*cyclooxygenase pathway*, *reseptor opioid*, *neuropeptida substance P*), serta melalui mekanisme *humoral* (peningkatan produksi *IgE* spesifik, GMCSF). Semakin tinggi kadar SO₂ dan NO₂ semakin tinggi jumlah akumulasi sel *eosinofil* dan zat – zat *humoral* reaksi *inflamasi* dalam mukosa bronkus dan mukosa hidung, yang pada gilirannya akan meningkatkan gejala penyakit alergi. Gas SO₂ dan NO₂ dapat meningkatkan reaktifitas non spesifik saluran pernapasan berbentuk bronkhitis kronis, di samping itu pada penderita asma dan rinitis alergi kronis lebih meningkatkan reaktifitas spesifik oleh polutan alergen spesifiknya.²⁴

Polutan – polutan seperti SO₂ dan NO₂ dapat merusak, membuat kaku atau menurunkan kerja silia (rambut getar). Akibatnya, bakteri dan partikel dapat masuk ke alveoli sehingga meningkatkan penyakit saluran pernapasan dan kanker paru.²⁵

Hubungan antara penurunan kualitas udara ambien dengan terjadinya PPOM adalah adanya perubahan seluler pada saluran pernapasan. Udara yang tercemar akan meningkatkan jumlah kelenjar mukus dan sel *globet* dan terjadi penyumbatan saluran pernapasan serta peningkatan tahanan aliran udara. Hal ini berhubungan dengan gejala bronkhitis kronis.

Pencemar gas SO₂, NO₂ dan debu pengaruh yang ditimbulkan lebih banyak menimpa alat pernapasan, berupa gangguan – gangguan infeksi akut dari alat – alat pernapasan, bronkhitis kronis, penyakit paru – paru yang memberikan pembatasan ventilasi, *pulmonary emphysema*, *bronchial asthma* dan kanker paru – paru.

1. Dampak Pencemaran Udara Akibat SO₂

Sifat sulfur dioksida (SO₂) : ^{26 - 28}

- a. Merupakan gas yang tidak berwarna, berbau, larut dalam berbagai zat pelarut diantaranya adalah air dan alkohol.
- b. Konsentrasi gas SO₂ di udara akan mulai terdeteksi oleh indera manusia (tercium baunya) manakala konsentrasinya berkisar antara 0,3 – 1 ppm.
- c. Sangat larut dalam air, terserap pada bagian atas saluran pernapasan.
- d. Merangsang pengeluaran lendir.
- e. Iritasi terutama pada jaringan mukosa dan resistensi saluran pernapasan (batuk, sesak napas), sekresi mukus meningkat/merangsang pengeluaran lendir, memperberat asma.
- f. Memberikan *epitaksis* (pendarahan hidung) dan adanya iritasi pada mukosa.
- g. Peradangan saluran pernapasan.
- h. Edema paru, rasa sempit di dada.
- i. Menyebabkan gangguan pada paru – paru/merusak paru - paru.
- j. Iritasi selaput lendir saluran pernapasan bagian atas.
- k. Menimbulkan kambuh (*eksaserbasi*) penyakit saluran pernapasan.
- l. Meningkatkan prevalensi dari gejala penyakit saluran pernapasan, misalnya : bronkhitis.

SO₂ terutama dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara atau minyak bumi. Pembakaran batu bara melepas 2 (dua) jenis polutan utama yaitu partikulat (droplet cairan atau partikel padat yang tersuspensi dalam udara) yang dapat menyelimuti udara kota dengan partikel

berwarna keabu – abuan dan SO₂ yang merupakan komposisi utama dari *industrial smog*.

Sebagian besar SO₂ di udara dapat mengalami oksida lanjut dalam proses pembakaran, membentuk *sulfur trioksida* dan akhirnya dapat bereaksi dengan uap air di udara membentuk *sulfat aerosol*. SO₂ di udara mempunyai pengaruh yang langsung terhadap manusia terutama karena sifat iritasi dari gas ini sendiri. Lebih dari 95 % dari SO₂ dengan kadar tinggi yang dihirup melalui saluran pernapasan akan diserap oleh bagian atas saluran pernapasan, prosentase ini akan menurun menjadi 50 % untuk kadar SO₂ yang lebih rendah sebesar 0,1 ppm. SO₂ berbentuk gas, sehingga cara pemajanan yang paling berpengaruh adalah inhalasi.¹⁴ Sifatnya dapat mengganggu pernapasan, SO₂ dapat membuat penderita *bronchitis*, *emphysema* dan lain – lain penderita penyakit saluran pernapasan menjadi lebih parah keadaannya. Eratnya hubungan antara kadar SO₂ di udara dengan gejala – gejala penyakit pernapasan inilah maka WHO menyatakan bahwa SO₂ sebagai salah satu pencemar yang berbahaya. Ada satu hal yang perlu diperhatikan terhadap SO₂ ini, yaitu terjadinya reaksi kimia di udara sehingga dapat membentuk *sulfat aerosol* dan kemungkinan akan membentuk partikel *ammonium sulfat* sebagai hasil dari reaksinya dengan amoniak. Karena ukuran partikel tersebut dapat terbawa/jatuh jauh ke dalam saluran paru – paru, keadaan ini akan membuat penderita menjadi lebih parah, sifat ini disebut dengan “ *synergistic effect* “, yaitu bahwa pengaruh total dari dua komponen (SO₂ dan partikel) menjadi lebih

besar bila dibandingkan dengan pengaruh masing – masing komponen yang berdiri sendiri.

Adanya hubungan langsung antara tinggi bahan pencemar SO₂, partikel debu dengan penderita bronkhitis dan emfisema. Semakin tinggi kadar bahan partikel debu biasanya diikuti dengan semakin tinggi gas SO₂, sehingga sulit membedakan efek dari kedua bahan tersebut. Dapat dikatakan bahwa kedua bahan tersebut bekerja secara sinergi untuk menghambat pergerakan silia, sehingga mendorong bahan partikel lebih banyak masuk ke paru. Konsentrasi partikulat di atas 300 µg/m³ bersama – sama dengan konsentrasi SO₂ menyebabkan gangguan pernapasan.²⁸

SO₂ dalam bentuk gas maupun asam yang terjadi karena larutnya SO₂ dalam air yang terkandung di udara dapat menyebabkan gangguan sistem respirasi manusia.²⁹ Keluhan yang muncul adalah batuk dan iritasi saluran napas karena sifat gas yang merangsang syaraf di hidung, tenggorok dan jalan napas. Rangsangan ini dapat berlanjut menjadi sesak napas dan penyempitan jalan napas, terutama pada penderita asma dan penyakit pernapasan kronik yang saluran napasnya sering mengalami peradangan dan lebih sensitif terhadap rangsangan.³⁰

Pengaruh pencemaran akibat oksida sulfur adalah meningkatnya tingkat morbiditas, insidensi penyakit pernapasan, seperti *bronchitis*, *emphysema* dan penurunan kesehatan umum. Konsentrasi SO₂ 0,04 ppm dengan partikulat 169 µg/m³ menimbulkan peningkatan yang tinggi dalam kematian akibat *bronchitis* dan kanker paru – paru.²⁶

Keracunan akut SO₂ secara inhalasi dapat menyebabkan batuk, tercekik, sakit kepala, pusing dan lemah. Dalam 6 – 8 jam kemudian dapat timbul *edema* paru, *sianosis* dan penurunan tekanan darah. Keracunan kronis secara inhalasi menyebabkan batuk kronis dan *bronchopneumonia*.³¹

Peningkatan mortalitas, morbiditas dan penurunan fungsi paru – paru sangat berhubungan dengan SO₂ dan partikulat. SO₂ dapat menyebabkan *bronchitis* dan *trachetis*, jika keterpajannya cukup lama akan mengakibatkan *bronchitis* kronik.⁴ SO₂ menimbulkan efek cepat terhadap fungsi paru – paru penderita asma. Respon nyata berlangsung dalam dua menit pertama dan respon maksimal terjadi 5 – 10 menit pasca paparan.²⁴

2. Dampak Pencemaran Udara Akibat NO₂

Sifat nitrogen dioksida (NO₂) : ^{26 - 28}

- a. Berwarna merah - ungu - kecoklatan dan berbau tajam menyengat seperti pemutih.
- b. Gas racun (toksik).
- c. Dapat terbentuk dari reaksi asam nitrat dengan logam – logam, juga dari oksidasi gas NO.
- d. Dapat dipakai untuk *bleaching* atau bahan *ekplosif*.
- e. Sifat kelarutannya rendah.
- f. Meningkatkan sensitifitas / *eksaserbasi asthma bronkiale* / PPOK.
- g. Iritasi pada *broncheoli* dan *alveoli*.
- h. Peradangan saluran pernapasan.

- i. *Inflamasi* saluran napas.
- j. Mempengaruhi kapasitas fungsi paru pada pajanan jangka panjang.
- k. Memberikan efek menambah kelemahan terhadap infeksi bakteri paru – paru.
- l. Menyebabkan infeksi kuman.
- m. Menyebabkan iritasi pada saluran tenggorokan, pembengkakan/sembab paru – paru karena waktu paparan yang lama untuk konsentrasi 1 ppm.
- n. Menyebabkan gangguan pada paru – paru.
- o. Meningkatkan produksi sitokin *pro – inflammatory*.
- p. Terjadinya fibrosis paru.

Selain terdapat di alam, *nitrogen monoksida* (NO) dan *nitrogen dioksida* (NO₂) berasal dari gas – gas yang dihasilkan oleh buangan kendaraan bermotor dan pusat – pusat tenaga listrik. Tidak seperti *carbon* dan *sulfur*, NO tidak terdapat dalam bahan bakar minyak, akan tetapi berasal dari udara dimana terjadi proses pembakaran dari senyawa ini. Pengaruh NO terhadap lingkungan yang utama adalah dalam pembentukan *Smog*, pengaruh langsung dari NO terhadap kesehatan tidak diketahui dengan jelas, akan tetapi NO dalam kadar yang cukup tinggi dapat bereaksi dengan Hb dan mempunyai sifat yang sama dengan CO, karena dapat menghalangi fungsi normal Hb dalam darah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa NO memberikan efek menambah kelemahan terhadap infeksi bakteri paru – paru. NO dapat menyebabkan iritasi pada mata, saluran pernapasan dan pembengkakan pada paru – paru karena

waktu paparan yang cukup lama pada konsentrasi 1 ppm. Absorpsi gas NO₂ oleh mukosa dapat menyebabkan peradangan saluran pernapasan bagian atas dan iritasi pada mukosa mata.

NO₂ dapat mempengaruhi fungsi *mukosilier* saluran pernapasan bagian *proksimal*. Paparan oksidan terhadap silia *bronkial* menyebabkan penurunan gerakan silia. Hal tersebut akan meningkatkan kemungkinan terjadinya infeksi pada bronkus. Apabila kerusakan terjadi menahun maka akan terjadi infeksi bronkus yang menahun dan keadaan ini akan memudahkan terjadinya PPOM.

Paparan NO₂ dapat meningkatkan kemungkinan infeksi yang dihubungkan dengan gangguan *sekresi mukus* kerusakan silia, gangguan fungsi *makrofag alveolar* dan *imunitas humoral*.²²

Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO₂ adalah paru – paru. Paru – paru yang terkontaminasi oleh gas NO₂ akan membengkak sehingga penderita sulit bernapas yang dapat mengakibatkan kematian.

Pengaruhnya terhadap kesehatan yaitu terganggunya sistem pernapasan dan dapat menjadi emfisema, bila kondisinya kronis dapat berpotensi menjadi bronkhitis serta akan terjadi penimbunan NO₂ dan dapat merupakan sumber karsinogenik.²⁸

Sifat bahayanya terletak pada gejala yang tidak segera tampak setelah menghirup sejumlah dosis berbahaya. Gejala kerusakan paru atau *pulmonary edema* baru muncul setelah 72 jam. Konsentrasi 25 ppm dapat menimbulkan *pulmonary edema* setelah 5 – 48 jam.²⁰

3. Dampak Pencemaran Udara Akibat Debu Kapur

Sumber utama partikel di udara adalah proses industri dan pembakaran. Pada industri batu kapur, sumber utama debu adalah pemecahan batu kapur, pembakaran, pembongkaran tobong, pemadaman batu kapur, pengadukan dan pengayakan.

Pemakaian batu bara sebagai bahan bakar, debu silika akan keluar dan terdispersi ke udara bersama – sama dengan partikel lainnya, seperti debu alumina, oksida besi dan karbon dalam bentuk debu.

Debu silika yang masuk ke dalam paru – paru akan mengalami masa inkubasi sekitar 2 – 4 tahun. Masa inkubasi ini akan lebih pendek atau gejala penyakit silikosis akan segera tampak, apabila konsentrasi silika di udara cukup tinggi dan terhisap ke paru – paru dalam jumlah banyak. Penyakit silikosis ditandai dengan sesak napas yang disertai batuk – batuk. Batuk ini seringkali tidak disertai dengan dahak.³¹

Pencemaran udara karena debu biasanya menyebabkan penyakit pernapasan kronis seperti *bronchitis* kronis, emfisema paru, asma *bronchiale*, bahkan kanker paru.²⁶

Kelainan paru karena adanya deposit debu dalam jaringan paru disebut Pneumokoniosis. Menurut definisi dari *International Labor Organization (ILO)*. Pneumokoniosis adalah akumulasi debu dalam jaringan paru dan reaksi jaringan paru terhadap adanya akumulasi debu tersebut. Bila pengerasan alveoli telah mencapai 10 % akan terjadi penurunan elastisitas paru yang menyebabkan

kapasitas vital paru akan menurun dan dapat mengakibatkan berkurangnya suplai O₂ ke dalam jaringan otak, jantung dan bagian – bagian tubuh lainnya.

Debu yang non fibrogenik adalah debu yang tidak menimbulkan reaksi jaringan paru, contohnya adalah debu besi, kapur dan timah. Debu ini dahulu dianggap tidak merusak paru disebut debu *inert*, tetapi diketahui belakangan bahwa tidak ada debu yang benar – benar *inert*. Dalam dosis besar semua debu bersifat merangsang dan dapat menimbulkan reaksi walaupun ringan. Reaksi ini berupa produksi lendir berlebihan, bila ini terus berlangsung dapat terjadi *hiperplasi* kelenjar mukus. Jaringan paru juga dapat berubah dengan terbentuknya jaringan ikat *retikulin*. Penyakit paru ini disebut *pneumokoniosis* non kolagen.

Debu fibrogenik dapat menimbulkan reaksi jaringan paru sehingga terbentuk jaringan parut (fibrosis). Penyakit ini disebut dengan *pneumokoniosis* kolagen. Termasuk jenis ini adalah debu silika bebas, batu bara dan asbes.¹³

Efek debu – debu menimbulkan gangguan kesehatan tergantung dari :³²

a. *Solubity*

Kalau bahan – bahan kimia penyusun debu mudah larut dalam air, maka bahan – bahan itu akan larut dan langsung masuk pembuluh darah kapiler alveoli. Apabila bahan – bahan tersebut tidak mudah larut, tetapi ukuran – ukurannya kecil, maka partikel – partikel itu dapat memasuki dinding alveoli, lalu ke saluran limfa atau ke ruang *peribronchial*, atau ditelan oleh sel *phagocyt*, kemudian masuk ke dalam kapiler darah atau

saluran kelenjar limfa, atau melalui dinding alveoli ke ruang *peribronchial*, keluar ke *bronchioli* oleh rambut – rambut getar dikembalikan ke atas.

b. Komposisi kimia debu

Ada dua golongan berdasarkan sifatnya, yaitu :

1). “ *Inert Dust* “

Golongan debu ini tidak menyebabkan kerusakan atau reaksi fibrosis pada paru – paru. Efeknya sangat sedikit atau tidak ada sama sekali pada penghirupan normal.

2). ” *Profilferate Dust* “

Golongan debu ini di dalam paru – paru akan membentuk jaringan parut atau fibrosis. Fibrosis ini akan membuat pengerasan pada jaringan alveoli sehingga mengganggu fungsi paru – paru. Debu – debu dari golongan ini menyebabkan *fibrositic pneumokoniosis*, contohnya : *silica, asbestos, bauxite*, kapur, kapas, *beryllium* dan sebagainya.

3). Kelompok debu yang tidak ditahan di dalam paru, namun dapat menimbulkan efek iritasi, yaitu debu – debu yang bersifat asam atau basa kuat.

c. Konsentrasi debu

Semakin tinggi konsentrasi kemungkinan mendapat keracunan semakin besar.

c. Ukuran partikel debu.

C. Batu Kapur

1. Komposisi Batu Kapur¹⁶

Komponen utama pembentuk batu kapur adalah mineral *kalsit* (CaCO_3), mineral *dolomite* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dan *aragonit* (CaCO_3), Gabungan dari tiga unsur ini membentuk warna putih dan bertekstur lembut. Bila ditemukan batu kapur berwarna kelabu menunjukkan batu kapur sudah tidak murni. Ketidakmurnian ini karena tercampur dengan unsur pasir, tanah liat, besi oksida, hidroksida dan material organik.

Proses terbentuknya batu kapur terjadi selama berjuta – juta tahun yang lalu. Batu kapur terbentuk dari unsur karbonat zat kapur yang berasal dari organisme laut seperti kerang – kerangan dan tiram. Karbonat ini merupakan penyusun utama kulit kerang dan tiram. Pada saat organisme ini mati, kulit kerang dan tulang yang tertinggal akan didegradasikan menjadi unsur yang lebih kecil lagi oleh mikroorganisme mikroskopik seperti *foraminifera*. Hasil degradasi ini akan membentuk pasir karbonat atau lumpur karbonat. Karena pengendapan ini terjadi terus – menerus dalam waktu yang lama dan adanya proses alam, maka endapan pasir dan lumpur karbonat akan mengeras, sehingga jadilah pegunungan batu kapur. Sehingga hampir sebagian besar pegunungan batu kapur berada dekat dengan laut.

2. Debu Batu Kapur

Debu kapur merupakan salah satu partikel padat yang terbentuk karena kekuatan mekanis, akibat adanya proses penambangan.¹⁸ Dilihat dari

komposisinya atau materinya debu kapur berasal dari golongan anorganik. Sedangkan bila dilihat dari sifatnya debu kapur termasuk *proliferate dust*, dimana golongan debu ini di dalam paru akan membentuk jaringan parut (fibrosis), yang dapat menyebabkan pengerasan pada jaringan alveoli, sehingga akan mengganggu kapasitas paru.¹⁴

D. Paru Manusia

1. Anatomi

Saluran penghantar udara hingga mencapai paru - paru adalah hidung, faring, laring, trakhea, bronkus dan bronkiolus. Saluran pernapasan dari hidung sampai bronkiolus dilapisi oleh membran mukosa yang bersilia. Permukaan epitel diliputi oleh lapisan mukus yang disekresi oleh sel *goblet* dan kelenjar *serosa*.³³

Dari rongga hidung udara menuju ke faring kemudian menuju ke laring yang merupakan rangkaian cincin tulang rawan yang dihubungkan oleh otot dan mengandung pita suara. Di antara pita suara terdapat *glottis* yang merupakan pemisah antara saluran pernapasan bagian atas dan bawah.³⁴

Setelah melalui saluran hidung dan faring, tempat udara pernapasan dihangatkan dan dilembabkan dengan uap air, udara *inspirasi* berjalan menuruni trakhea, melalui *bronkiolus*, *bronkiolus respiratorius* dan *duktus alveolaris* sampai ke alveoli.

Antara *trakhea* dan *sakus alveolaris* terdapat 23 percabangan saluran udara. Enam belas percabangan pertama saluran udara merupakan zona

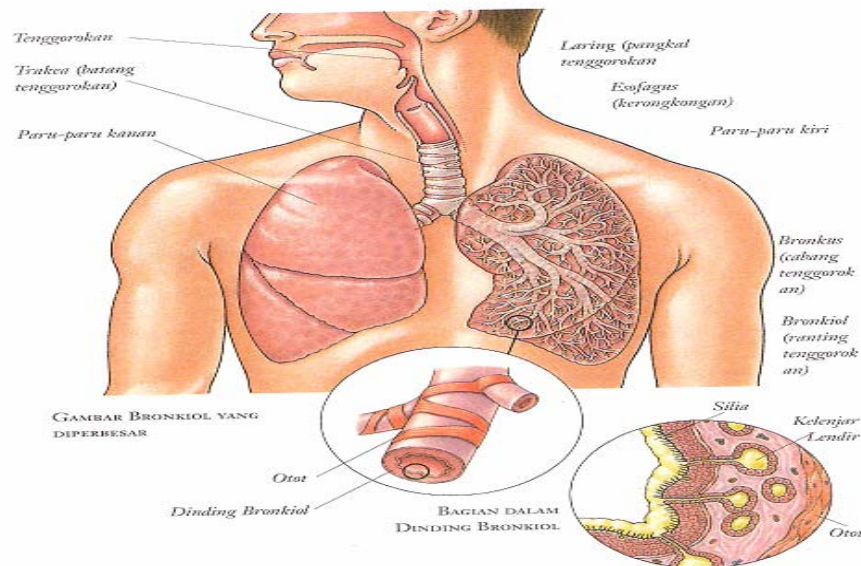
konduksi yang menyalurkan udara dari dan ke lingkungan luar. Bagian ini terdiri dari bronkus, bronkiolus dan *bronkiolus terminalis*. Tujuh percabangan berikutnya merupakan zona peralihan dan zona respirasi, tempat terjadinya pertukaran gas dan terdiri dari *bronkiolus respiratorius*, *duktus elveolaris* dan alveoli. Tiap *alveolus* dikelilingi oleh pembuluh kapiler paru.^{33, 35}

Bronkus utama kanan lebih pendek dan lebih lebar, merupakan kelanjutan dari trakhea yang arahnya hampir vertikal. Sebaliknya bronkus utama kiri lebih panjang dan lebih sempit, merupakan kelanjutan trakhea dengan sudut yang lebih tajam.^{34, 35}

Cabang utama bronkus kanan dan kiri bercabang lagi menjadi bronkus *lobaris* dan kemudian bronkus *segmentalis*. Percabangan ini berjalan terus menjadi bronkus yang ukurannya semakin kecil sampai akhirnya menjadi *bronkiolus terminalis*, yaitu saluran udara terkecil yang tidak mengandung alveoli (kantung udara). Seluruh saluran udara ke bawah sampai tingkat *bronkiolus terminalis* disebut saluran penghantar udara karena fungsi utamanya adalah sebagai penghantar udara ke tempat pertukaran gas paru - paru.³⁵

Setelah *bronkiolus terminalis* terdapat *asimus* yang merupakan unit fungsional paru – paru, yaitu tempat pertukaran gas. Asinus terdiri dari (1) *bronkiolus respiratorius* yang terkadang memiliki kantung udara kecil atau alveoli pada dindingnya, (2) *duktus alveolaris*, seluruhnya dibatasi oleh *alveolus* dan (3) *sakus alveolaris*, merupakan struktur akhir paru - paru. Paru - paru yang berisi sekitar 300 juta alveoli, membentuk suatu selaput

pernapasan seluas sekitar 1.100 kaki persegi atau kira - kira seluas permukaan lapangan tenis.



Gambar 2.1. Sistem Pernapasan

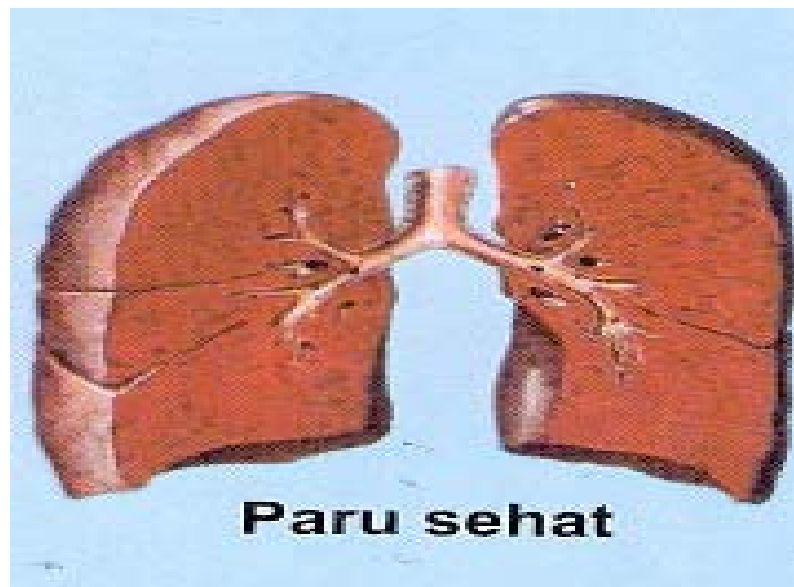
Sumber : Prof. Jon Ayres, Seri Kesehatan “ Asma “

Udara mengalir ke dalam paru – paru melalui batang tenggorok (*Trakhea*). Udara tersebut kemudian melewati cabang – cabang saluran udara yang disebut bronki, menuju sebaran ranting – ranting udara (*bronkiol*) hingga ke jutaan kantong udara kecil – kecil yang disebut alveoli.

O₂ dalam udara melewati dinding alveoli yang tipis dan masuk ke ranting pembuluh darah. O₂ tersebut melekatkan diri ke sel – sel darah merah dan dibawa melalui pembuluh darah ke seluruh tubuh.

Jalan udara (*trakhea*, *bronkhus*, *bronkhiol*) dan rongga udara di paru – paru memasok O₂ ke dan mengeluarkan CO₂ dari tubuh. Lendir

dikeluarkan dari paru – paru oleh silia (bulu – bulu halus) yang terdapat di dalam dinding jalan udara.



Gambar 2.2. Paru Sehat

Sumber : Prof. Jon Ayres, Seri Kesehatan “ Asma “

2. Fisiologi Fungsi Paru

Proses fisiologi pernapasan di mana O_2 dipindahkan dari udara ke dalam jaringan - jaringan dan CO_2 dikeluarkan ke udara.³⁵

Fungsi pernapasan adalah sebagai pertukaran gas dan mengatur keseimbangan asam basa. Keluar masuknya udara pernapasan dimungkinkan oleh 2 (dua) peristiwa mekanik pernapasan, yaitu :

a. *Inspirasi*

Proses aktif dengan kontraksi otot – otot *inspirasi* untuk menaikkan volume *intra toraks*, paru – paru ditarik dengan posisi yang lebih mengembang,

tekanan dalam jalan pernapasan menjadi negatif dan udara mengalir ke dalam paru – paru.

b. *Ekspirasi*

Proses pasif dimana paru - paru *recoil* menarik dada kembali ke posisi *ekspirasi*, tekanan *recoil* paru - paru dan dinding dada seimbang, tekanan dalam jalan pernapasan menjadi sedikit positif sehingga udara mengalir keluar dari paru - paru, dalam hal ini otot - otot berperan.³⁶

3. Fungsi Paru Dan Proses Respirasi (Pertukaran Gas)

Paru adalah satu - satunya organ tubuh yang berhubungan dengan lingkungan di luar tubuh, yaitu melalui sistem pernapasan. Fungsi paru utama untuk respirasi, yaitu pengambilan O₂ dari luar masuk ke dalam saluran napas dan diteruskan ke dalam darah. Oksigen digunakan untuk proses metabolisme CO₂ yang terbentuk pada proses tersebut dikeluarkan dari dalam darah ke udara luar. Proses respirasi dibagi atas tiga tahap utama, yaitu ventilasi, difusi dan perfusi.^{33, 34, 36}

- a. Ventilasi adalah pertukaran masuk dan keluarnya udara dalam paru. Frekuensi napas normal 12 – 15 x / menit. Pada orang dewasa setiap satu kali napas (tidal volume V_t) udara masuk 500 cc atau 10 ml/kg BB. Sehingga setiap menit udara masuk ke sistem napas 6 - 8 liter (*minute volume*, MV). Udara yang sampai ke alveoli disebut *Ventilasi Alveolair* (VA). *Ventilasi Alveolair* lebih kecil dari *minute volume*, karena sebagian udara di jalan napas tidak ikut pertukaran gas (*Dead Space* = VD).

- b. Difusi adalah perpindahan O_2 dari alveoli ke dalam darah dan keluarnya CO_2 dari darah ke alveoli atau peresapan masuknya O_2 dari alveoli ke darah dan pengeluaran CO_2 dari darah ke alveoli.

Difusi O_2 berjalan lancar bila alveoli mengembang baik dari jarak *difusi trans-membran* pendek, *edema* menyebabkan jarak difusi O_2 menjauh hingga kadar O_2 dalam darah menurun (*hipoxemia*). Difusi CO_2 tidak pernah terganggu karena kapasitas *difusi* CO_2 jauh lebih besar daripada O_2 pada *edema* paru tahap awal terjadi penumpukan cairan dalam jaringan di sekitar *alveoli* dan kapiler (*interstitial edema*). Pada tahap lanjut cairan masuk ke dalam alveoli, *alveolar edema*.

- c. Perfusi adalah distribusi darah yang membawa O_2 ke dalam jaringan paru - paru.

Aliran darah di kapiler paru (perfusi) ikut menentukan jumlah O_2 yang dapat diangkut. Masalah timbul jika terjadi ketidak - seimbangan antara *ventilasi alveolar* (VA) dengan perfusi (Q) sehingga dapat terjadi :

- 1). Ventilasi normal, perfusi normal → semua O_2 diambil darah.
- 2). Ventilasi normal, perfusi kurang → ventilasi berlebihan, tak semua O_2 sempat diambil unit ini dinamai " *dead space* " yang terjadi pada *shock* dan *emboli* paru.
- 3). Ventilasi berkurang → perfusi normal. Darah tidak mendapat cukup O_2 (*desaturasi*) unit ini disebut " *Shunt* ". Terjadi pada *atelektasis edema* paru. ARDS dan aspirasi cairan.
- 4). *Silent* unit : tidak ada ventilasi dan perfusi.

d. Distribusi adalah pembagian udara ke cabang - cabang *bronchus*.³⁵

4. Ventilasi Alveoli

Udara yang masuk ke dalam sistem pernapasan manusia tidak semuanya akan masuk ke alveoli karena sebagian udara akan mengisi jalan - jalan udara dan tidak terjadi pertukaran gas, yaitu pada bagian *trachea*, *bronchi* dan *non respiratory bronchioli*. Udara yang mengisi jalan - jalan udara disebut *dead space air* (udara rongga mati). Maka volume udara yang masuk ke alveoli pada setiap pernapasan sama dengan *tidal volume* dikurangi volume rongga mati. Volume rongga mati pada laki - laki muda kira - kira 150 ml dan volume ini akan bertambah seiring dengan bertambahnya usia, peristiwa ini disebut *Anatomical Dead Space*. Pada sistem pernapasan seseorang kadangkala sebagian alveoli tidak berfungsi dan dapat dianggap sebagai rongga mati. Jadi dalam hal ini sebagian alveoli yang tidak berfungsi dimasukkan dalam nilai tersebut diatas jumlah seluruhnya, yang biasa disebut *Physiological Dead Space*.

Apabila terjadi suatu kelainan pada paru - paru maka dimungkinkan bahwa *physiological dead space* dapat sepuluh kali lebih besar dari *anatomical dead space*, sedangkan dalam keadaan normal *volume anatomical dead space* dan *physiological dead space* hampir sama karena semua alveoli berfungsi normal.³⁶

5. *Insuffisiensi Pernapasan*

Kelainan *insuffisiensi* pernapasan secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

- a. *Hypoventilasi* alveoli (ventilasi yang tidak memadai di alveoli). Terjadi karena ventilasi yang tidak memadai pada alveoli dan penyakit yang mengurangi *compliance* (kemampuan mengembang) pada paru dan dinding dada. Penyakit - penyakit tersebut antara lain silikosis, asbestosis, tuberkulosis, kanker, pneumonia atau kelainan tulang dada yang akan menambah beban kerja otot - otot pernapasan.
- b. Terjadinya pengurangan difusi gas melalui membran pernapasan
- c. Kurangnya *transport* O₂ dari paru - paru ke jaringan.^{35,37}

6. *Pathofisiologi Saluran Pernapasan*

Paru adalah organ yang paling banyak dipergunakan dan disalahgunakan di dalam tubuh. Di samping pertukaran CO₂ dengan O₂ yang tetap untuk hidup, pada saat yang sama paru tidak hanya dilewati beratus – ratus polutan (termasuk asap tembakau), tetapi juga harus mencegah alergen, virus, bakteri dan bahan mikroba lain yang tidak terhitung jumlahnya. Peradangan pernapasan lebih sering dari pada peradangan organ lain, terutama pada individu dengan bakat penyakit yang melemahkan tubuh.³⁸

Penyakit paru - paru yang terjadi pada industri batu kapur adalah terjadinya efek, yaitu *pathofisiologis* debu kapur dapat menyebabkan refleksi

batuk - batuk atau *spasme laring* (penghentian bernapas). Kalau zat - zat ini menembus ke dalam paru - paru, dapat terjadi bronkhitis toksik, edema paru - paru atau *pneumonitis*.

Partikel - partikel debu kapur yang berdiameter lebih dari 15 μ tersaring keluar pada saluran napas bagian atas. Partikel 5 - 15 μ m tertangkap pada mukosa saluran yang lebih rendah dan kembali disapu ke laring oleh kerja *mukosiliar*, selanjutnya ditelan. Bila partikel ini mengatasi saluran napas atau melepaskan zat - zat yang merangsang respon imun dapat timbul penyakit pernapasan seperti bronkhitis.³²

Partikel - partikel berukuran 0,5 dan 5 μ m (debu yang ikut dengan pernapasan) dapat melewati sistem pembersihan *mukosiliar* dan masuk ke saluran napas terminal serta alveoli. Dari sana debu ini akan dikumpulkan oleh sel - sel *scavenger* (*makrofag*) dan dihantarkan pulang kembali ke sistem *mukosiliar* atau ke sistem *limfatik*. Partikel berdiameter kurang dari 0,5 μ m mungkin akan mengambang dalam udara dan tidak diretensi. Partikel - partikel panjang dan serat yang diameternya dari 3 μ m dengan panjang sampai 100 μ m dapat mencapai saluran napas terminal. Kelebihan beban sistem akibat terus - menerus terhadap debu respirasi berkadar tinggi yang menumpuk di sekitar saluran napas terminal. Menyebabkan penebalan dinding *bronkus*, meningkatkan sekresi *mukus*, merendahkan *hiperaktivitas bronkus* dan batuk meningkatkan kerentanan terhadap infeksi pernapasan. Debu - debu anorganik seperti debu kapur dapat merangsang suatu respons imun dengan penyempitan saluran napas yang *reversible* (segera atau tertunda),

namun kadang - kadang menyebabkan penyempitan menetap pada individu yang rentan. Sifat debu kapur termasuk *proliferate dust* (debu *fibrosis*). Daerah *perifer* paru - paru terutama dirusak oleh debu *fibrogenik*. Umumnya partikel *fibrogenik* yang masuk paru - paru dibersihkan sebagian dan diendapkan pada kelenjar - kelenjar *limfe hilus*. Disana partikel - partikel tersebut merangsang reaksi jaringan, penebalan dan pembentukan jaringan parut pada kelenjar - kelenjar *limfe hilus*. *Drainase limfatik* tersumbat, sehingga partikel - partikel pada paparan lebih lanjut akan menumpuk di dekat kelenjar - kelenjar yang berparut tersebut dan secara *progressif* memperbesar daerah parut. *Trombosis vaskular* pada *system limfatik perivaskular* dan *nekrosis* paru berakibat *fibrosis progresif septa* dan kekakuan paru - paru. Pembentukan jaringan parut dengan berbagai cara ini mengakibatkan pengerutan paru - paru yang tersisa, ventilasi tidak merata dan tipe *emphysema* tertentu.

Partikel debu yang masuk ke dalam alveoli akan membentuk fokus dan berkumpul di bagian awal saluran *limfe* paru akan difagositosis oleh *makrofag*. Pada debu yang toksik terhadap *makrofag* seperti silika akan merangsang terbentuknya *makrofag* baru. *Makrofag* baru akan memfagositosis silika bebas sehingga terjadi *autolisis*, keadaan ini terjadi secara berulang - ulang. Pembentukan dan *destruksi makrofag* yang terus - menerus berperan penting pada pembentukan jaringan ikat *kolagen* dan pengendapan *hialin* pada jaringan ikat tersebut. *Fibrosis* ini terjadi pada *parenkim* paru, yaitu dinding alveoli dan jaringan *interstitial* yang berakibat paru menjadi kaku

sehingga menimbulkan gangguan pengembangan paru, yaitu kelainan paru yang restriktif.³⁹

7. Volume Paru dan Kapasitas 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 :

- 1). *Volume Alun nafas (tidal volume)*, yaitu jumlah udara yang dihisap atau dihembuskan dalam satu siklus napas normal. Alun napas waktu istirahat lebih kecil dari pada waktu kerja. Makin berat kerjanya, makin besar alun napas. Tentunya sampai batas tertentu. Apabila alun napas ini dikalikan dengan frekuensi napas semenit, akan didapat nilai napas semenit. Besarnya ± 500 ml pada rata - rata orang dewasa.
- 2). *Volume Cadangan inspirasi*, yaitu jumlah maksimal udara yang masih dapat dihirup sesudah akhir *inspirasi* tenang. Biasanya mencapai 3.000 ml.
- 3). *Volume Cadangan ekspirasi*, yaitu jumlah maksimal udara yang masih dapat dihembuskan sesudah akhir *ekspirasi* tenang. Pada pernapasan tenang, *ekspirasi* terjadi secara pasif, tidak ada otot *ekspirasi* yang bekerja. *Ekspirasi* hanya terjadi oleh daya lenting dinding dada dan jaringan paru semata - mata.

Posisi rongga dada dan paru pada akhir *ekspirasi* ini merupakan posisi istirahat. Bila dari posisi istirahat ini dilakukan gerak *ekspirasi* sekuat - kuatnya sampai maksimal, udara cadangan *ekspirasi* itulah yang keluar.

(volume udara yang masih tetap dalam paru setelah *ekspirasi* yang paling kuat), jumlahnya ± 1.100 ml.

- 4). Volume residu yaitu jumlah udara yang masih ada di dalam paru sesudah melakukan *ekspirasi* maksimal atau *ekspirasi* yang paling kuat, volume tersebut ± 1.200 ml.³⁹

b. Kapasitas paru

Nilai kapasitas ini mencakup dua atau lebih nilai volume paru, dalam siklus paru, kombinasi tersebut disebut Kapasitas Paru, seperti :

- 1). Kapasitas Paru Total (KPT), yaitu jumlah maksimal udara yang dapat dimuat paru pada akhir *inspirasi* maksimal dengan cara *inspirasi* paksa sebesar ± 6.900 ml.
- 2). Kapasitas Vital (KV) yaitu jumlah maksimal udara yang dapat dikeluarkan seseorang dari paru dengan sekuat - kuatnya setelah terlebih dahulu mengisi paru secara maksimal dan kemudian mengeluarkan dengan maksimal ± 4.600 ml.
- 3). Kapasitas *Inspirasi*, yaitu jumlah maksimal udara yang dapat dihirup oleh seseorang sebesar ± 3.500 ml dari posisi istirahat (akhir *ekspirasi* tenang / normal) sampai jumlah maksimal.

- 4). Kapasitas Residu Fungsional (KRF), yaitu jumlah udara yang masih tertinggal / tersisa dalam paru pada posisi istirahat atau akhir respirasi normal sebesar ± 2.300 ml.
- 5). Kapasitas paru wanita, volume kapasitas paru pada wanita 25% lebih kecil dari pada volume kapasitas pada pria dan lebih besar lagi pada seorang atlet dan bertubuh besar dari pada seorang atlet bertubuh kecil.^{35, 39}

8. Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Fungsi Paru

a. Jenis kelamin

Kapasitas vital rata – rata pria dewasa muda lebih kurang 4,6 liter dan perempuan muda kurang lebih 3,1 liter.⁴⁰

Volume paru pria dan wanita terdapat perbedaan bahwa kapasitas paru total (kapasitas *inspirasi* dan kapasitas residu fungsional), pria adalah 6,0 liter dan wanita 4,2 liter.³⁴

b. Posisi tidur seseorang nilai kapasitas fungsi paru lebih rendah dibanding posisi berdiri.

Pada posisi tegak, ventilasi persatuan volume paru di basis paru lebih besar dibandingkan di bagian *apeks*, hal tersebut terjadi karena pada awal *inspirasi*, tekanan *intrapleura* di bagian *basis* paru kurang negatif dibandingkan bagian *apeks*, sehingga perbedaan tekanan *intrapulmonal* - *intrapleura* di bagian *basis* lebih kecil dan jaringan paru

kurang terenggang. Keadaan tersebut menjadi prosentase volume paru maksimal posisi berdiri lebih besar nilainya.

c. Kekuatan otot - otot pernapasan.

Di dalam pengukuran kapasitas fungsi paru merupakan *indeks* fungsi paru yang bermanfaat dalam memberikan informasi mengenai kekuatan otot - otot pernapasan, apabila nilai kapasitas normal tetapi nilai FEV₁ menurun maka dapat mengakibatkan sakit, seperti pada penderita asma.

d. Ukuran dan bentuk anatomi tubuh

Obesitas meningkatkan risiko komplikasi KRF (Kapasitas Residu *Ekspirasi*) dan VCE (Volume Cadangan *Ekspirasi*) menurun dengan semakin beratnya tubuh. Pada penderita obesitas VCE lebih kecil dari pada CV, mengakibatkan sumbatan saluran napas.

e. Proses penuaan atau bertambahnya umur

Umur meningkatkan risiko mortalitas dan morbiditas. Terjadinya penurunan volume paru statis, arus puncak *ekspirasi* maksimal daya regang paru dan tekanan O₂ paru. Aktivitas refleks saluran napas berkurang pada orang berumur, mengakibatkan kemampuan daya pembersih saluran napas berkurang.

f. Daya pengembangan paru (*compliance*)

Peningkatan volume dalam paru menghasilkan tekanan positif, sedangkan penurunan volume dalam paru menimbulkan tekanan negatif. Perbandingan antara perubahan volume paru dengan satuan perubahan tekanan saluran

udara menggambarkan *compliance* jaringan paru dan dinding dada. *Compliance* paru sedikit lebih besar apabila diukur selama pengempisan paru dibandingkan diukur selama pengembangan paru.^{34, 39}

9. Gangguan Fungsi Paru

Pada individu normal terjadi perubahan (nilai) fungsi paru secara fisiologis sesuai dengan perkembangan umur dan pertumbuhan parunya (*lung growth*). Mulai pada fase anak sampai kira – kira umur 22 – 24 tahun terjadi pertumbuhan paru sehingga pada waktu itu nilai fungsi paru semakin besar bersamaan dengan penambahan umur. Beberapa waktu nilai fungsi paru menetap (*stasioner*) kemudian menurun secara *gradual* (pelan – pelan), biasanya umur 30 tahun sudah mulai penurunan, berikutnya nilai fungsi paru (KVP = Kapasitas Vital Paksa dan FEV₁ = Volume *Ekspirasi* Paksa Satu Detik Pertama) mengalami penurunan rerata sekitar 20 ml tiap penambahan satu tahun umur individu.³⁵

Gangguan fungsi ventilasi paru merupakan jumlah udara yang masuk ke dalam paru akan berkurang dari normal. Gangguan fungsi ventilasi paru yang utama adalah :

- a. Restriksi, yaitu penyempitan saluran paru - paru yang diakibatkan oleh bahan yang bersifat alergen seperti debu, spora jamur dan sebagainya yang mengganggu saluran pernapasan.
- b. Keadaan ini menunjukkan adanya penyakit paru atau dari luar yang menyebabkan kapasitas vital berkurang, khususnya kapasitas total paru.

Dengan berkurangnya kapasitas vital maka proporsi FEV₁ juga menurun, sebagai hasilnya FEV₁/FVC (%) jadi menurun.

- c. Obstruksi, yaitu penurunan kapasitas fungsi paru yang diakibatkan oleh penimbunan debu - debu sehingga menyebabkan penurunan kapasitas fungsi paru. Penurunan aliran udara mulai dari saluran napas bagian atas sampai *bronkiolus* berdiameter kurang dari 2 mm ditandai dengan penurunan FEV₁, FEV₁/FVC, kecepatan aliran udara pada *ekspirasi*. Pemeriksaan FEV₁ dan rasio FEV₁/FVC merupakan pemeriksaan yang standar, sederhana, dapat diulang dan akurat untuk menilai obstruksi saluran napas.
- d. Kombinasi obstruksi dan restriksi (*Mixed*), yaitu 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.
- e. Beberapa kerusakan dapat menghasilkan bentuk campuran. Atau adanya penyempitan saluran paru dan adanya penimbunan saluran paru oleh debu (gabungan antara restriktif dan obstruktif).⁴¹

1). Gangguan Fungsi Paru Akibat Paparan SO₂²⁶

Pencemaran udara pada dasarnya berbentuk partikel (antara lain : debu) dan gas (antara lain : SO₂ dan NO₂). Udara yang tercemar dengan partikel dan gas ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam,

ukuran dan komposisi kimiawinya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru – paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit.

SO₂ secara langsung atau melalui jalur *neurohumoral* dapat menyebabkan *hipersekreksi* kelenjar *mukus bronkus*, diikuti oleh *hiperplasia* dan *metaplasia*, pembentukan sel – sel *globet* yang mengeluarkan *musin* pada *epitel* permukaan kedua saluran udara besar ataupun kecil. *Sekret* ini bila banyak akan menyebabkan hambatan aliran udara pada saluran udara yang lebih besar. Dalam saluran udara kecil bahkan dapat lebih membuntu, karena adanya emfisema sering menimbulkan hilangnya jaringan peyangga dan perubahan tekanan udara di dalam *bronkioli alveoli* menyempitkan jalan udara dan membatasi aliran udara.

Kelembaban relatif dalam saluran pernapasan biasanya sekitar 100%, karena daya larut SO₂ dan H₂SO₄ dalam air tinggi, maka bahan ini akan meresap hampir ke seluruh dinding saluran pernapasan bagian atas, yaitu rongga hidung, tenggorokan dan *larynx*, karena itu dampak pencemaran paling sering terjadi pada saluran pernapasan bagian atas.

Gas SO₂ dapat menyebabkan terjadinya penurunan FEV₁ dan meningkatkan resistensi respirasi pada penderita asma serta meningkatkan *nasal airway resistance*.

Udara yang telah tercemar SO₂ menyebabkan manusia akan mengalami gangguan pada sistem pernapasannya. Hal ini karena gas SO₂ yang mudah menjadi asam tersebut menyerang selaput lendir pada hidung,

tenggorokan dan saluran napas yang lain sampai ke paru – paru. Serangan gas SO₂ tersebut menyebabkan iritasi pada bagian tubuh yang terkena.

Daya iritasi SO₂ pada setiap orang ternyata tidak sama. Ada orang yang sensitif dan sudah akan mengalami iritasi apabila terkena SO₂ berkonsentrasi 1 – 2 ppm, namun ada pula orang yang baru akan mengalami iritasi tenggorokan apabila terkena SO₂ berkonsentrasi 6 ppm.³²

Gas SO₂ merupakan bahan pencemar yang berbahaya bagi anak – anak, orang tua dan orang yang menderita penyakit pernapasan kronis dan penyakit kardiovaskular. Otot saluran pernapasan dapat mengalami kejang (*spasme*) bila teriritasi oleh SO₂ dan *spasme* akan lebih berat bila konsentrasi SO₂ lebih tinggi sementara suhu udara rendah. Apabila waktu paparan dengan gas SO₂ cukup lama maka akan terjadi peradangan yang hebat pada selaput lendir yang diikuti oleh *paralysis cilia* (kelumpuhan sistem pernapasan), kerusakan lapisan *epithelium* yang pada akhirnya diikuti oleh kematian.

Beberapa oksida (SO₂, uap asam sulfat dan *aerosol sulfat*) biasanya berhubungan secara sinergis dengan *aerosol oksida* logam atau nitrat dan dapat berakibat buruk terhadap saluran pernapasan. Gas SO₂ dapat larut dalam mukosa membran hidung dan tenggorokan, dan mengiritasi saluran pernapasan bagian atas. Gas SO₂ dapat pula bereaksi dengan uap air sehingga terbentuk asam sulfat yang merupakan zat yang sangat iritatif terhadap mukosa saluran pernapasan dan jaringan paru. Hal ini dapat menyebabkan matinya sel silia, sehingga aktivitas *respiratory*

clearance akan terganggu. Jika sampai pada jaringan paru, maka fungsi sel *makrofag* juga terganggu. Oleh karena itu jika udara pernapasan mengandung bahan pencemar, dapat meningkatkan kepekaan terhadap penyakit infeksi saluran pernapasan (bronkhitis dan emfisema). Bahan polutan gas yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat pula menyebabkan sembab mukosa membran sehingga mengakibatkan penyempitan saluran pernapasan.

Pernapasan hidung melindungi efek SO_2 terhadap paru – paru, karena gas ini yang mudah larut dalam air diabsorpsi sangat efektif pada mukosa hidung. Pada latihan fisik dengan *ventilation rates* 35 L/menit, merubah pernapasan hidung menjadi pernapasan mulut. Sebenarnya bagi yang terlatih pada latihan berat sekalipun, 60 % udara pernapasan masih dapat melewati mukosa hidung. Melalui mekanisme inilah pasien asma yang juga *rinitis alergis* atau *sinusitis*, yang lebih banyak pernapasan mulut, terjadi penurunan pengurangan kontak udara napas dengan mukosa hidung, sehingga efek SO_2 terhadap paru – paru menjadi meningkat.⁴¹

Setiap kali kita bernapas, maka udara akan masuk pipa kapiler dalam paru – paru yang amat luas. Diduga 25 x luas permukaan kulit kita. Setiap permukaan jaringan yang dilalui udara mengandung uap air yang mudah sekali bereaksi dengan SO_2 .

Konsentrasi SO_2 yang tinggi seringkali bersamaan dengan konsentrasi partikulat yang tinggi, kenyataannya 3 atau 4 x peningkatan iritasi karena SO_2 yang diamati karena adanya partikulat yang agaknya

diakibatkan oleh kemampuan partikel *aerosol* untuk memindahkan SO₂ jauh ke dalam paru – paru. Gas SO₂ yang mudah menjadi asam akan menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan dan saluran napas sampai ke paru – paru.

Pajanan jangka pendek terhadap SO₂ dapat menyebabkan *konstriksi* saluran udara pernapasan pada penderita asma dan individu sensitif lainnya. Sedangkan pajanan kronik dapat menyebabkan penebalan selaput lendir *trachea*, mirip dengan bronkhitis kronik. Penebalan tersebut dapat menyelimuti dan membuat tidak aktifnya getaran atau denyut lapisan rambut getar dari saluran pernapasan atas, yang pada keadaan normal berfungsi mengeluarkan agen *infeksius* dan partikel asing. SO₂ merupakan senyawa yang cepat bereaksi dengan jaringan paru dan menimbulkan efek yang sangat luas karena dapat ditransportasikan sampai ke sum – sum tulang dan menimbulkan *anemia aplastik*. Pada konsentrasi 6 – 12 ppm, SO₂ mudah diserap oleh selaput lendir saluran pernapasan bagian atas (tidak lebih dalam daripada *larynx*). Dalam kadar rendah, SO₂ dapat menimbulkan *spasme temporer* otot – otot polos pada *bronchioli*. *Spasme* ini dapat menjadi lebih hebat pada keadaan dingin. Pada konsentrasi yang lebih besar, terjadi produksi lendir di saluran pernapasan bagian atas dan apabila kadar SO₂ bertambah tinggi lagi, maka akan terjadi reaksi peradangan yang hebat pada selaput lendir yang disertai dengan *paralysis cilia* dan kerusakan (*desquamasi*) lapisan *epithelium*. Bila kadar SO₂ (6 - 12 ppm) tetapi pemaparan terjadi berulang kali, maka iritasi selaput lendir yang berulang –

ulang dapat menyebabkan terjadinya *hyperplasia* dan *metaplasia* sel – sel epitel. *Metaplasia* ini dicurigai dapat berubah menjadi kanker.

Zat ini terbentuk ketika sulfur bubuk berwarna kuning keemasan yang terdapat di batu bara dan minyak terbakar. SO₂ adalah gas tak terlihat yang berbau amat tajam dan menyerang sistem pernapasan manusia. Setelah berjam – jam atau berhari – hari tercampur di udara, SO₂ ini membentuk partikel amat halus yang disebut sulfat, yang dapat menembus bagian terdalam dari paru – paru.

Gas SO₂ dapat masuk ke dalam saluran pernapasan melalui mulut atau waktu menarik napas dalam. Daya larut gas SO₂ yang tinggi, mengiritasi dinding bronkus sehingga dapat terjadi peradangan dan meningkatnya produksi lendir. Gas SO₂ dapat pula masuk ke *bronkiolus* dan *alveolus*, mengiritasinya dan menyebabkan terjadinya peningkatan produksi lendir. Akibatnya *resistance* saluran pernapasan meningkat dan dapat terjadi *konstriksi bronkus*.⁴²

2). Gangguan Fungsi Paru Akibat Paparan NO₂.

NO₂ yang terjadi ketika panas pembakaran, menyebabkan bersatunya O₂ dan NO₂ yang terdapat di udara dan memberikan berbagai ancaman bahaya, terutama kerusakan paru – paru. Setelah bereaksi di atmosfer, zat membentuk partikel – partikel nitrat amat halus yang menembus bagian terdalam paru – paru. Partikel – partikel ini jika bergabung dengan air akan membentuk asam.⁴³ NO₂ juga berubah menjadi

partikel – partikel nitrat teramat kecil yang dapat mencapai bagian terdalam paru – paru.²⁶

NO₂ pada inhalasi diserap melalui saluran pernapasan atas. NO₂ bersifat racun terutama paru – paru dan 90 % dari kematian disebabkan oleh gejala *edema pulmonum*. Gas ini tidak terlalu mudah larut dalam air, sehingga tidak terperangkap di dalam *trakhea* dan *bronkhi* tetapi terperangkap di dalam alveoli dari paru – paru dimana berubah menjadi HNO₂ dan HNO₃. Manusia masih tahan dan normal bila udara mengandung 1 – 3 ppm. Pada kadar 13 ppm NO₂, iritasi pada lapisan paru – paru. Pada kadar 100 – 150 ppm selama 30 menit dapat berakibat fatal bagi manusia. Kematian disebabkan karena penyempitan *larinx*, sehingga aliran udara ke dalam paru – paru terhambat dan manusia akan mati lemas (*asphyxia*).²⁸

Pada konsentrasi pemaparan di atas 5 ppm dalam waktu 15 menit akan menyebabkan batuk dan iritasi *tract pernafasan*. Pada pemaparan berlanjut akan terjadi akumulasi abnormal pada *fluida* paru – paru (*pulmonary edema*). Pada konsentrasi 0,10 ppm akan menjadi penyebab penyakit pernapasan dan penurunan fungsi *pulmonary*.⁴⁴

Pengaruhnya pada manusia dapat menyebabkan iritasi, rusaknya paru – paru, bronkhitis dan menyebabkan kerentanan terhadap virus influenza.³⁵ Gas NO₂ dapat diserap oleh saluran pernapasan bagian *perifer*. Gas NO₂ merupakan salah satu oksidan inhalan yang dapat masuk saluran pernapasan dan menyebabkan terjadinya peradangan *bronkus*. Peradangan

bronkus akan menyebabkan terjadinya pengeluaran mediator peradangan seperti *histamin*, *prostaglandin* dan *slow reacting substance A*. Mediator – mediator tersebut akan merangsang *makrofag* dan menyebabkan terjadinya penurunan aktivitas *alfa – 1 antitripsin* dan merusak *elastin*. *Makrofag* juga akan mengeluarkan oksidan seperti H_2O_2 , $HOCl$ atau OH^- , yang dapat merusak membran sel, DNA atau protein sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktur sel.⁴⁵

NO_2 larut dalam air dengan kecepatan rendah, karena itu akan meresap pada saluran pernapasan bagian bawah, yaitu dapat menembus saluran napas (*bronchiole*) dan alveoli.⁴⁶ NO_2 gas oksidan menyebabkan *inflamasi* pada epitel dengan cara membentuk oksidan toksis dan mediator *inflamasi* terlebih dahulu.⁴⁴

Gas NO_2 baik yang berada di udara ambien (*out door*) maupun di udara dalam ruangan (*indoor*), mempunyai efek dapat menurunkan fungsi paru. Bahan – bahan fotokimia oksidan seperti NO_2 dapat langsung masuk ke saluran pernapasan bagian bawah. Bahan – bahan ini dapat mengiritasi jaringan paru dan menyebabkan terjadinya penebalan dinding *alveoli* (*sakus terminalis*), sehingga menurunkan kapasitas fungsi paru.

Oksidan yang berasal dari sel – sel radang (*neutrofil*, PMN dan *eosinofil*) akan timbul apabila sel – sel tersebut dirangsang. Apabila oksidan inhalan terhisap, maka *makrofag alveoler* secara spontan mengeluarkan oksidan berupa *anion superoksida* dan *hidrogen peroksida*.

Selain itu *makrofag* dan *neutrofil* akan memproduksi enzim *elastase*, yaitu enzim yang mempunyai kemampuan merusak *elastin* dan menghambat aktivitas *alfa – 1 antitripsin*. Aktivitas *elastase* menjadi tidak terhambat serta daya perusak *protease* yang berupa perusakan sel *alveoler* dan struktur matrik paru – paru akan berlangsung terus. Jika rangka penunjang lemah, maka pada waktu *ekspirasi bronkus* akan ditekan sehingga terjadi obstruksi *respiratorik*.

Cara pemajanan utama adalah inhalasi. Cara pemajanan penting artinya terhadap efek NO₂, karena toksisitas NO₂ tergantung pada kemampuannya membentuk asam nitrat dengan air pada paru.⁶

NO₂ berpotensi mengganggu kesehatan sistem respirasi. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya bergabung dengan molekul air di paru – paru dan membentuk asam nitrit yang merusak *epitelium* paru melalui proses oksidasi. Pada kadar yang cukup tinggi (>200 ppm) dapat menyebabkan perlukaan paru luas, termasuk *edema pulmoner* berat dan *bronchopneumonia*.⁴⁷

Gas NO₂ mampu untuk melakukan penetrasi yang dalam sampai ke paru – paru dan kantung – kantung udara. NO₂ menyebabkan pembengkakan pada paru – paru yang menghambat perpindahan gas ke dalam darah.

3). Gangguan Fungsi Paru Akibat Paparan Debu Batu Kapur.

Tujuan utama dari respirasi adalah untuk menyediakan O₂ bagi sel tubuh dan membawa CO₂ dari sel tubuh yang merupakan sisa pembakaran. Ada tiga proses yang terjadi selama respirasi, yakni ventilasi, perfusi dan difusi. Ventilasi adalah pergerakan keluar masuknya udara melalui cabang *trakheobronkial*, sehingga O₂ sampai di alveoli dan CO₂ dikeluarkan. Perfusi adalah istilah untuk aliran darah pada kapiler paru. Difusi adalah pergerakan O₂ dan CO₂ melintasi membran alveoli – kapiler yang alirannya dimulai dari daerah yang memiliki konsentrasi tinggi ke daerah yang memiliki konsentrasi rendah. Di dalam alveoli, O₂ berdifusi melintasi membran alveoli – kapiler dari alveoli ke dalam darah karena tekanan parsial O₂ (pO₂), udara alveoli (100 mmHg) lebih besar dari pada pO₂ darah vena (40 mmHg). CO₂ berdifusi dengan arah yang berlawanan dengan pCO₂ darah vena (46 mmHg) lebih besar dari pada pCO₂ alveoli (40 mmHg).⁴⁷

Beberapa faktor dapat mempengaruhi pertukaran O₂ dan CO₂ ini, antara lain suplai O₂ yang adekuat, saluran udara yang utuh, fungsi pergerakan dinding dada dan *diaphragma* yang normal, adanya alveoli dan kapiler yang berfungsi, jumlah hemoglobin yang memadai (normal) untuk membawa O₂ ke sel tubuh, sistem sirkulasi, pompa darah yang utuh dan pusat pernapasan berfungsi normal.

Debu kapur yang terhirup ke dalam pernapasan akan mempengaruhi saluran napas menjadi tidak efektif karena CaCO₃ dan MgCO₃ yang

terkandung di dalam debu kapur akan menurunkan daya *recoil* dari paru pada saat *ekspirasi*. Dalam kondisi normal *ekspirasi* merupakan proses pasif yang terjadi akibat kemampuan kembalinya paru (*recoil*) yang elastis ke keadaan semula. Disamping itu, debu kapur juga dapat menimbulkan reaksi alergi sebagaimana debu yang lain, seperti serpihan kayu, tenun, wol dan kapas. Hal ini merupakan reaksi *hipersensitivitas tipe I* dimana debu kapur yang menempel pada permukaan mukosa saluran napas disertai dengan media reaksi *immunoglobulin E (IgE)* akan mengikat sel mukosa yang dapat berakibat sel mukosa akan melepaskan bahan *vasoaktif* termasuk *histamine*. Reaksi alergi ini menyebabkan terjadinya *bronkhstriksi*, meningkatnya sekresi mukus dan meningkatnya permeabilitas kapiler sebagai akibat dari reaksi *histamine*.⁴¹

10. Pemeriksaan Kapasitas Paru dan Klasifikasi Penilaian

Pemeriksaan fungsi paru pada pekerja berguna untuk mendeteksi penyakit paru, gangguan pernapasan sebelum bekerja, menemukan penyakit secara dini serta memperbaiki perjalanan penyakit, disamping itu juga untuk mengetahui bahaya yang ada di tempat kerja serta mendapatkan standar bahaya pemaparan debu kapur terhadap kapasitas fungsi paru.⁴¹ Pemeriksaan kapasitas paru dengan menggunakan *Portable Spirometer* sebagai alat pemeriksaan untuk mengukur volume paru statik dan dinamik.



Gambar 2.3. Spirometer

Keuntungan penggunaan alat ini adalah : a. mudah pengoperasiannya, sehingga dapat diterapkan secara luas oleh tenaga kesehatan yang ada di lapangan. b. Ringan sehingga mudah di bawa ke mana - mana. c. Hasilnya cepat diketahui dan d. Biaya operasionalnya murah. Dengan menggunakan spirometer akan diketahui beberapa parameter faal paru orang yang diperiksa.

1). Volume Statik :

Volume udara di dalam paru pada keadaan statik :

- a). *Volume Tidal (VT)* adalah jumlah udara yang dihisap (*inspirasi*) tiap kali pada pernapasan tenang.
- b). *Expiration Residual Volume (ERV)* atau volume cadangan *ekspirasi* adalah jumlah udara yang dapat dikeluarkan secara maksimal setelah *inspirasi* biasa.

- c). *Inspiration Residual Volume (IRV)* atau volume cadangan *inspirasi* adalah jumlah udara yang dapat dihisap maksimal setelah *inspirasi* biasa.
- d). *Residual Volume (RV)* atau volume residu adalah jumlah udara yang tinggal di dalam paru pada akhir *ekspirasi* maksimal.
- e). *Vital Capacity (VC)* atau kapasitas vital adalah jumlah udara yang dapat dikeluarkan maksimal setelah *inspirasi* maksimal yaitu gabungan dari $IRV + VT + ERV$.
- f). *Force Vital Capacity (FVC)* adalah sama dengan VC tetapi dilakukan secara cepat dan paksa.
- g). *Inspirasi Capacity (IC)* atau kapasitas *inspirasi* adalah jumlah udara yang dapat dihisap maksimal setelah *ekspirasi* gabungan dari $VT + IRV$.
- h). *Fungsional Residual Capacity (FRC)* atau kapasitas residu fungsional adalah udara yang ada di dalam paru pada akhir *ekspirasi* biasa, gabungan dari $ERV + RV$.
- i). *Total Lung Capacity (TLC)* atau kapasitas paru total adalah jumlah udara di dalam paru pada akhir *inspirasi* maksimal, gabungan dari $FRV + VT + ERV + RV$.

2). Volume Dinamik

- a). *Force Volume I second (FEV₁)* atau volume *ekspirasi* paksa detik pertama adalah jumlah udara yang dapat dikeluarkan

sebanyak - banyaknya dalam 1 detik pertama pada waktu *ekspirasi* maksimal setelah *inspirasi* maksimal

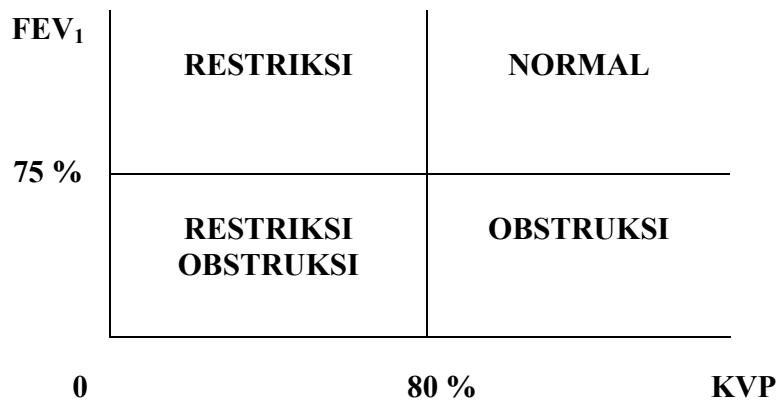
b). *Maximal Voluntary Ventilation* (MVV) adalah jumlah udara yang dapat dikeluarkan secara maksimal dalam 2 menit dengan bernapas cepat dan dalam secara maksimal.

Kegunaan Pemeriksaan Fungsi Paru adalah mendeteksi penyakit paru dengan gangguan pernapasan sebelum bekerja, kemudian secara berkala selama kerja untuk menemukan penyakit secara dini serta menentukan apakah seseorang mempunyai fungsi paru normal, restriksi, obstruksi atau bentuk campuran (*mixed*). Tujuan epidemiologis adalah menilai bahaya di tempat kerja dan mendapatkan standar bahaya tersebut.^{34,37} Pemeriksaan kapasitas paru mempunyai klasifikasi penilaian sebagai berikut :

Tabel 2.2. Klasifikasi Penilaian Fungsi Paru

NILAI NORMAL	<ul style="list-style-type: none"> • KVP > 80 %, nilai prediksi untuk semua umur
RESTRIKSI	<ul style="list-style-type: none"> • KVP < 80 %, FEV₁ > 75 %, nilai prediksi • Restriksi Ringan : KVP > 60 % < 80 % nilai prediksi • Restriksi Sedang : KVP > 30 % < 60 %, nilai prediksi • Restriksi Berat : KVP < 30 %, nilai prediksi
OBSTRUKSI	<ul style="list-style-type: none"> • KVP > 80 %, FEV₁ ≤ 75 %, nilai prediksi • Obstruksi Ringan : FEV₁ > 60 %, nilai prediksi • Obstruksi Sedang : FEV₁ > 30 % < 60 %, nilai prediksi • Obstruksi Berat : FEV₁ < 30 %, nilai prediksi

Sumber : American Thoracic Society, *Medical Section of The Asian Lung Association*. Am. Rev Respir.



Grafik 2.1. Klasifikasi Penilaian Fungsi Paru

11. Faktor – Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Fungsi Paru Akibat Gas SO₂, NO₂ dan Debu Kapur

Faktor - faktor yang mempengaruhi gejala saluran pernapasan dan gangguan ventilasi paru khususnya dari aspek tenaga kerja yang meliputi kebiasaan merokok, masa kerja, umur, kebiasaan penggunaan APD, status gizi dan kebiasaan OR.

a. Kebiasaan Merokok

Merokok dapat menyebabkan perubahan struktur, fungsi saluran napas dan jaringan paru - paru. Pada saluran napas besar, sel mukosa membesar (*hipertrofi*) dan kelenjar mukus bertambah banyak (*hiperplasia*). Pada saluran napas kecil, terjadi radang ringan hingga penyempitan akibat bertambahnya sel dan penumpukan lendir. Pada

jaringan paru - paru terjadi peningkatan jumlah sel radang dan kerusakan alveoli.⁴⁸

Akibat perubahan anatomi saluran napas pada perokok akan timbul perubahan pada fungsi paru dengan segala macam gejala klinisnya. Hal ini merupakan penyebab utama terjadinya PPOM.

Faktor - faktor yang mempengaruhi hubungan rokok dengan terjadinya kanker paru, antara lain :⁴⁸

1). Bentuk tembakau

Perokok *cigarette* lebih mudah mendapat kanker paru dibanding dengan perokok pipa atau cerutu, sebab asap pipa dan cerutu lebih alkalis dibandingkan asap *cigarette*.

2). Jumlah rokok

Semakin banyak rokok yang dihisap tiap hari, makin tinggi risiko terkena kanker. Peneliti di Itali pada perokok *cigarette* sebanyak 15 batang atau lebih tiap harinya, memiliki risiko relatif 2,6 kali penderita bronkhitis kronis, 1,7 kali emfisema, 2,1 kali penderita *ulcer gastroduodenum* dan 1,6 kali menderita *haemorrhoids* dibandingkan dengan bukan perokok.⁵⁰

Pembagian derajat merokok adalah sebagai berikut :¹¹

a). Derajat 1 : 1 – 12 batang / hari.

b). Derajat 2 : 13 – 24 batang / hari.

c). Derajat 3 : > 25 batang / hari.

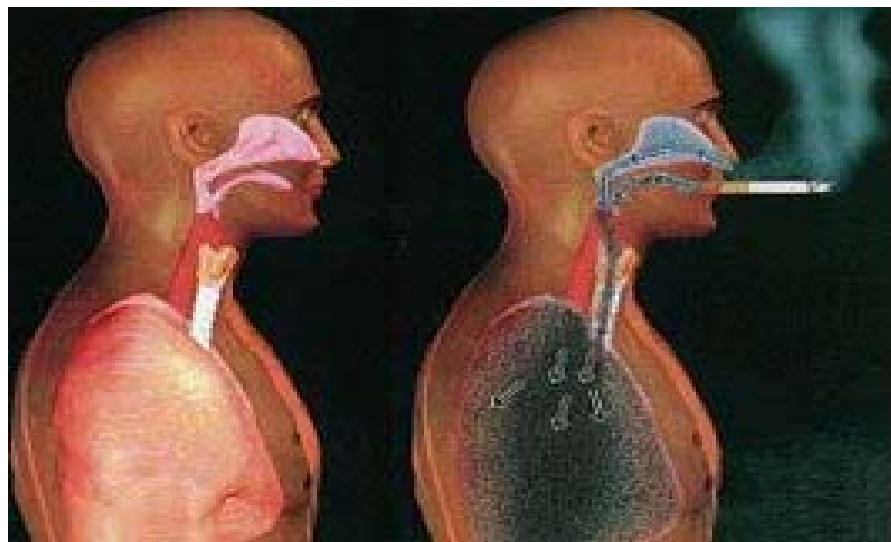
3). Lamanya merokok

Semakin lama seseorang merokok meneruskan kebiasaannya, makin tinggi risiko terkena kanker paru - paru.

4). Inhalasi

Makin dalam asap rokok yang dihisap ke dalam paru, makin tinggi risiko terkena kanker paru - paru.

Hasil penelitian Sasaki, menunjukkan kebiasaan merokok mempunyai kecenderungan terjadinya obstruksi, namun gangguan paru akibat rokok baru diketahui setelah umur 40 tahun. Penelitian Hisyam et. al., ditemukan penderita PPOK perokok 41,6 %, merokok mempunyai risiko untuk menderita PPOK 2,6 kali lebih besar dibandingkan bukan perokok.⁴⁰



Gambar 2.4. Racun Rokok Menyebar ke Paru - Paru
Sumber : JAMA, 1994

b. Masa Kerja

Setiap kegiatan industri selalu menggunakan teknologi, baik teknologi yang canggih ataupun sederhana. Efek samping penggunaan teknologi dapat mengganggu tatanan kehidupan dan lingkungan hidup, khususnya penggunaan teknologi yang dapat berdampak negatif pada tenaga kerja.¹² Pekerja yang berada pada lingkungan kerja dengan kadar debu tinggi dalam waktu lama memiliki risiko tinggi terkena obstruksi paru.

32

Berdasarkan studi menunjukkan bahwa masa kerja lebih dari 10 tahun mempunyai risiko terjadinya obstruksi paru pada pekerja industri yang berdebu.⁵¹

c. Umur Tenaga Kerja

Faal paru akan meningkat dengan bertambahnya umur, nilai faal paru mulai dari masa kanak – kanak terus meningkat sampai mencapai titik optimal pada usia 22 – 30 tahun. Sesudah itu terjadi penurunan, setelah mencapai titik pada usia dewasa muda, difusi paru, ventilasi paru, ambilan O₂ dan semua parameter paru akan menurun sesuai dengan perubahan usia. Sesudah usia pubertas anak laki – laki menunjukkan kapasitas faal paru yang lebih besar dari pada perempuan.⁵²

d. Kebiasaan Memakai APD

APD untuk pekerja adalah alat pelindung untuk pekerja agar aman dari bahaya atau kecelakaan akibat melakukan suatu pekerjaannya. APD

untuk pekerja di Indonesia sangat banyak sekali permasalahannya dan masih dirasakan banyak kekurangannya.⁵³

Sedangkan APD yang baik adalah yang memenuhi standar keamanan dan kenyamanan bagi pekerja (*Safety and Acceptation*). Apabila pekerja memakai APD merasa kurang nyaman dan penggunaannya kurang bermanfaat bagi pekerja. Pekerja tersebut akan enggan memakainya, walaupun memakai karena terpaksa / hanya berpura - pura sebagai syarat agar masih diperbolehkan untuk bekerja atau menghindari sanksi perusahaan.⁵³

APD yang tepat bagi tenaga kerja yang berada pada lingkungan kerja dengan paparan debu berkonsentrasi tinggi adalah :

- 1). Masker untuk melindungi debu atau partikel - partikel yang lebih kasar masuk ke dalam saluran pernapasan, terbuat dari bahan kain dengan ukuran pori - pori tertentu.
- 2). Respirator pemurni udara, membersihkan udara dengan cara menyaring atau menyerap kontaminan toksinitas rendah sebelum memasuki sistem pernapasan.

e. Status gizi ⁵⁴

Status gizi buruk akan menyebabkan daya tahan seseorang menurun, sehingga seseorang mudah terkena infeksi oleh mikroba.

Berkaitan dengan infeksi saluran pernapasan, apabila terjadi secara berulang dan disertai batuk berdahak, akan menyebabkan terjadinya bronkhitis kronis.

Salah satu penilaian status gizi seseorang yaitu dengan menghitung Indeks Massa Tubuh (IMT). Hasil penelitian tentang kegemukan dan angka kematian, dijelaskan bahwa kegemukan dapat mengurangi umur seseorang. Bahkan orang gemuk yang tidak merokok berarti hidupnya lebih sehat, memiliki risiko kematian dini yang lebih tinggi dibanding orang yang lebih kurus.

Untuk memantau berat badan dapat digunakan IMT, dengan IMT akan diketahui apakah berat badan seseorang dinyatakan normal, kurus atau gemuk. Penggunaan IMT hanya untuk orang dewasa berumur lebih dari 18 tahun dan tidak dapat diterapkan pada bayi, anak, remaja, ibu hamil dan olahragawan.

Untuk mengetahui nilai IMT dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{IMT} = \frac{\text{Berat Badan (kg)}}{(\text{Tinggi Badan (m)})^2}$$

Batas ambang IMT ditentukan dengan merujuk ketentuan FAO atau WHO, yang membedakan batas ambang untuk laki - laki dan perempuan. Disebutkan bahwa batas ambang normal untuk laki – laki

adalah 20,1 - 25,0 dan untuk perempuan adalah 18,7 - 23,8. Untuk kepentingan Indonesia batas ambang dimodifikasi berdasarkan pengalaman klinis dan hasil penelitian di beberapa negara berkembang. Pada akhirnya diambil kesimpulan batas ambang IMT untuk Indonesia adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3. Batas Ambang Indeks Massa Tubuh (IMT)

Kategori	Keterangan	IMT
Kurus	Kekurangan Berat Badan Tingkat Berat	< 17,0
	Kekurangan Berat Badan Tingkat Ringan	17,0 – 18,4
Normal	-	18,5 – 25,0
Gemuk	Kelebihan Berat Badan Tingkat Ringan	25,0 – 27,0
	Kelebihan Berat Badan Tingkat Berat	> 27,0

Sumber : WHO / FAO 2003.

f. Kebiasaan OR ⁵⁵

Kapasitas paru dapat dipengaruhi oleh kebiasaan seseorang melakukan OR. Pada OR terdapat satu unsur pokok yang penting dalam kesegaran jasmani, yaitu fungsi pernapasan. Berolah raga secara rutin dapat meningkatkan aliran darah melalui paru yang akan menyebabkan kapiler paru mendapatkan perfusi maksimum, sehingga O₂ dapat berdifusi ke dalam kapiler paru dengan volume lebih besar atau maksimum. OR sebaiknya dilakukan minimal seminggu tiga kali.

E. Nilai Ambang Batas SO₂, NO₂ dan Debu Kapur.

Debu kapur yang dihasilkan akibat proses pemecahan batu kapur, pengisian ke dalam tanur, pembakaran, pembongkaran, pengecoran dengan air, pengadukan dan pengemasan batu kapur dapat menyebabkan pencemaran udara di lingkungan kerja dan bisa berbahaya bagi tenaga kerja. Untuk mengantisipasi efek negatif paparan debu kapur di tempat kerja, maka perlu dilakukan upaya pencegahan dan perlindungan terhadap keselamatan dan kesehatan tenaga kerja. Salah satu upaya pencegahan tersebut adalah menetapkan NAB zat kimia di udara tempat kerja menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI) sehingga para pengusaha dapat mengendalikan lingkungan kerja perusahaannya dengan mengacu pada standar ini. Standar ini memuat tentang NAB rata – rata tertimbang waktu (*time weighted average*) zat kimia di udara tempat kerja, dimana terdapat tenaga kerja yang dapat terpapar zat kimia sehari – hari selama tidak lebih dari 8 jam per hari atau 40 jam per minggu, serta cara untuk menentukan NAB campuran untuk udara tempat kerja yang mengandung lebih dari satu macam zat kimia.

NAB adalah standar faktor bahaya di tempat kerja sebagai pedoman pengendalian agar tenaga kerja masih dapat menghadapinya tanpa mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan dalam pekerjaan sehari – hari untuk waktu tidak lebih dari 8 jam sehari atau 40 jam seminggu. Kegunaan NAB ini sebagai rekomendasi pada praktek higiene perusahaan dalam melakukan penatalaksanaan lingkungan kerja sebagai upaya untuk mencegah dampaknya terhadap kesehatan. Untuk parameter SO₂, NO₂ dan debu kapur telah ditetapkan oleh Departemen

Tenaga Kerja dalam Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No : 01/Men/1997 tentang NAB Faktor Kimia di Udara Lingkungan Kerja, yaitu :

- a. SO₂, nilai ambang batas : 5,2 mg/m³, 2 ppm (8 jam kerja).
- b. NO₂, nilai ambang batas : 5,6 mg/m³, 3 ppm (8 jam kerja).
- c. Debu kapur, nilai ambang batas : 3 mg/m³ (8 jam kerja).

NAB menunjukkan kadar dimana manusia dapat bereaksi fisiologis terhadap suatu zat.

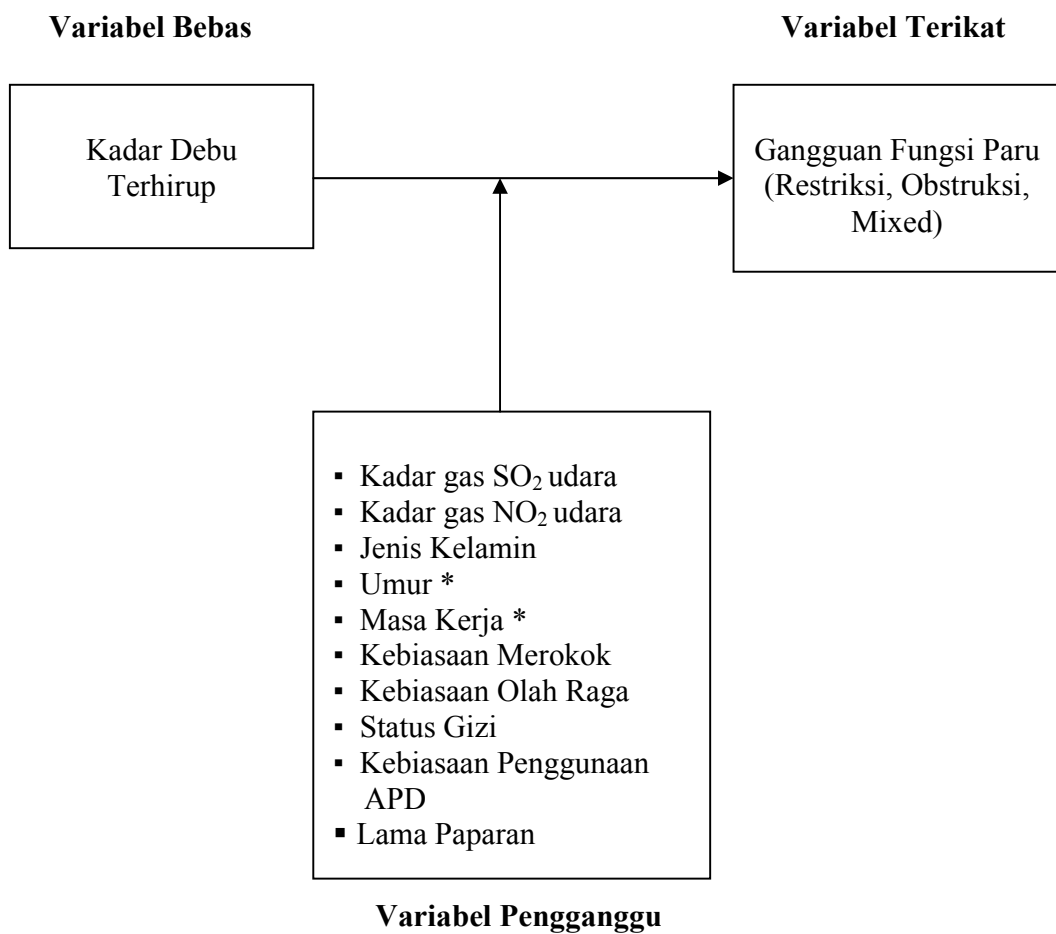
Sedangkan berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor : 10 Tahun 2000, Tanggal 13 Mei 2000 tentang Baku Mutu Udara Emisi Sumber Tidak Bergerak Tingkat Provinsi Jawa Tengah, yaitu :

1. SO₂, baku mutu 800 mg / m³
2. NO₂, baku mutu 1.000 mg / m³

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Kerangka Konsep Penelitian



Keterangan : * = Dikendalikan

Gambar 3.1. Kerangka Konsep

Dalam terminologi metodologi, variabel dapat diartikan sebagai segala sesuatu sebagai penggambaran atau *abstraksi* dari suatu fenomena tertentu yang bervariasi. Variabel dalam penelitian ini, adalah :

1. Variabel bebas (*Independent Variabel*) dalam penelitian ini adalah kadar debu terhirup di lingkungan kerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.
2. Variabel terikat (*Dependent Variabel*) dalam penelitian ini adalah gangguan fungsi paru yang mengalami penurunan fungsi paru sehingga akan mengalami gangguan restriksi, obstruksi serta kombinasi (restriksi dan obstruksi).
3. Variabel Pengganggu (*Confounding*) dalam penelitian ini adalah kadar gas SO₂ udara, NO₂ udara, jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, kebiasaan OR, status gizi, kebiasaan penggunaan APD dan lama paparan.

B. Hipotesis

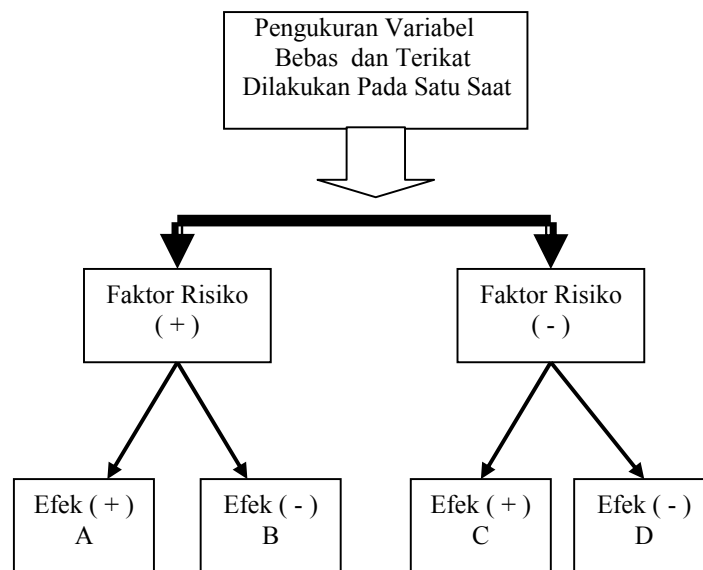
Ada hubungan antara paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru (restriksi, obstruksi dan mixed) pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.

C. Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian analitik dengan rancangan *Cross Sectional* (potong lintang). Dalam penelitian ini variabel bebas (faktor risiko) dan terikat (efek) dinilai secara simultan dengan pengukuran pada satu saat dan akan diperoleh efek populasi pada suatu saat sehingga dapat dibandingkan antara

prevalensi penyakit pada kelompok risiko dengan prevalensi penyakit pada kelompok tanpa risiko serta dapat menentukan hubungan antara faktor risiko dan penyakit.⁵⁶

Rancangan penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Skema Rancangan Studi *Cross Sectional*

Sumber : Dasar – Dasar Metodologi Penelitian Klinis, 2002.

Struktur studi *Cross Sectional* adalah untuk menilai faktor risiko dalam kejadian efek. Pengukuran variabel bebas (faktor risiko) dan terikat (efek) dilakukan pada saat yang sama dan hanya satu kali. Hasil pengamatan studi *Cross Sectional* kemudian disusun dalam tabel 2 X 2.⁵⁶

A = Subyek dengan faktor risiko yang mengalami efek.

B = Subyek dengan faktor risiko yang tidak mengalami efek.

C = Subyek tanpa faktor risiko yang mengalami efek.

D = Subyek tanpa faktor risiko yang tidak mengalami efek.

D. Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah semua pekerja pada bagian lokasi pemecahan batu kapur, pembakaran, pembongkaran tobong, pengecoran dengan air, pengayakan dan pengemasan industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggungharjo Kab. Grobogan. Seluruh pekerja di industri batu kapur tersebut berjumlah 205 orang yang menjadi target peneliti untuk melakukan generalisasi sebagai populasi target. Pekerja yang memenuhi syarat inklusi (populasi studi) berjumlah 160 orang.

Sampel penelitian ini adalah pekerja pada bagian produksi yang mempunyai risiko tinggi terpapar debu terhirup, Besar sampel penelitian (n) ditentukan berdasarkan rumus : ⁵⁷

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

Keterangan :

p = Proporsi perkiraan pekerja yang fungsi paru tidak normal = 60 %.

q = Proporsi perkiraan pekerja yang fungsi paru normal

$$1 - p = 1 - 0,6 = 0,4.$$

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

N = Besarnya populasi pekerja industri batu kapur (N = 160 orang).

n = Besarnya *sampel*.

d = *Degree of precision* / derajat keputusan = 0,1.

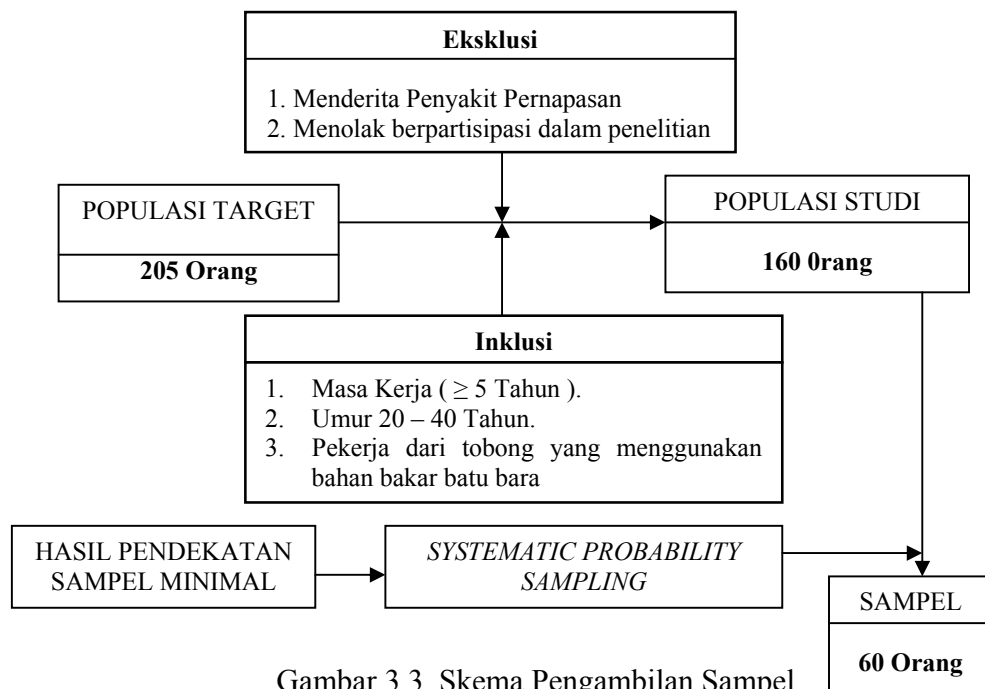
$z = \text{Confidence coefficient } 95 \% (z = 1,96).$

Sehingga :

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 160}{(0,10)^2 \cdot (160 - 1) + (1,96)^2 \cdot 0,6 \cdot 0,4}$$

$$n = \frac{(3,84) (38,4)}{1,59 + 0,92} = \frac{147,5}{2,51} = 59 \text{ (dibulatkan 60 orang).}$$

Pemilihan subyek sampel dilakukan dengan teknik sistematis, sampel ditentukan dengan mengambil nomor urut $1/n$ dari populasi, misalnya N/n ($160/60$) = 2,6 sebagai sampel nomor pertama didapat nomor urut 5, sehingga sampel nomor berikutnya adalah nomor 8 (kelipatan 3, demikian seterusnya), rancangan ini disebut Rancangan Sistematis Probabilitas (*Systematic Probability Sampling*).⁵⁶



Gambar 3.3. Skema Pengambilan Sampel

E. Definisi Operasional Variabel Penelitian dan Skala Pengukuran

NO	VARIABEL	DEFINISI OPERASIONAL	SATUAN DAN KATEGORI	CARA PENGUKURAN	SKALA
1.	Gangguan Fungsi Paru Pekerja Industri Batu Kapur.	Kondisi ventilasi paru yang dinilai dengan menggunakan parameter FVC dan FEV ₁ , bahwa : Normal : KVP > 80 %, nilai prediksi untuk semua umur, Restriksi : KVP < 80 %, FEV ₁ > 75, nilai prediksi Restriksi Ringan KVP > 60% < 80 % nilai prediksi Restriksi Sedang : KVP > 30% < 60%, nilai prediksi Restriksi Berat : KVP < 30%, nilai prediksi Obstruksi : KVP > 80 %, FEV ₁ ≤ 75%, nilai prediksi Obstruksi Ringan : FEV ₁ > 60%, nilai prediksi Obstruksi Sedang FEV ₁ > 30% < 60%, nilai prediksi Obstruksi Berat : FEV ₁ < 30%.	a. Tidak ada gangguan (normal) bila FEV ₁ > 75% dan KVP > 80% , skor = 2. b. Ada gangguan (Restriktif, Obstruktif, <i>Mixed</i>) bila FEV ₁ < 75 % dengan semua nilai KVP atau KVP < 80 % dengan semua nilai FEV ₁ , skor = 1.	Pengukuran menggunakan alat spirometer oleh Tim Balai Pencegahan dan Pengobatan Penyakit Paru Semarang.	Nominal
2.	Paparan Debu Terhirup (<i>Respirable</i>).	Hasil pengukuran kadar debu terhirup terhadap para pekerja secara bergantian dengan durasi waktu satu jam masing – masing pekerja dengan menggunakan alat <i>Personal Dust Sampler</i> .	1. Tidak memenuhi syarat bila di atas NAB (kadar debu kapur > 3 mg/m ³). 2. Memenuhi syarat bila di bawah NAB (kadar debu kapur ≤ 3 mg/m ³). (Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No – 01/Men/1997).	Menggunakan alat <i>Personal Dust Sampler</i> merk <i>SKC Model 224-PCXR-8</i> oleh Petugas dari Balai Pengembangan Keselamatan Kerja dan Hiperkes Semarang.	Nominal
3.	Bagian / Unit Kerja.	Bagian dari pekerjaan yang dilakukan pekerja.	1. Pemecahan. 2. Pembakaran. 3. Pembongkaran.	Diukur pada saat wawancara langsung dengan pekerja.	Nominal

NO	VARIABEL	DEFINISI OPERASIONAL	SATUAN DAN KATEGORI	CARA PENGUKURAN	SKALA
			4. Pengecoran. 5. Pengayakan. 6. Pengemasan.		
4.	Paparan Kadar SO ₂ di Udara Ambien.	Hasil pengukuran kadar SO ₂ menggunakan alat <i>Spektrofotometer UV - VIS</i> , dengan metode <i>Pararosanilin</i> . Pengukuran pada tiga titik lokasi di industri batu kapur sebanyak satu kali pengukuran.	1. Tidak memenuhi syarat bila di atas NAB (kadar SO ₂ > 800 mg/m ³). 2. Memenuhi syarat di bawah NAB (kadar SO ₂ ≤ 800 mg/m ³). (Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 10 Tahun 2000).	Menggunakan alat ukur <i>Spektrofotometer UV - VIS</i> oleh Balai Laboratorium Kesehatan Semarang.	Nominal
5.	Paparan Kadar NO ₂ di Udara Ambien.	Hasil pengukuran kadar NO ₂ menggunakan alat <i>Spektrofotometer UV - VIS</i> , dengan metode <i>Saltzman</i> . Pengukuran pada tiga titik lokasi di Industri batu kapur Sebanyak satu kali pengukuran.	1. Tidak memenuhi syarat bila di atas NAB (kadar NO ₂ > 1.000 mg/m ³). 2. Memenuhi syarat di bawah NAB (bila kadar NO ₂ ≤ 1.000 mg/m ³). (Kep. Gubernur Jawa Tengah No. 10 Tahun 2000).	Menggunakan alat ukur <i>Spektrofotometer UV - VIS</i> oleh Balai Laboratorium Kesehatan Semarang.	Nominal
6.	Umur.	Umur pekerja industri batu kapur sampai saat penelitian.	1. 20 - 30 Tahun. 2. 31 - 40 Tahun.	Ditanyakan pada saat mengajukan kuesioner (wawancara).	Nominal
7.	Masa Kerja.	Lamanya pekerja bekerja di industri batu kapur mulai bekerja sampai saat wawancara dilakukan.	1. 5 - 10 Tahun. 2. 11 - 20 Tahun.	Diukur pada saat wawancara langsung kepada pekerja.	Nominal

NO	VARIABEL	DEFINISI OPERASIONAL	SATUAN DAN KATEGORI	CARA PENGUKURAN	SKALA
8.	Kebiasaan Merokok.	Kebiasaan merokok yang dapat merusak kesehatan dengan cara menghisap asap dari hasil pembakaran rokok.	1. Merokok. (Ya) 2. Tidak Merokok (Tidak)	Diukur pada saat wawancara langsung kepada pekerja.	Nominal
9.	Kebiasaan Olah Raga.	Kebiasaan olah raga secara teratur yang dilakukan oleh pekerja selain kegiatan rutin bekerja sebagai pekerja di industri batu kapur minimal seminggu sekali.	1. Melakukan Olah Raga (Ya). 2. Tidak Melakukan Olah Raga (Tidak).	Diukur pada saat wawancara langsung kepada pekerja.	Nominal
10.	Status Gizi (IMT).	Nilai dari hasil perhitungan berat badan dalam kg dibagi pangkat dua dari tinggi badan dalam meter. Pengukuran dilakukan satu kali pada saat penelitian.	a. Kurus Tingkat Berat : < 17,0 kg/m ² . b. Kurus Tingkat Ringan : 17,0 – 18,4 kg/m ² . c. Normal : 18,5 – 25,0 kg/m ² . d. Gemuk Tingkat Ringan > 25,0 – 27,0 kg / m ² . e. Gemuk Tingkat Berat > 27,0 kg/m ² . Kategori : 1. Tidak Normal (apabila termasuk kriteria a, b, d,e) 2. Normal (apabila termasuk nilai c).	Diukur tinggi badan menggunakan meteran tinggi badan (<i>microtoise</i>) standar dan berat badan menggunakan timbangan badan <i>portable</i>	Nominal
11.	Kebiasaan Penggunaan APD	Kebiasaan menggunakan bahan penutup hidung berupa masker sebagai alat pelindung diri dari debu terhirup.	1. Menggunakan APD (Ya) 2. Tidak Menggunakan APD (Tidak)	Diukur pada saat wawancara langsung kepada pekerja	Nominal

NO	VARIABEL	DEFINISI OPERASIONAL	SATUAN DAN KATEGORI	CARA PENGUKURAN	SKALA
12.	Lama Paparan	Lamanya seseorang berada di lingkungan kerja dalam sehari	1. \leq 8 jam / hari 2. $>$ 8 jam / hari	Angka diperoleh dari hasil pengisian kuesioner	Nominal

F. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

1. Kriteria Inklusi

Kriteria inklusi adalah syarat yang harus dipenuhi agar responden dapat menjadi sampel penelitian. Adapun kriteria tersebut, adalah :

- a. Masa kerja responden \geq 5 tahun.
- b. Umur responden antara 20 – 40 tahun.
- c. Responden dari area masjid, area timur dan area tengah (bahan bakar batu bara). Area barat tidak diperiksa fungsi parunya karena bahan bakar yang digunakan mayoritas kayu bakar.

2. Kriteria eksklusi

Kriteria eksklusi adalah syarat yang tidak dapat dipenuhi oleh responden supaya dapat menjadi sampel. Kriteria tersebut adalah :

- a. Pada saat penelitian (pemeriksaan fungsi paru) sedang menderita penyakit pernapasan, seperti : bronchitis, radang paru, TBC paru, asma dan alergi.
- b. Menolak berpartisipasi dalam penelitian.

G. Alat dan Cara Penelitian

1. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan kuesioner terstruktur (terlampir) untuk mengumpulkan data umum responden, sedangkan untuk :

- a. Pengukuran kadar SO₂ udara di bagian produksi dengan menggunakan *spektrofotometer UV – VIS*, metode *pararosanilin*.
- b. Pengukuran kadar NO₂ udara di bagian produksi dengan menggunakan *spektrofotometer UV – VIS*, metode *saltzman*.
- c. Pengukuran gangguan fungsi paru menggunakan spirometer.
- d. Pengukuran berat badan menggunakan timbangan injak standar (*portable*).
- e. Pengukuran tinggi badan menggunakan meteran tinggi badan standar (*microtoise*).

2. Cara Penelitian

Tahap Persiapan

Survei awal koordinasi dengan Dinas Kesehatan Kabupaten Grobogan untuk mengadakan pendekatan kepada Kepala Desa Mrisi sebagai obyek penelitian kemudian meminta data (validasi data) di Puskesmas Tanggungharjo untuk dapat mengetahui data penyakit di desa tersebut. Sehingga dalam penelitian diharapkan mendapat dukungan penuh dari semua pihak. Kemudian melakukan studi pendahuluan dengan mengadakan observasi lapangan untuk melihat kondisi industri batu kapur dan pekerjaannya secara lebih dekat.

Variabel (data) yang akan diambil dan cara pengambilan adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan wawancara dan mengisi kuesioner yang telah disiapkan tentang karakteristik responden sebagai data pendukung sebanyak 60 orang pekerja.
- b. Pemeriksaan fungsi paru pekerja oleh Balai Pencegahan dan Pengobatan Penyakit Paru (BP 4) Semarang dengan menggunakan Spirometer.

1). Persiapan Alat dan Penderita Dalam Pengukuran Spirometer

a). Persiapan Alat

- (1). Alat harus dikalibrasi untuk volume dan arus, minimal satu kali seminggu.
- (2). Penyimpangan tidak boleh melebihi 1,5 % dari kalibrator.

b). Persiapan Penderita :

- (1). Penderita harus mengerti tujuan dan cara pemeriksaan, yaitu dengan memberikan petunjuk yang tepat dan benar serta contoh cara melakukan pemeriksaan.
- (2). Bebas dari rokok minimal 2 jam sebelum pemeriksaan.
- (3). Tidak boleh makan terlalu kenyang sebelum pemeriksaan.
- (4). Berpakaian tidak ketat

3. Pengukuran fungsi paru.

Digunakan alat spirometer elektrik merk *spiroanalyzer tipe ST – 250, fukuda sangyo*, Ltd Jepang dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Menyiapkan spirometer lengkap dengan kertas grafik.
- b. Responden diminta untuk meniup selang yang ada pada spirometer.
- c. Responden menarik napas kuat - kuat kemudian meniup ke alat secara kuat tanpa menekan tombol grafik, sehingga dihasilkan garis vertikal yang menunjukkan besarnya *Vital Capacity*.
- d. Peniupan kedua, responden menarik napas dan meniupkan secara kuat bersama dengan tiupan tersebut disertai penekanan tombol sehingga menghasilkan garis lengkung kurva yang menunjukkan FEV_1 (*Forced Expiratory Volume In 1 Second*).
- e. Hasil yang diperoleh dari pengukuran fungsi paru adalah membandingkan $\% FEV_1 : \% FVC$ dengan kemungkinan hasil : ¹⁰

Tabel 3.1. Derajat Kapasitas Fungsi Paru

Parameter Fungsi Paru	Gangguan Fungsi Paru	
	Ada Gangguan	Tidak Ada Gangguan (Normal)
	%	%
FEV_1	< 75 dengan semua nilai KVP	> 75
KVP (FEV_1 / FVC)	< 80 dengan semua nilai FEV_1	> 80

Sumber : (Epler, 1997)

4. Pengukuran kadar SO_2 di bagian produksi dengan menggunakan *spektrofotometer UV-VIS*, metode *pararosanilin* oleh Balai Laboratorium Kesehatan Semarang.

Perhitungan konsentrasi SO₂ di udara :⁵⁸

$$C_{SO_2} = \frac{C}{V \times r}$$

Dimana :

C_{SO₂} = Konsentrasi SO₂ di udara (ppm).

C = Konsentrasi contoh uji (μLSO₂).

r = Perbandingan jumlah larutan penyerap terhadap larutan yang dianalisis.

V = Volume udara yang dihisap pada saat pengambilan contoh uji pada 25 ° C, 1 atm (L).

5. Pengukuran kadar NO₂ di bagian produksi dengan menggunakan *spektrofotometer UV-VIS*, metode *saltzman* oleh Balai Laboratorium Kesehatan Semarang.

Perhitungan konsentrasi NO₂ di udara :⁵⁸

$$C_{NO_2} = \frac{C \times Y}{V \times 0,82}$$

Dimana :

C_{NO_2} = Konsentrasi NO_2 di udara (ppm).

C = Konsentrasi contoh uji ($\mu L NO_2 / mL$).

Y = Volume larutan penyerap dalam *fritted bubbler*.

0,82 = Faktor Empirik.

V = Volume udara yang dihisap pada saat pengambilan contoh uji pada $25^\circ C, 1 atm (L)$.

6. Pengukuran jumlah paparan debu terhirup para pekerja. Dilakukan oleh tenaga ahli dari Balai Pengembangan Keselamatan Kerja dan Hiperkes Semarang menggunakan alat *personal dust sampler* merk *SKC Model 224-PCXR-8*. Pengambilan sampel debu dilakukan selama jam kerja (1 jam terus menerus) dan diletakkan setinggi hidung rata – rata karyawan.

Cara pengukuran dengan *Personal Dust Sampler (PDS)* :

- a. Alat dikalibrasi dengan kecepatan hisapan 1 – 1,9 l/menit.
- b. Pasang filter pada *filter holder* dengan bagian kasar diletakkan di sebelah depan / atas.
- c. Alat pekerja diletakkan / pasang dengan posisi “*holder*” setinggi hidung.
- d. Pengambilan sampel dilakukan sesuai waktu yang diinginkan.
- e. Setelah selesai melakukan “*sampling*”, filter diambil menggunakan pinset dan dimasukkan ke dalam filter.

Analisis :

- 1). Filter hasil pengukuran dimasukkan, baik sampel uji maupun blangko ke dalam *desikator* selama 24 jam.
- 2). Filter ditimbang menggunakan timbangan analitik sampai diperoleh bobot tetap.
- 3). Hasil penimbangan filter dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$\text{Kadar debu (mg/m}^3\text{)} = \frac{(B - A) - (B' - A') \text{ (mgr)}}{(m^3) \text{ Volume udara sampling}} \dots\dots\dots (1)$

Dimana :

A = Berat filter uji sebelum “ sampling “.

B = Berat filter uji sesudah “ sampling “.

A' = Berat filter blangko sebelum “ sampling “.

B' = Berat filter blangko sesudah “ sampling “.

Volume udara sampel (m³) : Laju alir udara x waktu sampling.

7. Pemeriksaan fisik. Untuk pemeriksaan berat badan dengan alat penimbang berat badan “ *portable* “ merk Kubota, tinggi badan dengan menggunakan meteran tinggi badan standar (*microtoise*).

H. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

1. Teknik Pengolahan

Tahap Pengolahan data :

a. *Editing*

Pengecekan data untuk kelengkapan data, kesinambungan data, keseragaman data sehingga validitas data dapat terjamin.

b. *Coding*

Dilakukan untuk memudahkan dalam pengolahan data serta menjadi kerahasiaan identitas responden.

c. *Scoring*

Dilakukan untuk memberikan skor terhadap variabel yang akan dianalisis berdasarkan skor, yaitu skor 1 untuk *index catagory* (kategori indeks) dan skor 0 untuk *reference catagory* (kategori pembanding).

d. *Cleaning*

Data yang dikumpulkan kemudian dilaksanakan *cleaning* (pembersihan) data, artinya sebelum dilakukan pengolahan, dilakukan pengecekan data agar supaya tidak terdapat data yang tidak diperlukan.

2. Analisa Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan *Statistical Product and Service Solution* versi 11,00. Hasil penelitian kemudian dianalisis secara deskriptif dan analisis *binary regression logistic* dengan metode *Backward Stepwise*. Besar nilai signifikansi dipergunakan sebagai dasar hitungan bagi setiap uji statistik

pada masing – masing variabel terikat, yaitu : debu terhirup terhadap gangguan fungsi paru serta pengaruh variabel pengganggu seperti kadar SO₂ udara, NO₂ udara, jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, kebiasaan OR, status gizi, kebiasaan penggunaan APD dan lama paparan terhadap gangguan fungsi paru pekerja industri batu kapur.

Selain hal tersebut dipergunakan Odds Ratio yang menunjukkan besarnya peran faktor risiko yang diteliti terhadap terjadinya penyakit (efek). Nilai Odds Ratio dapat dilihat dari besarnya eksponensial koefisien persamaan regresi logistik. Indikasi yang menunjukkan Odds Ratio yang diperoleh menggambarkan hubungan yang bermakna secara statistik apabila diperoleh pada interval kepercayaan 95 % dengan *Lower – Upper OR* > 1 dan tidak mencakup angka 1, berarti menggambarkan adanya risiko variabel bebas terhadap variabel terikat.

Uji statistik regresi logistik dipergunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikat dengan langkah – langkah sebagai berikut :

a. Analisis Univariat

Hasil penelitian dilakukan secara *deskriptif* dengan menggunakan tabel distribusi frekuensi, mean, standart deviasi, minimum - maksimum.

b. Analisis Bivariat

Analisis tersebut untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat yang telah dianalisa serta pengaruh masing - masing variabel *independent* (bebas) terhadap variabel *dependent* (terikat).

Kemudian tabulasi silang dilakukan pada semua variabel yang akan dianalisa. Adapun analisa bivariat dilakukan dengan :

1). Uji Hubungan Tingkat Paparan Debu Terhirup dan Gangguan Fungsi Paru

Uji statistik yang digunakan adalah *Chi Square* untuk menguji pengaruh antara kadar debu terhirup dengan gangguan fungsi paru dengan tingkat kemaknaan $p = 0,05$, (CI) 95 %. Adapun formulasi uji *chi square* adalah :⁵⁹

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$
$$DF = (k - 1) (b - 1)$$

Keterangan :

χ^2 = *Chi Square*

Σ = Jumlah

O = Nilai observasi

E = Nilai harapan (*ekspektasi*)

k = Jumlah Kolom

b = Jumlah baris

2). Menentukan *Odds Ratio* antara lain dengan :

- a). Variabel bebas adalah paparan debu terhirup rendah $< 3 \text{ mg/m}^3$,
paparan debu terhirup tinggi $\geq 3 \text{ mg/m}^3$
- b). Variabel terikat adalah
- (1). Fungsi paru normal (% prediksi $\text{FEV}_1 > 75 \%$).
 - (2). Fungsi paru tidak normal (% prediksi $\text{FEV}_1 < 75 \%$).
 - (3). Fungsi paru normal (% prediksi $\text{FEV}_1 / \text{FVC} > 80 \%$).
 - (4). Fungsi paru tidak normal (% prediksi $\text{FEV}_1 / \text{FVC} < 80 \%$).
- c). *Tabel 2 X 2*

		FUNGSI PARU		Jumlah
		Ada Gangguan	Tidak Ada Gangguan	
FAKTOR	+	a	b	a + b
RISIKO	-	c	d	c + d
Total		a + c	b + d	N

Perhitungan *Odds Ratio* (OR) adalah :

$$\text{OR} = \frac{[a/(a+c)]/[c/(a+c)]}{[b/(b+d)]/[d/(b+d)]} = \frac{a/c}{b/d} = \frac{ad}{bc}$$

Menurut *M. Vinci Ghazali* dkk (2002) interpretasi hasil faktor risiko dengan menggunakan tabel 2 X 2 adalah :

- (a). Apabila *Lower – Upper*, $\text{OR} > 1$ dan tidak mencakup angka 1, maka asosiasi signifikan (sebagai faktor risiko) timbulnya atau terjadinya gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur.

- (b). Apabila *Lower – Upper*, $OR < 1$ dan tidak mencakup angka 1, maka asosiasi signifikan (sebagai faktor *protektif*) timbulnya atau terjadinya gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur.
- (c). Apabila *Lower – Upper*, OR mencakup angka 1, maka asosiasi tidak signifikan untuk timbulnya atau terjadinya gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur.
- (d). Faktor Risiko yang mempunyai asosiasi tinggi adalah faktor risiko yang mempunyai OR besar dengan *Confidence Interval (CI)* pendek / sempit.

c. Analisis Berstrata

Analisis berstrata dilakukan untuk mengetahui peran – peran variabel kadar gas SO_2 udara, gas NO_2 udara, jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, OR , status gizi, kebiasaan penggunaan APD dan lama paparan terhadap gangguan fungsi paru pekerja industri batu kapur. Peran disini dimaksudkan untuk mengetahui apakah variabel tersebut sebagai perancu atau tidak sebagai perancu.

d. Analisis Multivariat

Analisis multivariat dilakukan dengan menggunakan *regresi logistik* dan metode yang dipergunakan adalah :



$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k)}}$$

Keterangan :

P = Probabilitas terjadinya gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kabupaten Grobogan.

a = Nilai Konstan (α)

b = Nilai Variabel (β)

e = Bilangan Natural

X = Variabel yang diteliti

Berdasarkan hasil analisis multivariat dapat menentukan variabel mana yang mempunyai pengaruh dan seberapa besar pengaruh paparan debu terhirup dan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan.

BAB IV HASIL PENELITIAN

A. Gambaran Umum Daerah Penelitian

1. Geografi Desa Mrisi

Desa Mrisi merupakan salah satu desa di wilayah Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan. Jarak dari ibukota Kabupaten sejauh 5 km ke arah barat. Luas wilayah Desa Mrisi lebih kurang 612.976 hektar, dengan kondisi geografis sebagian besar adalah pegunungan kapur, hutan negara dan dataran. Batas wilayah Desa Mrisi :

Sebelah Utara : Desa Rowosari.

Sebelah Selatan : Hutan Negara.

Sebelah Barat : Desa Kaliwenang.

Sebelah Timur : Desa Kapung.

Jumlah penduduk Desa Mrisi 4.441 jiwa, terdiri dari laki – laki 2.157 orang dan perempuan 2.284 orang. Tingkat pendidikan penduduk sebagian besar masih berpendidikan dasar, yaitu tamat SD. Mata pencaharian sebagian besar adalah buruh industri batu kapur dan buruh tani.

2. Profil Industri Batu Kapur

Sejarah industri batu kapur di desa Mrisi dimulai sejak tahun 1930-an oleh seorang pengusaha dengan satu buah tungku pembakaran. Usaha

industri batu kapur terus berkembang, sampai dengan saat ini jumlah industri batu kapur yang masih aktif berjumlah 83 buah, dengan kapasitas produksi 2.490 ton/bulan.

Ruang produksi merupakan ruang terbuka dengan atap, yaitu ruang untuk pembakaran, pembongkaran, pengecoran dengan air, pengayakan dan pengemasan. Antara tempat kerja tidak terpisah oleh sekat, sedangkan bagian pengisian merupakan ruang terbuka tanpa atap.

Tahapan proses produksi dimulai dengan pemecahan batu kapur, pengisian batu kapur ke dalam tungku, pembakaran menggunakan batu bara selama 5 hari. Setelah proses pembakaran selesai dilanjutkan proses pembongkaran tungku, dengan cara mengambil batu kapur yang sudah matang melalui lubang pembakaran atau lubang khusus untuk mengambil batu kapur yang sudah matang (brangkal). Brangkal selanjutnya disiram dengan air untuk dijadikan serbuk kapur. Bila sudah menjadi serbuk kapur dilakukan pengayakan selanjutnya dikemas dengan kantong plastik dan siap untuk dipasarkan.

B. Hasil Analisis Deskriptif

Hasil penelitian yang disajikan dalam Tabel 4.1. di bawah ini memperlihatkan bahwa sebagian besar responden berjenis kelamin laki - laki (80,0%), mayoritas responden berpendidikan tamat SD (46,7%) dan yang berpendidikan tinggi atau SMA hanya (5,0%). Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan alat spirometer dari 60 orang responden ternyata yang memiliki gangguan fungsi paru sebanyak 37 orang (61,7 %), dengan parameter

FEV₁ dan FEV₁/FVC, apabila FEV₁ > 75 % dan FEV₁/FVC > 80 % artinya normal. Apabila FEV₁ < 75 % dengan semua nilai FEV₁/FVC atau FEV₁/FVC < 80 % dengan semua nilai FEV₁ berarti ada gangguan. Untuk parameter FEV₁ rata – rata 59,98 ± 19,36, parameter FEV₁/FVC rata – rata 102,43 ± 10,96 yang berarti responden yang mengalami gangguan fungsi paru masuk kategori obstruksi ringan, sedang dan berat. Hasil pengukuran debu terhirup (*respirable*) yang terhisap responden dengan menggunakan *personal dust sampler* sebagian besar di atas NAB atau lebih besar dari 3 mg/m³ (60,0 %) dengan rata – rata debu terhirup (*respirable*) yang terhisap responden sebanyak 3,089 mg/m³ ± 0,99, kadar gas SO₂ dan NO₂ di 3 (tiga) area tobong masih di bawah NAB (NAB SO₂ = 800 mg/m³ dan NAB NO₂ = 1.000 mg/m³). Untuk kelompok umur responden sebagian besar berumur 31 – 40 tahun (78,3 %) dengan rata – rata berumur 34,53 tahun ± 5,3. Masa kerja responden sebagian besar berada pada kelompok 5 – 10 tahun (78,3 %) dengan rata – rata masa kerja 9,62 tahun ± 4,2. Sebagian besar responden tidak merokok (55,0 %), responden yang berolah raga secara rutin (65,0 %). Status gizi yang dimiliki responden sebagian besar masuk dalam kelompok normal (76,7 %) dan rata – rata responden mempunyai IMT 22,84 kg/m² (kategori normal) ± 2,82, sebagian besar responden yang menggunakan pelindung diri masker dari kain kaos (48,3 %), untuk lama paparan terhadap responden selama bekerja sebagian besar lebih dari 8 jam (78,3 %) dan rata – rata responden mempunyai lama paparan adalah 7,58 jam ± 1,6.

Tabel 4.1. Distribusi Frekuensi Responden Menurut Variabel Penelitian Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

NO.	VARIABEL	KETERANGAN	RESPONDEN		MEAN ± SD
			n	%	
1	Jenis Kelamin	Laki - laki	48	80,0	-
		Perempuan	12	20,0	
2	Pendidikan	Tamat SMA	3	5,0	-
		Tamat SMP	4	6,7	
		Tamat SD	28	46,7	
		Tidak Tamat SD	25	41,7	
3	Fungsi Paru	Normal	23	38,3	-
		Ada Gangguan	37	61,7	
4	Paparan Debu Terhirup	Di atas NAB	36	60,0	3,09 ± 0,99
		Di bawah NAB	24	40,0	
5	Umur	20 - 30 tahun	13	21,7	34,53 ± 5,29
		31 - 40 tahun	47	78,3	
6	Masa Kerja	5 - 10 tahun	47	78,3	9,62 ± 4,21
		11 - 20 tahun	13	21,7	
7	Kebiasaan Merokok	Ya	27	45,0	-
		Tidak	33	55,0	
8	Kebiasaan OR	Ya	39	65,0	-
		Tidak	21	35,0	
9	Status Gizi	Normal	46	76,7	22,84 ± 2,83
		Tidak Normal	14	23,3	
10	Penggunaan APD	Ya	29	48,3	-
		Tidak	31	51,7	
11	Lama Paparan	≤ 8 tahun	47	78,3	7,58 ± 1,64
		> 8 Jam	13	21,7	

Pembagian tugas responden dapat dilihat pada Tabel 4.2. di bawah ini, sebagian besar responden mempunyai tugas dari pengisian tobong, pembakaran,

pembongkaran, pengecoran dengan air, pengayakan dan pengemasan (50 %). Dalam kenyataan di lapangan pekerja tidak hanya mengerjakan satu tugas khusus dalam bidang pekerjaannya tetapi merangkap dan mengerjakan tugas yang lain tergantung dengan banyaknya tenaga yang dibutuhkan dalam suatu proses.

Tabel 4.2. Distribusi Frekuensi Responden Menurut Jenis Pekerjaan Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Jenis Pekerjaan	Frekuensi	Persen (%)
1.	Pemecahan Batu Kapur	5	8,33
2.	Pengisian Tobong	5	8,33
3.	Pembongkaran Tobong	2	3,33
4.	Pengisian Tobong s/d Pengayakan	15	25,0
5.	Pengisian Tobong s/d Pengemasan	30	50,0
6.	Pengemasan	3	5,0
Jumlah		60	100,0

Masuknya debu terhirup pada saluran napas akan menimbulkan gangguan dalam pernapasan berupa keluhan subyektif yang dirasakan oleh responden. Keluhan didapatkan dari hasil wawancara dengan responden. Keluhan yang didapati berupa batuk, sering mengeluarkan sputum dan sesak napas. Distribusi frekuensi keluhan subyektif responden ditampilkan pada Tabel 4.3. berikut.

Tabel 4.3. Distribusi Frekuensi Pekerja Industri Batu Kapur Menurut Keluhan Subyektif Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Keluhan	Ya	Tidak	Total Frekuensi
-----	---------	----	-------	-----------------

	F	%	F	%	F	%
1. Batuk	15	25,0	45	75,0	60	100,0
2. Sputum	10	16,7	50	83,3	60	100,0
3. Sesak Napas	14	23,3	46	76,7	60	100,0

Berdasarkan Tabel 4.3. dapat diketahui bahwa responden yang memiliki keluhan batuk (25,0 %), sering mengeluarkan sputum (16,7 %) dan sesak napas (23,3 %).

Berdasarkan riwayat merokok dapat diketahui bahwa sebanyak 27 responden (45 %) menyatakan merokok dan sisanya sebanyak 33 responden (55 %) tidak merokok. Distribusi umur responden pada saat mulai merokok secara teratur dapat dilihat pada Tabel 4.4. di bawah ini :

Tabel 4.4. Distribusi Responden Menurut Umur Saat Mulai Merokok Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Umur	Frekuensi	Persen (%)
1.	< 20 Tahun	7	25,92
2.	20 – 29 Tahun	17	62,96
3.	30 – 40 Tahun	3	11,12
	Jumlah	27	100,0

Umur termuda responden pada saat mulai merokok secara teratur adalah 15 tahun dan tertua 40 tahun, dengan rata – rata 23,23 tahun \pm 6,28. Sebagian besar responden (62,96 %) mulai merokok pada usia antara 20 – 29 tahun dan 11,12 % responden yang mulai merokok pada usia 30 – 40 tahun.

Jumlah rokok per hari yang dihisap responden yang merokok adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Distribusi Responden Berdasarkan Jumlah Rokok Yang Dihisap Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Jumlah Rokok	Frekuensi	Persen (%)
1.	< 6 batang / hari	17	63,0
2.	6 – 12 batang / hari	8	29,6
3.	13 – 24 batang / hari	2	7,4
Jumlah		27	100,0

Sebagian besar responden (63 %) merokok kurang dari 6 batang/hari dan hanya 7,4 % yang merokok 13 - 24 batang/hari. Kebiasaan merokok dengan menghisap rokok sampai dada dilakukan oleh 14 (51,90 %) dan selebihnya 13 responden (48,10 %) tidak menghisap rokok sampai dada.

Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan alat spirometer dari 27 orang responden yang merokok, mengalami gangguan fungsi paru sebanyak 17 orang (63,0 %). Untuk parameter FEV₁ rata – rata 60,52 ± 19,59, parameter FEV₁/FVC rata – rata 100,52 ± 9,95 yang berarti responden yang mengalami gangguan fungsi paru dengan kategori obstruksi ringan, sedang dan berat.

Tabel 4.6. Distribusi Responden Berdasarkan Jumlah Rokok Yang Dihisap Dengan Gangguan Fungsi Paru Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Jumlah Rokok	Fungsi Paru		Total (%)
		Ada Gangguan (%)	Normal (%)	
1.	< 6 batang/hari	9 (52,94)	8 (47,06)	17 (100,0)
2.	6 – 12 batang/hari	6 (75,00)	2 (25,00)	8 (100,0)
3.	13 – 24 batang/hari	2 (100,0)	0 (0)	2 (100,0)
Jumlah		17 (62,96)	10 (37,04 %)	27 (100,0)

Dari 27 orang responden yang merokok, 9 orang (52,94 %) dengan jumlah rokok kurang dari 6 batang/hari dan 6 orang (75,00 %) dengan jumlah rokok 6 – 12 batang/hari mengalami gangguan fungsi paru dengan kategori dari obstruksi ringan, sedang sampai berat, meski jumlah rokok yang dihisap jumlahnya sedikit tapi karena kebiasaan responden menghisap rokok sampai dada dapat menyebabkan gangguan fungsi paru. Responden dengan jumlah merokok kurang dari 6 – 12 batang/hari yang mempunyai fungsi paru normal lebih kecil (25,00 %) dibandingkan dengan responden yang mengalami gangguan fungsi paru (75,00 %). Dua orang (100,0 %) yang merokok 13 – 24 batang/hari mengalami gangguan fungsi paru kategori obstruksi berat dan tidak ada responden yang mempunyai fungsi paru normal.

Gangguan kenyamanan kerja karena faktor lingkungan kerja telah dinyatakan oleh 60 responden (100,0 %), sebab – sebab gangguan tersebut seperti pada Tabel berikut :

Tabel 4.7. Distribusi Sebab Gangguan Pada Lingkungan Kerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Jenis Gangguan	Frekuensi	Persen (%)
1.	Udara Berdebu	31	51,67
2.	Asap	15	25,0
3.	Kebisingan	2	3,3
4.	Suhu Panas	11	18,33
5.	Getaran	1	1,67
Jumlah		60	100,0

Gangguan terbesar (51,67 %) yang dikeluhkan oleh responden adalah karena udara yang berdebu dan yang terkecil (7,2 %) karena adanya getaran di area kerja.

Kebiasaan menggunakan APD dilakukan oleh 29 responden (48,33 %) dan selebihnya 22 responden (36,67 %) menyatakan kadang – kadang menggunakan APD serta ada 9 responden (15,0 %) yang tidak pernah menggunakan APD.

Jenis APD yang digunakan oleh responden seperti tampak pada Tabel berikut :

Tabel 4.8. Distribusi Jenis APD Yang Digunakan Responden Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Jenis APD	Frekuensi	Persen (%)
1.	Masker	22	75,86
2.	Sepatu Boot / Safety Shoes	2	6,9
3.	Sarung Tangan	5	17,24
Jumlah		29	100,0

Jenis APD yang paling banyak digunakan oleh responden (75,86 %) adalah masker, meskipun pada kenyataannya masker yang digunakan adalah kaos

(pakaian), kemudian diikuti dengan sarung tangan (17,24 %) dan yang paling sedikit digunakan adalah sepatu boot/safety shoes (6,9 %).

Alasan yang dikemukakan oleh responden yang kadang – kadang atau tidak menggunakan APD adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9. Distribusi Responden Menurut Alasan Kadang – Kadang / Tidak Menggunakan APD Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Alasan Tidak Menggunakan APD	Frekuensi	Persen (%)
1.	Malas Menggunakan	15	48,39
2.	Mengganggu Pekerjaan	5	16,13
3.	Tidak Tersedia	8	25,81
4.	Tidak harus menggunakan APD	3	9,67
Jumlah		31	100,0

Sebagian besar responden (48,39 %) menyatakan malas menggunakan masker sedangkan 25,81 % responden menyatakan tidak tersedia karena memang pengusaha tidak menyediakan APD.

Kebiasaan OR dilakukan oleh 21 (35 %) dan selebihnya 39 responden (65 %) menyatakan tidak pernah berolah raga. Jumlah hari dalam 1 minggu, OR yang dilakukan responden seperti tampak pada Tabel berikut :

Tabel 4.10. Distribusi Responden Menurut Frekuensi Olah Raga Dalam 1 Minggu Berolah Raga Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007

No.	Frekuensi Olah Raga / Minggu	Frekuensi	Persen (%)
-----	------------------------------	-----------	--------------

1.	1 (satu) kali	21	53,85
2.	2 (dua) kali	3	7,69
3.	3 (tiga) kali	15	38,46
Jumlah		39	100,0

Sebagian besar responden (53,85%) melakukan OR 1 kali/minggu dan sebagian kecil responden (7,69 %) melakukan OR 2 kali/minggu.

Lama OR dalam jam yang dilakukan oleh responden, dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4.11. Distribusi Responden Menurut Lama Olah Raga Dalam Jam Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007

No.	Jam	Frekuensi	Persen (%)
1.	1 (satu)	22	56,41
2.	2 (dua)	10	25,64
3.	3 (tiga)	7	17,95
Jumlah		39	100,0

Sebagian besar responden (56,41 %) melakukan OR selama 1 jam, dan sebagian kecil responden (17,95 %) melakukan OR selama 3 jam.

Jenis OR yang dilakukan responden, dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4.12. Distribusi Responden Menurut Jenis Olah Raga Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007

No.	Jenis Olah Raga	Frekuensi	Persen (%)
------------	------------------------	------------------	---------------------

1.	Senam	17	43,59
2.	Jalan Kaki / Joging	7	17,95
3.	Sepak Bola	10	25,64
4.	Lari	5	12,82
Jumlah		39	100,0

Jenis OR terbanyak yang dilakukan responden adalah senam (43,59 %), sedangkan yang jarang dilakukan adalah lari (12,82 %).

Hasil pengukuran fungsi paru dengan menggunakan Spirometer dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.13. Distribusi Interpretasi Hasil Pengukuran Fungsi Paru Responden Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007

No.	Fungsi Paru	Frekuensi	Persen (%)
1	Normal	23	38,33
2	Obstruksi Ringan	7	11,67
3	Obstruksi Sedang	23	38,33
4	Obstruksi Berat	7	11,67
Jumlah		60	100,0

Tabel 4.13. di atas menunjukkan bahwa 37 responden (61,67 %) telah mengalami gangguan fungsi paru obstruksi dan sisanya 23 responden (38,33 %) mempunyai fungsi paru normal. Gangguan tersebut meliputi obstruksi ringan (11,67 %), obstruksi sedang (38,33 %) dan obstruksi berat (11,67 %).

Kadar SO₂ udara dan NO₂ udara di 3 (tiga) area tobong yang diperiksa oleh petugas dari Balai Laboratorium Kesehatan Semarang, adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14. Hasil Pengukuran Kadar SO₂ udara dan NO₂ udara Pada Industri Batu Kapur, Tahun 2007

No.	Area	Hasil Pengukuran	Baku Mutu
1	Area Mrisi Tengah	- SO ₂ : 0,001 mg/m ³ - NO ₂ : 0,143 mg/m ³	- SO ₂ : 800 mg/m ³ - NO ₂ : 1.000 mg/m ³
2	Area Masjid	- SO ₂ : 0,179 mg/m ³ - NO ₂ : 0,28 mg/m ³	
3	Area Mrisi Timur	- SO ₂ : 3,411 mg/m ³ - NO ₂ : 0,40 mg/m ³	

Tabel 4.14. menunjukkan kadar SO₂ udara dan NO₂ udara di 3 (tiga) area masih di bawah baku mutu yang ditetapkan.

C. Analisis Variabel *Independent* dan Variabel *Dependent*

Analisis bivariat merupakan analisis untuk mengetahui hubungan antara dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Untuk uji statistik yang dipergunakan adalah *Chi Square* dengan tingkat kemaknaan $\alpha < 0,05$, perhitungan *odds ratio* pada *Confidence Interval* (CI) 95% untuk menghitung kemungkinan berapa kali peluang terjadinya gangguan fungsi paru pada populasi.

Tabel 4.15 Hubungan Antara Paparan Debu Terhirup Dengan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007

Paparan Debu Terhirup	Fungsi Paru Ada Gangguan (%)	Normal (%)	Jumlah (%)	χ^2	Nilai P	OR (95 % CI)

Di atas NAB	28 (46,67)	8 (13,33)	36 (60)	9,882	0,02	5,833 (1,865 – 18,245)
Di bawah NAB	9 (15)	15 (25)	24 (40)			
Jumlah (%)	37 (61,67)	23 (38,33)	60 (100,0)			

Tabel 4.15. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,02$).

D. Analisis Berstrata

Untuk mengetahui peranan berbagai variabel pengganggu terhadap hubungan antara paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru, dilakukan analisis berstrata. Peran dalam hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah variabel tersebut sebagai perancu atau tidak, terhadap hubungan paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru. Hasil analisis berstrata dapat disampaikan sebagai berikut :

1. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Jenis Kelamin

Tabel 4.16. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Jenis Kelamin Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	Laki – laki	≥ NAB	22 (75,90)	7 (24,10)	29 (100,0)	5,388	1,525	19,029	0,016
		< NAB	7 (36,80)	12 (63,2)	19 (100,0)				
Jumlah (%)			29 (60,40)	19 (39,60)	48 (100,0)				
2.	Perempuan	≥ NAB	6 (85,70)	1 (14,30)	7 (100,0)	9,000	0,563	143,888	0,222
		< NAB	2 (40,00)	3 (60,00)	5 (100,0)				
Jumlah (%)			8 (66,70)	4 (33,30)	12 (100,0)				
OR_{MH} (95 % CI)								5,895 (1,875 - 18,535)	
OR_{Raw} (95 % CI)								5,833 (1,865 - 18,245)	

Tabel 4.16. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru menurut jenis kelamin laki – laki (nilai *p* = 0,016). Sedangkan pada jenis kelamin perempuan tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai *p* = 0,222).

2. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Umur

Tabel 4.17. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Umur Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	31 – 40 Thn	≥ NAB	24 (82,80)	5 (17,20)	29 (100,0)	7,543	1,953	29,138	0,006
		< NAB	7 (38,90)	11 (61,10)	18 (100,0)				
Jumlah (%)			31 (66,0)	16 (34,0)	47 (100,0)				
2.	20 – 30 Thn	≥ NAB	4 (57,10)	3 (42,90)	7 (100,0)	2,667	0,277	25,636	0,592
		< NAB	2 (33,30)	4 (66,70)	6 (100,0)				
Jumlah (%)			6 (46,20)	7 (53,80)	13 (100,0)				
OR_{MH} (95 % CI)									5,677 (1,795 - 17,959)
OR_{Raw} (95 % CI)									5,833 (1,865 - 18,245)

Tabel 4.17. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok umur 31 – 40 tahun (nilai $p = 0,006$). Sedangkan pada kelompok umur 20 – 30 tahun tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,592$).

3. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Masa Kerja

Tabel 4.18. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Masa Kerja Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	11 – 20 Thn	≥ NAB	7 (63,60)	4 (36,40)	11 (100,0)	-	-	-	0,192
		< NAB	0 (0,0)	2 (100,0)	2 (100,0)				
Jumlah (%)			7 (53,80)	6 (46,20)	13 (100,0)				
2.	5 – 10 Thn	≥ NAB	21 (84,0)	4 (16,0)	25 (100,0)	7,583	1,935	29,720	0,006
		< NAB	9 (40,90)	13 (59,10)	22 (100,0)				
Jumlah (%)			30 (63,80)	17 (36,20)	47 (100,0)				
OR_{MH} (95 % CI)									-
OR_{Raw} (95 % CI)									5,833 (1,865 - 18,245)

Tabel 4.18. menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok masa kerja 11 – 20 tahun (nilai $p = 0,192$). Sedangkan pada kelompok masa kerja 5 – 10 tahun ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,006$).

4. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Kebiasaan Merokok

Tabel 4.19. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Kebiasaan Merokok Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	Ya	≥ NAB	14 (77,80)	4 (22,20)	18 (100,0)	7,000	1,185	41,359	0,039
		< NAB	3 (33,30)	6 (66,70)	9 (100,0)				
Jumlah (%)			17 (63,0)	10 (37,0)	27 (100,0)				
2.	Tidak	≥ NAB	14 (77,80)	4 (22,20)	18 (100,0)	5,250	1,151	23,937	0,064
		< NAB	6 (40,0)	9 (60,0)	15 (100,0)				
Jumlah (%)			20 (60,60)	13 (39,40)	33 (100,0)				
								5,914	
								(1,866 - 18,742)	
								5,833	
								(1,865 - 18,245)	

Tabel 4.19. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok responden yang mempunyai kebiasaan merokok (nilai $p = 0,039$). Sedangkan pada kelompok responden yang tidak merokok tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,064$).

5. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Kebiasaan OR

Tabel 4.20. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Kebiasaan Olah Raga Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	Ya	≥ NAB	18 (78,30)	5 (21,70)	23 (100,0)	4,629	1,142	18,752	0,061
		< NAB	7 (43,80)	9 (56,30)	16 (100,0)				
Jumlah (%)			25 (64,10)	14 (35,90)	39 (100,0)				
2.	Tidak	≥ NAB	10 (76,90)	3 (23,10)	13 (100,0)	10,000	1,280	78,117	0,032
		< NAB	2 (25,0)	6 (75,0)	8 (100,0)				
Jumlah (%)			12 (57,10)	9 (42,90)	21 (100,0)				
			OR_{MH}				5,926		
							(1,880 - 18,673)		
			OR_{Raw}				5,833		
							(1,865 - 18,245)		

Tabel 4.20. menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok responden yang mempunyai kebiasaan OR (nilai $p = 0,061$). Sedangkan pada kelompok responden yang tidak OR ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,032$).

6. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Status Gizi.

Tabel 4.21. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Status Gizi Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	Normal	≥ NAB	22 (81,50)	5 (18,50)	27 (100,0)	6,050	1,598	22,905	0,014
		< NAB	8 (42,10)	11 (57,90)	19 (100,0)				
Jumlah (%)			30 (65,20)	16 (34,80)	46 (100,0)				
2.	Tidak Normal	≥ NAB	6 (66,70)	3 (33,30)	9 (100,0)	8,000	0,598	106,936	0,266
		< NAB	1 (20,0)	4 (80,0)	5 (100,0)				
Jumlah (%)			7 (50,0)	7 (50,0)	14 (100,0)				
OR_{MH} (95 % CI)									6,436 (1,972 - 21,000)
OR_{Raw} (95 % CI)									5,833 (1,865 - 18,245)

Tabel 4.21. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok responden dengan status gizi normal (nilai $p = 0,014$). Sedangkan pada kelompok responden dengan status gizi tidak normal tidak ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,266$).

7. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Kebiasaan Menggunakan APD.

Tabel 4.22. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Kebiasaan Menggunakan APD Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	Ya	≥ NAB	16 (84,20)	3 (15,80)	19 (100,0)	21,333	2,945	154,554	0,001
		< NAB	2 (20,0)	8 (80,0)	10 (100,0)				
Jumlah (%)			18 (62,10)	11 (37,90)	29 (100,0)				
2.	Tidak	≥ NAB	12 (70,60)	5 (29,40)	17 (100,0)	2,400	0,547	10,527	0,423
		< NAB	7 (50,0)	7 (50,0)	14 (100,0)				
Jumlah (%)			19 (61,30)	12 (38,70)	31 (100,0)				
									5,332
									(1,744 – 16,306)
									5,833
									(1,865 - 18,245)

Tabel 4.22. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok responden yang mempunyai kebiasaan menggunakan APD (nilai $p = 0,001$). Sedangkan pada kelompok responden dengan kebiasaan tidak menggunakan APD tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,423$).

8. Analisis Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Lama Paparan.

Tabel 4.23. Hubungan Paparan Debu Dengan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Lama Paparan Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	Paparan Debu	Fungsi Paru		Jumlah (%)	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>
			Ada Gangguan (%)	Normal (%)			Batas Bawah	Batas Atas	
1.	> 8 Jam	≥ NAB	4 (80,0)	1 (20,0)	5 (100,0)	28,000	1,350	580,591	0,032
		< NAB	1 (12,50)	7 (87,50)	8 (100,0)				
Jumlah (%)			5 (38,50)	8 (61,50)	13 (100,0)				
2.	≤ 8 jam	≥ NAB	24 (77,4)	7 (22,60)	31 (100,0)	3,429	0,942	12,480	0,114
		< NAB	8 (50,0)	8 (50,0)	16 (100,0)				
Jumlah (%)			32 (68,10)	15 (31,90)	47 (100,0)				
OR_{MH} (95 % CI)								4,919 (1,569 – 15,415)	
OR_{Raw} (95 % CI)								5,833 (1,865 - 18,2)	

Tabel 4.23. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru pada kelompok responden dengan lama paparan > 8 jam (nilai *p* = 0,032). Sedangkan pada kelompok responden dengan lama paparan ≤ 8 jam tidak ada hubungan antara paparan debu terhirup (*respirable*) dengan gangguan fungsi paru (nilai *p* = 0,114).

E. Rangkuman Analisis Berstrata

Hasil rangkuman analisis berstrata dapat disampaikan sebagai berikut :

Tabel 4.24. Rangkuman Hubungan Antara Kadar Debu Terhirup Dengan Gangguan Fungsi Paru Distratifikasi Menurut Variabel Pengganggu Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No.	Variabel Pengganggu	OR	95 % CI		Nilai <i>p</i>	OR _{MH} (95 % CI)
			Batas Bawah	Batas Atas		
1.	Jenis Kelamin					5,895 (1,875 – 18,535)
	Laki – laki	5,388	1,525	19,029	0,016	
	Perempuan	9,000	0,563	143,888	0,222	
2.	Umur					5,677 (1,795 – 17,959)
	31 – 40 Tahun	7,543	1,953	29,138	0,006	
	20 – 30 Tahun	2,667	0,277	25,636	0,592	
3.	Masa Kerja					-
	11 – 20 Tahun	-	-	-	0,192	
	5 – 10 Tahun	7,583	1,935	29,720	0,006	
4.	Kebiasaan Merokok					5,914 (1,866 – 18,742)
	Ya	7,000	1,185	41,359	0,039	
	Tidak	5,250	1,151	23,937	0,064	
5.	Kebiasaan Olah Raga					5,926 (1,880 – 18,673)
	Ya	4,629	1,142	18,752	0,061	
	Tidak	10,000	1,280	78,117	0,032	
6.	Status Gizi					6,436 (1,972 – 21,000)
	Normal	6,050	1,598	22,905	0,014	
	Tidak Normal	8,000	0,598	106,936	0,266	
7.	Kebiasaan APD					5,332 (1,744 – 16,306)
	Ya	21,333	2,945	154,554	0,001	
	Tidak	2,400	0,547	10,527	0,423	
8.	Lama Paparan					4,919 (1,569 – 15,415)
	> 8 Jam	28,000	1,350	580,591	0,032	
	≤ 8 Jam	3,429	0,942	12,480	0,114	
		OR_{Raw} (95 % CI)				5,833 (1,865 - 18,245)

Tabel 4.24. menunjukkan hasil analisis stratifikasi terhadap hubungan paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru yang merupakan variabel pengganggu, yaitu dengan kriteria nilai $p < 0,05$, adalah variabel jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, OR, status gizi, kebiasaan APD dan lama paparan.

Nilai OR hubungan antara paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru adalah 5,833. Nilai OR_{MH} jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok, OR, status gizi, kebiasaan penggunaan APD bukan merupakan variabel pengganggu karena $\pm 15\%$ dari pada nilai OR_{Raw} sedangkan variabel lama paparan merupakan variabel pengganggu karena nilai OR_{MH} lama paparan kurang dari 15% dari OR_{Raw} .

F. Rangkuman Analisis Bivariat

Analisis bivariat dilakukan untuk melihat hubungan masing - masing variabel bebas dengan variabel terikat. Selanjutnya dilihat apakah ada hubungan antara faktor - faktor risiko dengan gangguan fungsi paru pekerja di industri batu kapur.

Tabel 4.25. Hasil Analisis Bivariat Paparan Debu Terhirup Dan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No	Variabel	X ²	Nilai p	Odds Ratio	95 % CI
1	Debu Terhirup	9,882	0,002	5,833	1,865 – 18,245
2	Jenis Kelamin	0,159	0,690	1,310	0,346 – 4,966
3	Umur	1,698	0,194	2,260	0,650 – 7,860
4	Masa Kerja	0,429	0,512	0,661	0,191 – 2,290
5	Merokok	0,035	0,852	1,105	0,388 – 3,150
6	Olah Raga	0,280	0,597	0,747	0,253 – 2,207
7	Status Gizi	1,051	0,305	0,533	0,159 – 1,790
8	APD	0,004	0,951	0,968	0,341 – 2,742
9	Lama Paparan	3,780	0,052	0,293	0,820 – 1,048

Untuk uji statistik dipergunakan adalah *chi square* dengan tingkat kemaknaan $\alpha < 0,05$, dengan perhitungan *odds ratio* pada *confidence interval* 95%

untuk menghitung kemungkinan berapa kali peluang terjadinya gangguan fungsi paru pada populasi

G. Analisis Multivariat

Analisis multivariat dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar sumbangan secara bersama – sama seluruh faktor risiko terhadap kejadian gangguan fungsi paru.

1. Pemilihan Variabel Terpilih

Untuk mengetahui hubungan faktor risiko secara bersama – sama terhadap kejadian gangguan fungsi paru diperlukan analisis multivariat (*multiple logistic regression*).

Pada tahap awal semua variabel dianalisis secara bivariat. Variabel yang memiliki nilai $p < 0,25$ dapat diikuti dalam analisis multivariat. Penggunaan nilai $p < 0,25$ dimaksudkan untuk menghindari adanya variabel yang secara biologis berhubungan dengan kejadian penyakit yang sedang diamati, sehingga diharapkan hasil analisis lebih akurat.⁶¹

Dari hasil analisis bivariat, yang telah dilakukan dapat disajikan variabel – variabel yang memiliki nilai $p < 0,25$ adalah sebagai berikut :

Tabel 4.26. Variabel Yang Dapat Dimasukkan Model Dalam Analisis Multivariat

No.	Variabel	OR	Nilai p	95 % CI
1.	Debu Terhirup	5,833	0,002	1,865 – 18,245
2.	Umur	2,260	0,194	0,650 – 7,860
3.	Lama Paparan	0,293	0,052	0,820 – 1,048

2. Pemilihan Variabel Yang Dijadikan Model

Semua variabel yang terpilih, dianalisis secara bersama – sama. Analisis multivariat yang digunakan adalah Uji regresi ganda logistik dengan metode *backward stepwise*, pada $\alpha = 0,05$ dan 95 % *confidence interval*.

Setelah dilakukan analisis multivariat dari 3 (tiga) variabel bivariat yang memenuhi syarat (nilai $p < 0,25$), diperoleh 1 (satu) variabel yang dapat dipertahankan secara statistik, yaitu :

Tabel 4.27. Hasil Analisis Multivariat Paparan Debu Terhirup Dan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Batu Kapur, Tahun 2007.

No	Variabel	β	p value	Odds Ratio	95 % CI
1.	Paparan Debu Terhirup	1,635	0,007	5,127	1,574 – 16,706
	Konstanta	- 0,851	0,238	0,427	-

Tabel 4.27. menunjukkan bahwa ada hubungan yang bermakna antara paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru (nilai $p = 0,007$), sehingga dapat dikatakan bahwa debu terhirup merupakan faktor risiko terjadinya gangguan fungsi paru (OR = 5,127, 95% CI = 1,574 – 16,706).

Nilai OR = 5,127 menunjukkan bahwa responden yang bekerja di tempat kerja dengan konsentrasi debu terhirup (*respirable*) di atas NAB 3 mg/m³ mempunyai risiko untuk mengalami gangguan fungsi paru 5 (lima) kali lebih besar dibandingkan responden yang bekerja di tempat kerja dengan konsentrasi debu terhirup (*respirable*) di bawah NAB 3 mg/m³.

Selanjutnya untuk mengetahui seberapa besar peluang faktor paparan debu terhirup terhadap gangguan fungsi paru, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(-a+b_1X_1+b_2X_2+\dots\dots\dots b_kX_k)}}$$

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(-0,851+1,635)}}$$

$$P = \frac{1}{1 + e^{-0,784}}$$

$$P = 0,686 = 68,6 \%$$

Keterangan :

P = Probabilitas terjadinya gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kab. Grobogan.

a = Nilai α (- 0,851)

b = Nilai β (1,635)

e = Bilangan Natural (2,718)

X = Variabel yang diteliti (Debu Terhirup)

Dengan demikian probabilitas terjadinya gangguan fungsi paru bagi responden yang bekerja di tempat kerja dengan konsentrasi debu terhirup (*respirable*) di atas NAB 3 mg/m^3 adalah 68,6 %.

BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Hasil penelitian Paparan Debu Terhirup dan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Industri Batu Kapur (Studi Di Desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan) dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengukuran fungsi paru pekerja terhadap 60 pekerja diperoleh hasil lebih dari 50 % pekerja mengalami gangguan fungsi paru dengan kategori obstruksi ringan, sedang dan berat.
2. Pengukuran kadar debu terhirup terhadap 60 pekerja industri batu kapur diperoleh hasil lebih dari 50 % pekerja terinhalasi debu terhirup di atas NAB (3 mg/m^3). Rata – rata debu terhirup yang terinhalasi pekerja di atas NAB yang ditetapkan.
3. Pengukuran konsentrasi SO_2 udara di 3 (tiga) area tobong masih di bawah NAB yang ditetapkan.
4. Pengukuran konsentrasi NO_2 udara di 3 (tiga) area tobong masih di bawah NAB yang ditetapkan.
5. Paparan debu terhirup merupakan variabel kuat untuk menimbulkan gangguan fungsi paru pada pekerja industri batu kapur.

6. Issue (masalah) utama pada penelitian ini adalah pekerja perempuan lebih banyak yang terpapar debu terhirup dibandingkan dengan pekerja laki – laki, status gizi normal dan kebiasaan penggunaan APD merupakan faktor risiko terjadinya gangguan fungsi paru.
7. Analisis stratifikasi terhadap hubungan paparan debu terhirup dengan gangguan fungsi paru yang merupakan variabel pengganggu adalah variabel lama paparan.
8. Hasil analisis multivariat menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya gangguan fungsi paru bagi responden yang bekerja di tempat kerja dengan konsentrasi debu di atas NAB 3 mg/m^3 adalah 68,6 %, sedangkan 31,4 % disebabkan oleh faktor lain artinya bahwa 68,6 % merupakan faktor yang telah diteliti oleh peneliti di industri batu kapur sedangkan 31,4 % merupakan faktor di luar yang telah diteliti dalam penelitian ini.

B. Saran

1. Pekerja Industri Batu Kapur
 - a. Perlu adanya upaya meningkatkan kebiasaan pemakaian masker standar dalam melakukan aktifitas kerja dan menghentikan kebiasaan merokok.
 - b. Mengurangi paparan debu terhirup di industri batu kapur, pekerja segera meninggalkan lingkungan kerja jika tugas mereka telah selesai.

2. Asosiasi Pengusaha Industri Batu Kapur

- a. Perlu menyediakan fasilitas masker yang memenuhi syarat.
- b. Mengadakan rotasi kerja secara berkala.
- c. Pekerja perempuan diupayakan untuk mengangani pekerjaan dengan paparan debu seminimal mungkin untuk melindungi fungsi reproduksinya.
- d. Melakukan pemeriksaan kesehatan secara berkala pada pekerja tersebut.

3. Dinas Terkait

- a. Perlunya melaksanakan penyuluhan tentang pentingnya pemakaian APD, terutama masker.
- b. Perlu melakukan pemeriksaan kesehatan berkala bagi pekerja terutama terhadap fungsi paru, serta memotivasi pekerja untuk memeriksakan diri secara berkala sehingga dapat segera diambil tindakan terhadap kemungkinan akibat negatif yang timbul.
- c. Perlunya pendidikan tentang kesehatan dan keselamatan kerja kepada pekerja secara kontinue, agar para pekerja tetap waspada dalam menjalankan pekerjaannya.
- d. Lebih mengaktifkan kegiatan pos upaya kesehatan kerja (UKK) yang telah terbentuk sejak tanggal 14 September 2005.

DAFTAR PUSTAKA

1. World Health Organization. *Health and Environment in Sustainable Development Five Years after the Earth Summit*. WHO, Geneva, 1997.
2. Baum. F, *The New Public Health an Australian Perspective*. Oxford University Press, Oxford, 1999.
3. Budiharja. *Penataan Lingkungan Pemukiman Sehat di Daerah Perkotaan, Social and Economic Faktor Affecting Mortality*. Houston & CO, 1989.
4. Nukman. A, *Analisis Manajemen dan Komunikasi Risiko Kesehatan Pertambangan Kapur*. Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta, 2005.
5. Ikhsan. M, *Penatalaksanaan Penyakit Paru Akibat Kerja*. Kumpulan Makalah Seminar K3 RS Persahabatan Tahun 2001 - 2002, Universitas Indonesia, Jakarta, 2002.
6. Mukono. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Airlangga University Press, Surabaya, 2000.
7. Alsagaff. H, *Nilai Normal Faal Paru Orang Indonesia Pada Usia Sekolah Dan Pekerja Dewasa Berdasarkan Rekomendasi American Thoracic Society (ATS)*. Airlangga University Press, Surabaya, 1993.
8. Anonim. *Alat Pernafasan*. Prevada Cipta Karsa Informatika, Jakarta, 2003.
9. Amin. M, *Penyakit Paru Obstruktif Kronik*. Laboratorium SMF Penyakit Paru, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga, RSUD DR. Sutomo, Surabaya, 2000.
10. Epler. G.R, *Environmental and Occupational Lung Disease*. In : Clinical Overview Of Occupational Diseases, Return To Epler. Com, 2000.
11. American Thoracic Society. *Standard for The Diagnosis And Care Of Patient With Chronic Obstructive Pulmonary Diseases (COPD) and Asthma*. Am. Rev. Respir Dis, 1995 : 225 - 43.
12. Depkes RI. *Upaya Kesehatan Kerja Sektor Informal di Indonesia*. Materi Upaya Kesehatan Kerja, Jakarta, 1994.
13. World Health Organization. *Deteksi Penyakit Akibat Kerja*. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta, 1993.

14. Kristanto. P, *Ekologi Industri*. Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2001.
15. Tjasyono. B, *Klimatologi Umum*. Penerbit ITB, Bandung, 1995.
16. Dinas Pertambangan dan Energi. *Laporan Akhir Bimbingan Teknik Pembuatan Tungku Pembakaran Batu Kapur Dengan Batu Bara di Kabupaten Grobogan, Wonogiri dan Tegal*. Pemerintah Propinsi Jawa Tengah, Semarang, 2005.
17. Departemen Kesehatan RI. *Tinjauan Kesehatan Pada Penggunaan Briket Batu Bara & Light Coal*. Disampaikan Pada Sosialisasi Pemanfaatan Briket Batu Bara & Light Coal Sebagai Energi Alternatif, Jakarta, 2005.
18. Breck. W.G, *Chemistry for Science and Engineering*. Mc. Graw Hill International Book Company, 1986.
19. Riyanto. A, *Bahan Galian Industri Batu Kapur*. Dirjen Pertambangan Umum, Jakarta, 1993.
20. Irhamkhasani. S, *Lembar Data Keselamatan Bahan Volume I*. Pusdiklat Kimia Terapan, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung.
21. <http://www.forum.co.id/forum/redaksi/971020/14forut2.html>.
22. Aditama, T.Y, *Polusi Udara Dan Kesehatan*. ARCAN, 1992
23. <http://library.usu.co.id>.
24. Setiono. K, *Manusia, Kesehatan dan Lingkungan (Kualitas Lingkungan Dalam Perspektif Perubahan Lingkungan Global)*. Jakarta, 2000.
25. Wijayanto. *Limbah B3 dan Kesehatan*. Jakarta, 2005.
26. Soedomo. M, *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*. ITB, Bandung, 1999.
27. Kusnoputranto. H, *Toksikologi Lingkungan Zat Kimia dan Medan Elektromagnetik*. FKM UI Jurusan Kesehatan Lingkungan, Jakarta, 1999.
28. Sunu. P, *Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14001*. Grasindo, Jakarta, 2001.
29. EC-GC-Clean Air 2002 Pollution Sources. http://www.ec.gc.ca/clean_air_-_air_pur/Pollution_Sources/Iron_and_Steel_-_WSB1BEEFD9-1-En.htm.

30. Ministry for the Environment 2002. *Health Effect of CO, NO₂, SO₂, Ozone, Benzene, and Benzo(a)pyrene in New Zealand*. <http://www.mfe.govt.nz/publication/air/air-quality-tech-report-43/html/page4.htm.1>.
31. Depkes RI. *Bahan – Bahan Berbahaya Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia*. Sub Proyek Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan, Proyek Kesehatan Lingkungan Bantuan UNDP INS/91/019, Jakarta, 1996.
32. Wardhana. A.W, *Dampak Pencemaran Lingkungan*. ANDI, Yogyakarta, 2001.
33. Ganong. W.F, *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran (Review Of Medical Physiology)*. Terjemahan dari M. Djauhari Widjajakusumah, Edisi 17, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta, 1998.
34. Lorriane. M.W, Sylvia A.P, *Patofisiologi Konsep Klinis Proses – Proses Penyakit*. Edisi 4, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta, 1995.
35. Pearce. E, *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Alih Bahasa Sri Yuliani Handoyo, Gramedia, Jakarta, 1986.
36. Guyton. A.C, *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Alih Bahasa dr. Irawati Setiawan, dr. LMA Ken Ariata Tengadi dan dr. Alex Santoso, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta, 1997.
37. Kumar. *Buku Ajar Patologi II*. Edisi 4, FK. Universitas Airlangga, Jakarta, 1995.
38. Sherwood. L, *Fisiologi Manusia Dari Sel ke Sistem*. Edisi 2, Alih Bahasa : dr. Brahm U. Pendit, Sp. KK.
39. Yeung. M.C, Lam. S, Enarson. D, *Pulmonary Function Measurement In The Industrial Setting*. Chest, 1995.
40. Antarudin. *Pengaruh Debu Padi Pada Faal Paru Pekerja Kilang Padi Yang Merokok Dan Tidak Merokok*. Program Pendidikan Dokter Spesialis Paru, FK USU, Sumatera Utara, 2002.
41. Rahmatullah. P, *Penyakit Paru Lingkungan – Kerja*. Bagian Penyakit Dalam FK UNDIP, Semarang, 2006.
42. Mukono. H.J, *Pencemaran Udara Dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Airlangga University Press, Surabaya, 1997.

43. Anies. *Pengaruh Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan*. Dialog Interaktif Dalam Rangka Pengendalian Pencemaran Udara, BAPPEDAL Propinsi Jawa Tengah, 2002.
44. Tjokrokusumo K.R.T, *Pengantar Enjiniring Lingkungan*. STTL “YLH”, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 1999.
45. Nedved. M, *Dasar – Dasar Keselamatan Kerja Bidang Kimia Dan Pengendalian Bahaya Besar*. ILO, Jakarta.
46. Bernard. *The Potential Impacts Of Climate Variability And Change On Air Pollution Related Health Effects In The United States*. Environmental Health Perspectives.
47. Turner. W.M, *Occupational Lung Diseases*. Eds Inc. New York, 1981:1–10.
48. Mannopo. A, *Merokok dan Kanker Paru*. Majalah Kedokteran Indonesia ; Vol. 37 No. 10, 1987.
49. Tabrani. W.H, *Ilmu Penyakit Paru*. Lektor Fisiologi dan Biokimia Universitas Riau Direktur Chest Clinic Pekanbaru, Cetakan I, Tahun 1996.
50. Fontham, E.T, P. Correa, et.al, *Environmental Tobacco Smoke And Lung Cancer In Non Smoking Women : A Multicenter Case Control Study*, Journal of The American Medical Association (JAMA) 271 : 1752 – 1759, 1994.
51. Sugeng. A.M, RMS. Jusuf, Adriana. P, *Bunga Rampai Hiperkes dan Kesehatan Kerja*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
52. Raharjo. K, *Perubahan Fungsi Paru Pada Usia Lanjut*. Cermin Dunia Kedokteran, 1988 : 4825 – 4826.
(http://www.WHO.Int/Environmental_Information/air/Guidelines.htm1).
53. Habsari. N.D, *Penggunaan APD bagi Tenaga Kerja*. Bunga Rampai Hiperkes dan Keselamatan Kerja, UNDIP, Semarang, 2003.
54. Almtsier. S, *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2002.
55. Yunus. F, *Faal Paru dan Olah Raga*. J. Respir, Indonesia, 1997 : 17 : 100 – 5.
(<http://library.usu.oc.id/modules.php?op=modload&name=downloads&file=index®=getit&id.83>).
56. Sastroasmoro. S, *Dasar – Dasar Metodologi Penelitian Klinis*, Edisi 2, Bagian Ilmu Kesehatan Anak Kedokteran Universitas Indonesia, Binarupa Aksara, Jakarta, 2002.

57. Lameshow. S, Hosmer. D, Klar. J, *Besar Sampel Untuk Penelitian Kesehatan*, Edisi Bahasa Indonesia, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 1997.
58. Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Jawa Tengah. *Standart Operasional Prosedur Analisa Udara Ambien*. Semarang, 2006.
59. Sugiyono. *Statistika untuk Penelitian*. Alfabeta, Bandung, 2002.
60. Anderson. S, Wilson. L.M, *Pathopisiologi Clinical Concepts Of Diseases Proceces* (ter. Adji Darma), Bag. 1 Edisi 2 Cetakan VII, EGC, Jakarta, 1989, p : 515 – 597.
61. Murti B. Peran Peluang Dalam : *Prinsip dan Metode Riset Epidemiologi*. Cet. I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 1997.
62. Austin. G. T. *Industri Proses Kimia* , Penerbit Airlangga, Surabaya, 1996.
63. Yunus. F., *Dampak Debu Industri Pada Pekerja*, FKUI, Bagian Pulmonologi FKUI/Unit Paru RSUP Persahabatan, Cermin Dunia Kedokteran, Respir. 2006, Juli 2007, 2000 : 5 – 34, Jakarta. (<http://www.cermin.dunia.kedokteran.com>).
64. Nugraheni. FS., *Analisis Faktor Risiko Kadar Debu Organik Di Udara Terhadap Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Penggilingan Padi Di Kab. Demak*, Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, 2004.
65. Setiawan. Adi., *Hubungan Kadar Total Suspended Particulate Dengan Fungsi Paru Di Lingkungan Industri Semen Cibinong*, Penelitian Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang, 2002.
66. Aditama. Tjandra. Y, *Penyakit Paru Akibat Kerja*, Pendidikan Kedokteran Berkelanjutan, Yayasan Penerbitan Ikatan Dokter Indonesia, Jakarta, 1997.
67. Suma'mur. PK., *Higiene Perusahaan Dan Kesehatan Kerja*, CV. Hajimasagung, Jakarta, 1984.
68. Sukarman, *Kapasitas Pernapasan Maksimal Untuk Evaluasi Faal Paru*, Disertasi, Unair, Surabaya, 1998.
69. Sutomo. Astrid., *Diagnosis Penyakit Akibat Kerja dan Sistem Rujukan*, Bagian Ilmu Kedokteran Komunitas Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta, 2005.

70. WHO., *Health Organization, Early Detection of Occupational Diseases, Singapore, World Health Organization, 1986.*
71. Syamsudin., *Hubungan Kualitas Udara dan Terjadinya Penyakit Paru Obstruksi Kronis Pada Pengrajin Tembaga di Kecamatan Cepogo, Kabupaten Boyolali, UGM, 2003.*
72. Ernowo. GT., *Pengaruh Merokok Terhadap Fungsi Paru Terhadap Pengolahan Batu Kapur Di Desa Darmakradenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas, UNS Surakarta, 2003.*
73. Bannet. W. L., *Buku Ajar Penyakit Paru (Edisi Bahasa Indonesia), Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta, 1997.*
74. <http://www.ebpoline.org/members/2003/6542/6542.pdf>
75. <http://www.infokes.com/today/artikelview.htm?item.ID=214&topic.htm>
76. Suryani. Meta., *Analisis Faktor Risiko Paparan Debu Kayu Terhadap Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Industri Pengolahan Kayu PT. Surya Sindoro Sumbing Wood Industry Wonosobo, Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, 2004.*
77. Blumberg J., *Role Of Vitamins In Health Promotion And The Prevention Of Non Communicable Disease, Paper Presented at Proposed Joint WHO/FAO Consultation On Preparation And Use Of Food Based Dietary Guidelines, Cyprus, March, 2002.*
78. <http://www.n2.org.n2/journal/112-1100/2233/Content.Pdf>
79. Miller. G. et. al., *Part II Hybrid Emissions Control Model And Inhalable And Respirable Particles Clean Air, 23 No. 4, pp:150-155, 1989.*
80. Garrow. J.S., *Obesity in Human Nutrition And Dietetics, Chorchill Livington, London.*
81. Aurorina. Estri., *Hubungan Debu Total Ruang Pengasapan Ikan Dengan Gangguan Fungsi Paru Pengasap Ikan Bandarharjo Kota Semarang, Prodi IKM Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia, Tahun 2003.*
82. Adenan S., *Kiat Menurunkan Penyakit Akibat Kerja, Balai Hyperkes Surabaya, Surabaya, 1997.*
83. Santoso. G., *Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Prestasi Putaka Publisher, Jakarta, 2004.*

