

TA/TL/2018/0816

TUGAS AKHIR
ANALISIS RISIKO SILIKOSIS AKIBAT PAPARAN
DEBU SILIKA PADA PEKERJA TAMBANG BAWAH
TANAH PT. X DI PAPUA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



BAIQ RAUDATUL JANNAH

13 513 190

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018

TUGAS AKHIR
ANALISIS RISIKO SILIKOSIS AKIBAT PAPANAN
DEBU SILIKA PADA PEKERJA TAMBANG BAWAH TANAH
PT. X DI PAPUA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



Pembimbing 1:

Supriyanto, S.T., M.Eng., M.Sc.

Tanggal :

Pembimbing 2:

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Tanggal :

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan K1SP UII

Hudori, S.T., M.T.

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS RISIKO SILIKOSIS AKIBAT PAPARAN
DEBU SILIKA PADA PEKERJA TAMBANG BAWAH
TANAH PT. X DI PAPUA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Rabu
Tanggal : 17 Januari 2018

Disusun Oleh:

Baiq Raudatul Jannah
13 513 190

Tim Penguji :

Suprivanto, S.T., M.Eng., M.Sc.

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc.

()

()

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 22 Januari 2018

Yang membuat pernyataan



Baiq Raudatul Jannah

NIM: 13 513 190

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis bisa selesai menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Risiko Silikosis Akibat Paparan Debu Silika pada Pekerja Tambang Bawah Tanah PT. X di Papua**”. Tidak lupa, shalawat dan salam yang selalu terucap kepada Rasulullah SAW sebagai kewajiban sebagai salah satu pengikut beliau.

Selama pelaksanaan tugas akhir, Penulis banyak sekali terbantu oleh berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang berperan sangat besar dalam penyusunan tugas akhir penulis, oleh karena itu, penulis mengucapkan sebesar besarnya terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas nikmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, serta sholawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW yang telah memberikan pedoman kepada seluruh umat.
2. Keluarga yang sangat penulis sayangi: Inak, kak Eni, kak Takim, kak Eli, kak Pian, kak Hatim yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat selama pengerjaan tugas akhir.
3. Pembimbing penulis, Bapak Supriyanto dan Ibu Suphia Rahmawati yang telah bersedia membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan selalu memberikan penulis motivasi dan semangat agar penulis bisa segera menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Adam Rus Nugroho, selaku dosen pembimbing akademik penulis yang selalu memberikan dorongan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Segenap karyawan Jurusan Teknik Lingkungan yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir

6. Karyawan dan pekerja di PT. X di Papua yang tidak bisa disebutkan namanya, atas data dan kesempatan untuk melakukan observasi di daerah tambang bawa tanah.
7. Teman-teman dari LPM SOLID FTSP UII yang telah bersama penulis selama 4 tahun perkuliahan yang selalu mendorong penulis untuk cepat wisuda; Sofi, bang Iqbal (Kibo), bang Mufli, bang Helmi, bang Ipin, Alfin, Hafian.
8. Teman main penulis Lilis L.R., Sara Sidya H. dan Indah Pratiwi, love lah~
9. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2013 di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
10. Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam melaksanakan tugas akhir.

Penulis sangat menyadari kalau laporan ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi perbaikan penulis di masa yang akan mendatang. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca dan masyarakat umumnya.

Yogyakarta, Januari 2018

Penulis

ABSTRACT

Mining is one of the big industry in Indonesia that have lot of workers. A protection of workers from diseases by work is a must thing that a mining company should do, one of these thing is a chronic disease that will surfaced long time after the works done. Underground mine as one of the method in mining generated lot of dust from various work activity that can lead to high risk of exposure to workers. Exposure to Inhalable and respirable dust in high concentration and longtime period could generate lung cancer, beside that dust mining is really possible to contain silica as it was the most abundant component in earth that can lead to disease such as silicosis and lung cancer then death. This research aim is to analyze the different of concentration of dust and silica based on their location and the work area, also to find out the correlation of dust and silica concentration with the work time and age of workers, the further analysis is to find out the relative risk of mortality from silicosis in underground mine workers of PT. X. one way ANOVA and correlation analysis is used as initial analysis for the first and second aims, and the table from Mannetje et al (2002) is used to analysis the relative risk of mortality from silicosis. From 103 sample, 22 sample is exposed to silica but still below the regulation from Ministry of Manpower and Transmigration number 13 in 2011, the result of ANOVA and correlation show that there is none relation between mine location with silica and dust concentration, but there is indeed relation between dust concentration with age and silica concentration with working period, result of the relative risk of mortality from silicosis in underground mine of PT. X is 1/1000 of exposed workers.

Keywords : Underground Mine, Correlation, Dust, Silicosis

ABSTRAK

Penambangan merupakan industri besar di Indonesia yang menyerap banyak tenaga kerja. Perlindungan pekerja dari penyakit akibat kerja merupakan hal yang harus dilakukan oleh perusahaan, salah satunya untuk penyakit kronik yang akan timbul setelah pekerja selesai masa kerjanya. Pertambangan dengan metode penambangan bawah tanah menghasilkan jumlah debu yang banyak dari berbagai aktivitas dapat menyebabkan risiko paparan debu dalam konsentrasi tinggi ke pekerja. Debu yang bisa dihirup (*inhalable* dan *respirable*) menjadi salah satu masalah utama yang harus di atasi oleh perusahaan. Debu dapat menyebabkan gangguan pernapasan apabila terhirup pada konsentrasi tinggi dan dalam waktu yang lama, selain itu debu tambang sangat mungkin mengandung silika yang dapat menyebabkan penyakit seperti silikosis dan kanker paru-paru hingga kematian. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan tingkat konsentrasi debu dan silika antar tambang dan area kerja di dalam tambang bawah tanah PT. X, serta melihat korelasi antara lama kerja dan umur terhadap tingkat paparan debu dan silika, selanjutnya dilakukan analisis risiko relatif kematian akibat silikosis di pekerja tambang bawah tanah PT. X. Analisis awal menggunakan analisis statistik *one-way* ANOVA dan Korelasi dalam aplikasi SPSS, analisis risiko relatif menggunakan tabel risiko kematian silikosis dari Marnette dkk (2002). Dari 103 sampel pekerja terdapat 22 sampel yang mengandung silika yang semua hasilnya berada di bawah baku mutu konsentrasi debu dan silika yang ditetapkan di Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No 13 tahun 2011, hasil analisis tidak menunjukkan adanya perbedaan antara lokasi tambang bawah tanah dengan konsentrasi debu dan silika di dalam tambang bawah tanah. terdapat hubungan antara konsentrasi debu dengan umur dan konsentrasi silika dengan masa kerja. Hasil analisis risiko menunjukkan tingkat risiko kematian akibat silikosis di tambang bawah tanah PT. X berada pada angka 1/1000 pekerja terpapar silika.

Kata Kunci : Tambang bawah tanah, korelasi, debu, silikosis

DAFTAR ISI

| | |
|----------------------------------------------------|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| ABSTRACT | vi |
| ABSTRAK | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR NOTASI | x |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| | |
| BAB 2 LANDASAN TEORI | 5 |
| 2.1 Tambang Bawah Tanah..... | 5 |
| 2.2 Pencemaran Udara..... | 9 |
| 2.3 Pengelolaan Udara di Tambang Bawah Tanah | 10 |
| 2.4 Debu Silika | 11 |
| 2.4.1 Aktifitas Penghasil Silika | 12 |
| 2.4.2 Silikosis Akibat Debu Silika | 14 |
| 2.5 Analisis Statistik..... | 16 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6 Studi Terdahulu | 19 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 21 |
| 3.2 Lokasi Penelitian | 22 |
| 3.3 Jenis Penelitian | 22 |
| 3.4 Cara Pengumpulan Data..... | 22 |
| 3.5 Metode Analisa Data | 24 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 27 |
| 4.1 Gambaran Umum Daerah Penelitian..... | 27 |
| 4.2 Hasil Penelitian..... | 29 |
| 4.2.1 Distribusi Sebaran Debu di dalam Tambang Bawah Tanah | 31 |
| 4.2.2 Distribusi Sebaran Silika di dalam Tambang Bawah Tanah..... | 47 |
| 4.2.3 Manajemen Pengendalian Partikulat di TBT PT. X | 60 |
| 4.2.4 Analisis Hubungan Variabel Debu dan Silika dengan Lama Kerja . | 67 |
| 4.2.5 Analisis Risiko Relatif Silikosis Pekerja Tambang Bawah Tanah | 69 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 78 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 78 |
| 5.2 Saran | 78 |
| DAFTAR PUSTAKA | 80 |
| LAMPIRAN..... | 83 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|------------------|--------------------------------------------------------|
| SiO ₂ | : Silikon dioksida |
| N | : Jumlah sampel |
| Sig. | : Nilai signifikan atau nilai pengaruh dalam statistik |
| P _i | : Nilai Precentil |
| H ₀ | : Hipotesis uji |
| H _a | : Hipotesis alternative |
| Df | : <i>Degree of freedom</i> |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Penelitian Sebelumnya Tentang Silika | 19 |
| Tabel 3.1 | Koefisien Hubungan Korelasi Sberman dan Kendall | 24 |
| Tabel 3.2 | Nilai Paparan Spesifik dan Nilai Rasio Kematian dari Silikosis | 25 |
| Tabel 4.1 | Deskripsi Pekerja TBT PT. X | 30 |
| Tabel 4.2 | Tabel Frekuensi Konsentrasi Debu | 31 |
| Tabel 4.3 | Deskriptif Konsentrasi Debu antar Lokasi Tambang..... | 32 |
| Tabel 4.4 | Uji Normalitas Debu | 34 |
| Tabel 4.5 | Tes Homogenitas Konsentrasi Debu antar Lokasi Tambang..... | 35 |
| Tabel 4.6 | Hasil ANOVA Konsentrasi Debu antar Lokasi Tambang..... | 36 |
| Tabel 4.7 | Deskriptif Konsentrasi Debu antar Area Kerja Tambang..... | 37 |
| Tabel 4.8 | Tes Homogenitas Konsentrasi Debu antar Area Tambang..... | 38 |
| Tabel 4.9 | Hasil ANOVA Konsentrasi Debu antar Area Tambang..... | 39 |
| Tabel 4.10 | Komparasi Konsentrasi Debu Antar Area Tambang | 39 |
| Tabel 4.11 | Konsentrasi Debu Hasil Pengukuran Area..... | 42 |
| Tabel 4.12 | Konsentrasi Debu antar Jenis Pekerjaan | 46 |
| Tabel 4.13 | Hasil Pengukuran Konsentrasi Silika di Dalam TBT | 48 |
| Tabel 4.14 | Tabel Frekuensi Konsentrasi Silika | 49 |
| Tabel 4.15 | Deskripsi Konsentrasi Silika Berdasarkan Lokasi Tambang..... | 51 |
| Tabel 4.16 | Hasil Uji Normalitas Data Silika | 52 |
| Tabel 4.17 | Tes Homogenitas Konsentrasi Silika antar Lokasi Tambang | 53 |
| Tabel 4.18 | Hasil Uji ANOVA Konsentrasi Silika antar Lokasi Tambang..... | 53 |
| Tabel 4.19 | Deskripsi Konsentrasi Silika Berdasarkan Area Kerja | 54 |
| Tabel 4.20 | Tes Homogenitas Konsentrasi Silika antar Area Kerja | 55 |
| Tabel 4.21 | Hasil ANOVA Konsentrasi Silika antar Area Kerja | 55 |
| Tabel 4.22 | Konsentrasi Silika Hasil Pengukuran Area | 57 |
| Tabel 4.23 | Analisi Korelasi Sberman dan Kendall..... | 68 |
| Tabel 4.24 | Konsentrasi Paparan Kumulatif Silika..... | 71 |
| Tabel 4.25 | Analisis Risiko Silikosis Terhadap Pekerja TBT PT. X..... | 72 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Metode Penambangan <i>Block Caving</i> | 8 |
| Gambar 2.2 Diameter Partikel Debu yang Menembus Sistem Pernapasan | 11 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 21 |
| Gambar 3.2 <i>Sampling Personal</i> | 23 |
| Gambar 4.1 Stratigrafi Batuan di Daerah Tambang PT. X..... | 27 |
| Gambar 4.2 Kondisi Area <i>Haulage</i> Tambang G..... | 29 |
| Gambar 4.3 Penyebaran Konsentrasi Debu di TBT PT. X..... | 33 |
| Gambar 4.4 Konsentrasi Rata-rata Debu Hasil Pengukuran Area dan Personal.. | 42 |
| Gambar 4.5 Konsentrasi Rata-rata Debu Hasil Pengukuran Tiap Tahun | 43 |
| Gambar 4.6 Penyebaran Konsentrasi Silika di TBT PT. X | 50 |
| Gambar 4.7 Konsentrasi Rata-rata Silika Hasil Pengukuran Area dan Personal.. | 58 |
| Gambar 4.8 Perbandingan Konsentrasi Debu dan Silika..... | 59 |
| Gambar 4.9 Peta Sistem Ventilasi di Area Ekstraksi Tambang D..... | 63 |
| Gambar 4.10 Ilustrasi Sistem Ventilasi di area Ekstraksi TBT D Berdasarkan Area Perkembangan | 63 |
| Gambar 4.11 Ilustrasi Tampak Samping Ventilasi Bantu di Area Produksi Tambang B..... | 65 |
| Gambar 4.12 <i>Ducting</i> Ventilasi di Tambang Z..... | 74 |
| Gambar 4.13 <i>Vent Bag</i> di Area Produksi Tambang B | 75 |
| Gambar 4.14 Penggunaan Respirator saat Bekerja..... | 76 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Tabel Konsentrasi Paparan Debu di TBT PT. X
- Lampiran 2 : Hasil Perhitungan di SPSS
- Lampiran 3 : PERMEN 13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja
- Lampiran 4 : Jurnal Tugas Akhir
- Lampiran 5 : Dokumentasi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan menyerap tenaga kerja yang besar untuk menjalankan semua kegiatan dari eksplorasi batuan, proses pengambilan batuan hingga pengolahan batuan. Tingginya jumlah tenaga kerja dan sifat dari usaha penambangan yang berbahaya melahirkan tingkat risiko yang tinggi bagi para pekerja tambang. Menurut Biro Tenaga Kerja Amerika Serikat, pertambangan masuk dalam pekerjaan paling berbahaya nomor 3 dengan tingkat fatalitas sebesar 15,5/100000 pekerja (Nicole M, 2016)

Kegiatan utama produksi pertambangan seperti peledakan dan pengangkutan batuan menghasilkan partikulat dalam jumlah besar. Partikulat partikulat tambang mineral seperti debu tambang mengandung berbagai bahan yang berbahaya bagi kesehatan manusia salah satu yang menjadi pusat perhatian adalah silika dalam bentuk SiO_2 yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan hingga kanker jika terpapar ke manusia. Berdasarkan data Yeuwei (2013) ada lebih dari 1,7 juta pekerja di Amerika Serikat, lebih dari 2 juta pekerja di Eropa, dan lebih dari 23 juta pekerja di China sudah terpapar debu silika saat bekerja.

Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13 tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja, Tenaga Kerja adalah setiap orang yang mampu melakukan pekerjaan guna menghasilkan barang dan/atau jasa baik memenuhi kebutuhan sendiri maupun masyarakat. Dalam melakukan pekerjaan ditempat kerja dikenal adanya Nilai Ambang Batas (NAB) yang merupakan standar faktor bahaya di tempat kerja sebagai kadar rata-rata tertimbang waktu yang dapat diterima tenaga kerja tanpa mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan.

International Agency for Research on Cancer (IARC), telah mengategorikan kristal silika dalam bentuk silika dan kristobalite sebagai grup 1 karsinogen. Semakin tinggi paparan silika yang diterima oleh pekerja semakin

tinggi risiko silikosis dan kematian akibat kanker yang diterima pekerja (Mannetje dkk, 2002; Azari dkk, 2009; Normohammadi dkk, 2016; Steenland, 2005). Risiko kesehatan silika telah banyak diteliti oleh ahli kesehatan di dunia karena merupakan salah satu fokus dalam kesehatan dan keselamatan kerja.

Pada tahun 2011, ada sekitar 193 perusahaan tambang mineral dan batubara terdaftar yang beroperasi di Indonesia (EITI, 2013). Perusahaan besar seperti PT. Freeport Indonesia, PT. Aneka Tambang, PT. Amman Mineral dan PT. Timah bergerak di usaha penambangan mineral seperti tembaga dan emas menggunakan teknik penambangan *open-pit mine* dan *underground mine* membuat risiko bahaya paparan pekerja sangat besar, terlebih di tambang bawah tanah yang kondisinya seperti di dalam ruang tertutup yang menyebabkan konsentrasi paparan debu tambang juga akan lebih terkonsentrasi di dalam areal tambang bawah tanah (Guidline, 2005).

Menanggapi pentingnya peran pekerja dan perlunya penjaminan kesehatan bagi para pekerja oleh perusahaan tambang, sangat diperlukan data terkait jumlah paparan (*exposure*) debu yang diterima oleh pekerja serta analisa lebih lanjut akan masa depan kesehatan pekerja tambang terkhususnya bagi perusahaan mineral dengan pekerjaan masif dan berbahaya. Hingga saat ini, Indonesia, dengan jumlah pekerja yang sangat besar dan kegiatan usaha penambangan yang banyak belum memiliki pusat data tentang paparan debu dan debu silika di tempat kerja, terlebih lagi masih sangat jarang penelitian mengenai analisis risiko yang mungkin dialami pekerja di sektor penambangan terkait bahaya paparan debu silika bagi pekerja. Penelitian ini berusaha untuk mencari keterkaitan antara jumlah paparan dengan lokasi dan jenis pekerjaan di tambang bawah tanah, mencari seberapa besar risiko dari bahaya debu tambang yang mengandung silika terkait dengan risiko kematian akibat penyakit silikosis untuk pekerja tambang bawah tanah di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka permasalahan yang akan di tinjau antara lain:

1. Apakah terdapat perbedaan tingkat konsentrasi debu dan silika terhadap lokasi dan jenis pekerjaan di tambang bawah tanah PT. X?
2. Apakah terdapat hubungan antara lama kerja dan umur dengan tingkat konsentrasi paparan debu dan silika di tambang bawah tanah PT. X?
3. Berapa besar tingkat risiko relatif pekerja tambang bawah tanah menderita penyakit silikosis karena paparan debu silika?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini secara umum sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi hubungan tingkat konsentrasi debu dan silika terhadap lokasi dan jenis pekerjaan di tambang bawah tanah PT. X.
2. Menganalisis hubungan antara lama kerja dan umur dengan tingkat konsentrasi paparan debu dan silika di tambang bawah tanah PT. X.
3. Menganalisis tingkat risiko relatif silikosis untuk pekerja tambang bawah tanah akibat paparan debu silika.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan di tinjau dalam penelitian ini antara lain:

1. Lokasi penelitian dilakukan di 4 tambang bawah, yaitu B, D, G, Z.
2. Sumber-sumber debu berasal di area kerja tambang bawah tanah.
3. Data yang digunakan adalah data sekunder hasil pengukuran dari departemen terkait PT. X.
4. Area kerja dan pekerja berisiko maksimal terkena paparan debu silika.
5. Analisis risiko relatif kejadian silikosis di pekerja tambang bawah tanah.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Manfaat Akademik.

Memberikan analisis dan data terkait risiko toksikologi di area kerja bagi beberapa jenis pekerjaan. Data ini juga dapat menjadi informasi dan dapat digunakan sebagai bahan belajar bagi mahasiswa sendiri, Program Studi Teknik Lingkungan UII dan Masyarakat secara luas.

2. Manfaat Aplikatif.

Hasil analisis terkait tingkat risiko relatif silikosis dan kematian akibat kerja ini dapat digunakan sebagai landasan bagi perusahaan tambang mineral dalam mengambil kebijakan mengenai kesehatan pekerja tambang dengan parameter paparan debu tambang mengandung silika.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tambang Bawah Tanah

Bahan galian/bijih tidak selalu dekat atau pada permukaan bumi/tanah. Bila terletak relatif jauh dari permukaan tanah, maka penggalian dilakukan dengan tambang bawah tanah. Penambangan bawah tanah dilaksanakan dengan terlebih dahulu membuat lubang bukaan (*opening/entry*) sebagai jalan dari permukaan tanah menuju badan bijih (*ore body*) dan pekerjaan persiapan lainnya. Berdasarkan kutipan dari Indonesianto 2001 dalam buku *Persiapan Pembukaan Tambang Bawah Tanah*, industri tambang bawah tanah setelah menentukan sistem tambang yang akan diterapkan, maka harus dipersiapkan pekerjaan awal yang nantinya akan menunjang pekerjaan produksi. Tahap pekerjaan ini disebut *Development*.

Didasarkan pada cara penyanggaan dan penambangannya, maka sistem tambang bawah tanah digolongkan dalam 4 kelompok metode yaitu:

1. *Open Stope Method*
2. *Supported Method*
3. *Caving Method*
4. Tambang Batubara

Untuk memilih sistem tambang bawah tanah mana yang akan diterapkan, maka ada beberapa faktor yang harus di perhitungkan yaitu:

- a) Bentuk, ukuran, letak dan penyebaran nilai dari endapan bijih
- b) Sifat, kekerasan dari endapan bijih dan batuandi sekitarnya
- c) Sifat mineralogis dan geologis
- d) Lokasi dari pada endapan itu sendiri terhadap tambang yang ada di sekitarnya, sebaiknya disesuaikan
- e) Persediaan, macam dan harga material yang mungkin dipakai sebagai material
- f) Besarnya modal yang tersedia untuk penambangan

- g) Macam ahli, tingkat pendidikan dan tinggi rendahnya upah buruh di daerah tersebut
- h) Cara manajemen yang dipakai dari tambang tersebut, apakah tambang rakyat, swasta, negara atau modal asing
- i) *Safety* atau keselamatan kerja
- j) Batas keuntungan yang diinginkan (Profit Margin)

Dalam dunia pertambangan nasional, beberapa metode sangat umum digunakan, yaitu tambang bawah tanah dengan metode *supported stope methode* dan *caving Methode*.

A. *Supported Stope Methode*

Metode ini cocok untuk endapan bijih yang *country rock* dan bijihnya lunak. Akibatnya perlu sistem penambanganyang sistematis dan memerlukan *suport* (Penyangga).Penyangga ini bisa berupa Penyangga alamiah (Bijihnya sendiri; *low grade ore; waste*; batuan samping) dan *artificial support* (material pengisi, *cement groundting, rock bolting, concrete, kayu, baja*). Untuk teknik penambangannya sendiri, teknik *supported stope* memiliki beberapa cara penambangan berupa:

1. *Shrinking and fill stoping*

Pada dasarnya sistem ini melakukan pembuatan *drift* pada setiap level, yang kemudian dibuat *raise* dari setiap *drift* ini yang dipergunakan untuk *ore chute* dan man way. *Ore* diledakkan dan pecahan *ore* yang diperoleh dibiarkan menimbun. Setelah satu level lainnya habis ditambang /digali kemudian rongganya diisi dengan *Filling material*.

2. *Cut and Fill material*

Pemakaian *cut and fill material* memerlukan biaya yang cukup besar dan pengerjaan yang rumit. *Scribing* dinaikkan terlebih dahulu sebelum mengisi *filling material* agar material jangan jatuh ke dalam *ore pass*.

3. *Stull Stoping*

Merupakan metode penambangan yang menggunakan penyangga dan dipasang langsung dari *hanging wall* ke *foot wall*. Teknik ini cocok

untuk endapan dengan sifat-sifat seperti bijih yang kuat, dan bijih yang memiliki nilai yang tinggi karena ongkos penambangan yang cukup tinggi.

4. *Square Set Stopping*

Merupakan sistem penambangan dengan sistem penyanggahan secara sistematis ke segala arah. Sistem ini cocok untuk endapan yang memiliki sifat nilai yang tinggi karena biaya penambangan yang mahal dan bijih serta *country rock* yang mudah runtuh. (Indonesianto, 2001)

B. *Caving Methode*

Caving Method Diterapkan untuk penambangan pada batuan batuan atau pada endapan bijih yang mudah runtuh bila mendapatkan tekanan dari atas akan runtuh secara perlahan lahan. Metode *caving* dikenal 3 cara penambangan yaitu:

1. *Top Slicing*

Merupakan suatu cara penambangan untuk endapan bijih dan *country rock* yang lunak/lemah terutama untuk kondisi batuan yang memiliki *overburden* yang lunak, penambangannya dilakukan selapis demi selapis dari atas ke bawah pada *stope* yang disangga. Penambangan dengan *top slicing* sebaiknya dilakukan untuk endapan bijih yang teratur untuk menghindari *selective mining* serta memiliki *ore* dengan nilai yang cukup tinggi untuk menutupi ongkos tambang yang cukup tinggi.

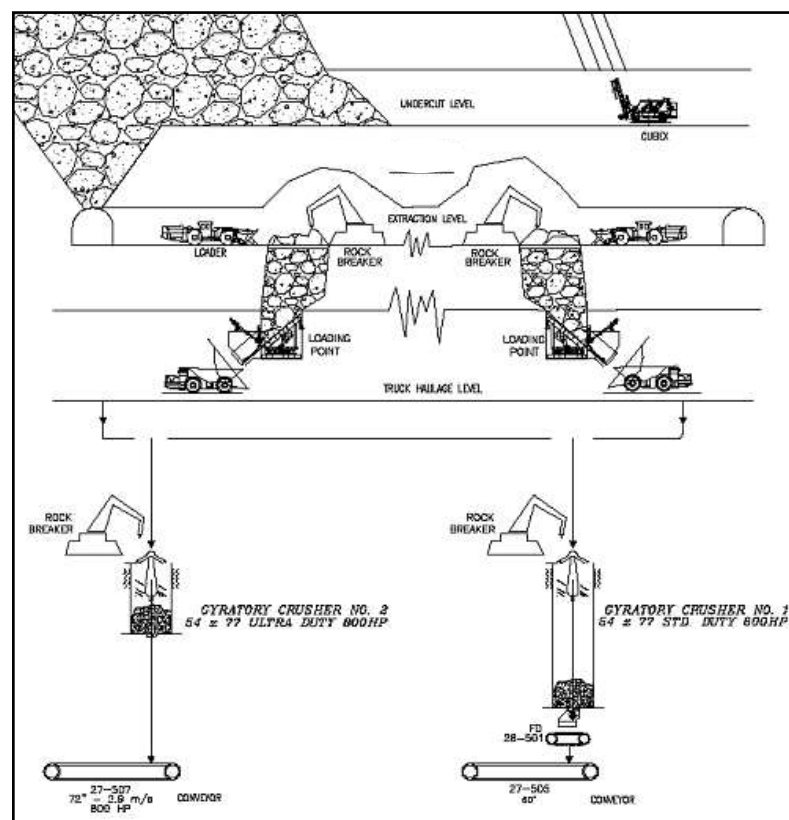
2. *Sublevel Caving*

Salah satu penambangan yang mulai dari atas ke bawah dan penggalian dilakukan secara lateral. Seluruh endapan biji diantara sublevel diambil dengan cara meruntuhkan. Pemakaian metode *sublevel caving* cocok untuk batuan yang memiliki kekuatan yang sedang, memiliki *overburden* yang mudah pecah, dan *ore* memiliki

nilai yang agak tinggi atau sedang untuk menghindari *selective mining*.

3. *Block Caving*

Block caving adalah cara stoping dimana penggalian dilakukan dibawah batuan dalam *block* besar, diledakkan secara teratur lalu batuan dikeluarkan melalui tempat pengeluaran batuan yang letaknya ada di dasar blok. *Block caving* digunakan untuk pengambilan batuan yang sedikit dan memiliki tebal endapan yang lebih besar dari 33 meter kecuali itu harus memiliki cadangan yang cukup banyak dan adanya *ore loss* tidak menimbulkan kerugian. Ilustrasi penambangan dengan metode *block caving* dapat dilihat di Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Metode Penambangan *Block Caving*

Metode ini sebaiknya digunakan untuk batuan dan *overburdennya* yang mudah runtuh atau pecah, memiliki cadangan yang besar tapi tidak begitu tinggi nilainya, tidak mudah bereaksi dengan udara dan tidak memungkinkan adanya *selective mining*. Ongkos penambangan

dengan metode ini tergolong murah namun rawan terjadi *dilution* batuan yang dapat menghasilkan *wet muck* dan adanya kemungkinan terjadinya *surface subsidence* walaupun tidak dianggap merugikan. (Indonesianto, 2001)

2.2 Pencemaran Udara

Udara Merupakan komponen yang sangat penting bagi manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi. Senyawa oksigen yang terkandung di dalam udara sangat dibutuhkan oleh manusia untuk menjalankan sistem pernapasan. Akibat dari banyaknya aktivitas yang dilakukan oleh manusia, sering kali menyebabkan penurunan kualitas udara secara ekstrem. Perubahan kualitas ini dapat berupa perubahan sifat-sifat fisik maupun sifat-sifat kimiawi. Perubahan kimiawi, dapat berupa pengurangan maupun penambahan salah satu komponen kimia yang terkandung dalam udara, yang lazim dikenal sebagai pencemaran udara. Kualitas udara yang dipergunakan untuk kehidupan tergantung dari lingkungannya. Kemungkinan di suatu tempat dijumpai Partikulat yang bertebaran dimana-mana dan berbahaya bagi kesehatan. Salah satu lokasi dengan kualitas udara yang sangat buruk ada di banyak areal industri yang aktivitasnya sangat padat.

Kegiatan industri memiliki banyak jenis pekerjaan sehingga membutuhkan banyak tenaga kerja untuk menjalankan aktivitasnya. Untuk menjaga keamanan dan kenyamanan tempat kerja, pemerintah melalui Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi mengeluarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13 tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja yang mengatur tentang nilai nilai konsentrasi senyawa berbahaya di tempat kerja.

Tempat kerja merupakan salah satu lokasi yang sangat rawan terpapar oleh faktor-faktor polutan kimia seperti debu, uap dan gas. Debu adalah partikulat padat yang dihasilkan oleh manusia atau alam dan merupakan hasil dari proses pemecahan.

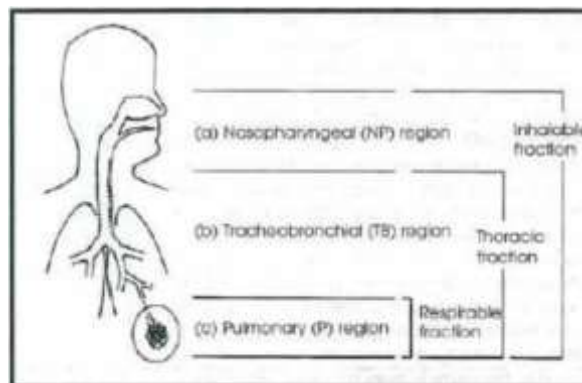
Debu di tempat kerja dapat menyebabkan berkurangnya kenyamanan di tempat kerja, gangguan penglihatan, bahkan keracunan umum. Debu yang

terhirup dalam waktu yang lama dan terus menerus dapat menyebabkan terjadinya kerusakan paru dan fibrosis. Debu dengan ukuran kurang dari 1 mikrometer sangat berbahaya bagi tubuh karena dapat masuk ke dalam alveolus (Kiky, 2015).

2.3 Pengelolaan Udara di dalam Tambang Bawah Tanah

Tambang terbuka dan tambang bawah tanah keduanya sama-sama berhadapan dengan masalah Partikulat dan partikulat lain. Partikulat dan partikulat lainnya menyebabkan kerusakan yang bermacam-macam bagi paru-paru. Selain gangguan kesehatan, partikel juga dapat terlarut dalam darah dan akan terbawa ke seluruh tubuh, dimana partikel tersebut dapat menyebabkan kerusakan otak, ginjal, dan organ lainnya.

Paparan baku mutu kualitas udara di pertambangan karena erat hubungannya dengan kegiatan kerja dan pekerja sebagai subjeknya, penentuan baku mutu kualitas udara pertambangan sendiri mengacu pada Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13 Tahun 2011 (Per Menakertrans no. 13 tahun 2011) tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja, paparan debu bagi pekerja dibagi menjadi *inhaleable* partikel dan *respirabel* partikel. Berdasarkan pemenakertrans no. 13 tahun 2011, nilai ambang batas (NAB) batas *inhalabel* partikel dan *respirabel* partikel yaitu 10 mg/m^3 dan 3 mg/m^3 . Kedua istilah ini menggambarkan diameter aerodinamis dari partikel debu yang bias menembus dalam sistem pernapasan manusia, ilustrasi diameter debu dengan sistem pernapasan manusia dapat di lihat di Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Diameter Partikel Debu yang Menembus Sistem Pernapasan

Partikel debu *respirabel* merupakan partikel debu yang dapat masuk ke sistem pernapasan. Berdasarkan gambar 2.2 partikel sebesar 10 mikrometer bisa masuk ke area (a), partikel sebesar 5 mikrometer bisa masuk ke area (b) dan partikel sebesar 1 mikrometer bisa masuk ke area (c). Berdasarkan penjelasan dari *National Pollutant Inventory* pemerintah Australia PM_{10} adalah partikulat yang besarnya 10 mikrometer atau kurang, sedangkan $PM_{2,5}$ adalah partikulat yang besarnya 2,5 mikrometer atau kurang. PM_{10} dan $PM_{2,5}$ merupakan penamaan jenis partikulat yang populer digunakan dalam menggambarkan polusi udara.

2.4 Debu Silika

Silika adalah salah satu unsur mineral di bumi yang paling melimpat. Mineral silika memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silika trigonal terkristalisasi (SiO_2) memiliki skala kekerasan Mohs 7, densitas $2,65\text{ g/cm}^3$, dan konduktivitas panas $12 - 1000\text{C}$. Silika dalam bentuk kristal silika merupakan komponen dari tanah, pasir dan material alami lainnya. Tiga bentuk paling umum dari silika kristal adalah kuarsa, kristobalit, dan tridimit.

Silika digunakan secara luas di dunia dalam berbagai bentuk. Komponen yang paling banyak di pakai di industri salah satunya adalah dalam bentuk pasir silika yang di gunakan untuk bahan baku industri semen, industri kaca, industri keramik, *sand blasting*, industri bata ringan, industri cat dan bahan filter air. Umumnya pasir silika di Indonesia memiliki komposisi SiO_2 minimum 90%, Fe_2O_3 antara 0,01 – 0,4%. Al_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , Na_2O . Dalam kehidupan sehari-hari silika dapat ditemukan dalam bentuk gel (natrium silika) di berbagai kemasan yang berfungsi untuk menyerap kelembapan.

Berdasarkan *International Chemical Safety Card*, silika dalam bentuk quartz dan Cristoballite berpotensi akan menimbulkan batuk jika ter inhalasi, menyebabkan kemerahan jika terkena kulit serta menyebabkan iritasi jika terkena mata. Pada tingkat inhalasi yang tinggi, silika dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas volume paru-paru yang mengindikasikan adanya kanker.

Debu *respirable* adalah istilah yang menjabarkan diameter aerodinamis dari partikel debu yang bisa menembus ke dalam sistem pernafasan, melewati

bronkiolus ke alveolus. Ukuran partikel debu 0,1 μ m sampai 100 μ m dapat menimbulkan penyakit pernapasan jika terhirup. partikulat yang *respirable* sendiri didefinisikan sebagai partikulat yang diameternya <10 μ m yang akan menembus sistem pernapasan sampai alveolus. Semua jenis debu merupakan polutan yang berbahaya bagi manusia, namun tingkat bahayanya akan semakin meningkat jika debu mengandung bahan logam berat, salah satu yang paling umum yaitu keberadaan debu silika (Rice, 2001; Azari, 2009).

Silika merujuk pada susunan kimia silika dioksida (SiO₂), yang terjadi dalam bentuk kristal atau amorf. Karena adanya reaksi kimia, hampir semua silika yang pernah ditemukan di alam bebas berbentuk kristal. Kristal silika (quartz) mungkin saja dapat ditemukan dalam berbagai bentuk (polymorphic) seperti dalam bentuk adalah a-quartz, b-quartz, a-tridymite, b-tridymite, a-cristobalite, b-cristobalite, keatite, coesite, stishovite, dan moganite. Masing-masing jenis silika memiliki struktur sendiri dan karakteristik yang unik untuk bentuk atomnya. Jenis kristal silika yang paling banyak di alam yaitu bentuk a-quartz (NIOSH, 2002).

2.4.1 Aktifitas Penghasil Silika

Quartz adalah penyusun dari hampir semua deposit mineral. Kristalin silika merupakan salah satu mineral yang paling umum keberadaannya di dalam polutan udara baik di industri maupun lingkungan hidup hal ini menyebabkan pekerja di berbagai jenis industri dan jenis pekerjaan memiliki kemungkinan untuk terpapar kristal silika.

Kristal silika dalam debu biasanya terbentuk saat pekerja memotong, menggergaji, menggiling, mengebor, atau menghancurkan bahan seperti kaca, batuan, tanah, beton, batu bata, atau pasir silika yang di sebut sebagai pasir industri. Paparan juga akan terjadi ketika pasir industri digunakan dalam operasi abrasif, seperti sandblasting, dan proses rekahan hidrolik (fracking).

OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) menemukan kandungan silika di 6779 hasil personal sampling (8 jam sampling kerja) di 255 industri yang menjadi target pemeriksaan tanpa memasukkan pertambangan dan agrikultur. Pada tahun 2002 ada sekitar 31 kegiatan industri dengan paparan silika

tertinggi yang telah dilaporkan kepada NIOSH (*National for Occupational Safety and Health*) (NIOSH, 2002).

Berdasarkan laporan dari dokumen review NIOSH tentang kristal silika, paparan saat bekerja untuk kristalin silika paling banyak terjadi di industri seperti pertambangan metal dan batu bara, konstruksi dan pembuatan tanah liat. Pekerjaan paling berbahaya adalah operator mesin tambang, pekerja buruh, konstruksi, manajer dan supervisor. Laporan terbaru menyatakan bahwa ada lebih dari 1,7 juta pekerja di Amerika Serikat, lebih dari 2 juta pekerja di Eropa, dan lebih dari 23 juta pekerja di China sudah terpapar debu silika saat bekerja (Yeuwei, 2013). Pada tahun 1931, ratusan pekerja meninggal akibat paparan silika di pekerjaan pembangunan terowongan di Virginia yang menyebabkan paparan silika menjadi salah satu paparan paling mematikan dalam sejarah Amerika Serikat.

Kristal silika saat ini sudah diklasifikasikan sebagai bahan yang bersifat karsinogen untuk manusia oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC). Silika atau silikon dioksida (SiO_2) merupakan kelompok IV oksida logam, yang secara alami terjadi berupa bentuk kristal amorf (NTP, 2005). Sebagai bahan karsinogen, kristal silika dapat menyebabkan penyakit akut yang tidak bisa di sembuhkan seperti Silikosis dan penyakit pada sistem pernapasan seperti tuberkulosis paru dan kanker paru; Penyakit auto-imun seperti skleroderma, rheumatoid arthritis, dan lupus; penyakit ginjal dan perubahan ginjal (NIOSH, 2002).

2.4.2 Silikosis Akibat Debu Silika

Silikosis, sebuah bentuk pneumokoniosis, adalah sebuah kondisi paru-paru yang disebabkan oleh terisapnya debu silika dan ditandai dengan nodular fibrosis (luka pada jaringan paru-paru) yang menyebabkan nafas pendek. Silikosis, dalam tahap lanjut, bersifat progresif bahkan jika orang tersebut tidak terkena paparan lagi. Silikosis adalah penyakit tak balik (*irreversible disease*). Seiring dengan berkembangnya penyakit, kemampuan tubuh untuk melawan infeksi bisa

berkurang dan kerentanan terhadap penyakit-penyakit seperti tuberculosis dan pneumonia bisa meningkat.

Kristal silika yang terinhalasi menyebabkan penurunan fungsi paru-paru, radang paru-paru akut, gangguan autoimun, bahkan dapat menyebabkan kanker paru-paru (Regia dkk. 2016). Paparan debu *respirabel* kristal silika sudah lama dikenal sebagai parasit yang menghasil *nodule* di paru-paru. Debu silika bebas (SiO_2), berdiameter 0,02 sampai 0,08 μm , terutama dominan mengandung unsur Si yang terhirup waktu bernafas dan tertimbun di paru-paru. Polusi debu respirable yang mengandung silika akan mengendap di daerah bronkioli dan alveoli. Debu ini bersifat fibrogenik dan dapat menyebabkan kelainan paru restriktif. Jika sudah terjadi fibrosis (kerusakan jaringan paru), maka proses fibrosis akan terus berlanjut, walaupun pemajanan debu silika sudah tidak ada, penyakit akan terus berkembang hingga menjadi *massive progressive fibrosis* (Klerk, 1998).

Penyakit silikosis bermula dari “silikosis sederhana” dicirikan dengan beberapa *symptoms* dan menurunnya fungsi paru-paru, silikosis sederhana ini akan berkembang menjadi “*Progressive Massive Fibrosis (PMF)*” akan dicirikan dengan lumpuhnya fungsi paru-paru, yang menyebabkan gagalnya sistem pernapasan hingga kematian. Risiko bronkitis akut dan silikosis meningkat seiring dengan bertambahnya lama kerja dan faktor usia yang berhubungan erat dengan kualitas kesehatan pekerja. Tidak satu pun obat khusus untuk menyembuhkan penyakit silikosis (Mannetje, 2002).

Silikosis merupakan penyakit terkait paru-paru yang sering terjadi di usaha industri. Konsentrasi dari debu silika di udara yang dihirup oleh individu yang terpapar dan durasi dari paparan debu adalah faktor risiko utama yang menyebabkan timbulnya silikosis. Hasil dari berbagai studi epidemiologi mengindikasikan bahwa paparan debu silika memiliki peran yang besar terkait kejadian kanker paru-paru pada pekerja di berbagai industri (Azari, 2009).

Pekerja yang terpapar silika mungkin untuk mengalami satu dari 3 jenis silikosis tergantung dari konsentrasi *airborne* dari *respirabel* silika, jenis-jenis silikosis yaitu:

1. Silikosis kronis, bentuk paling umum dari penyakit ini. Silikosis kronis disebabkan oleh paparan jangka panjang terhadap kristal silika pada tingkat yang relatif rendah dan mungkin tidak akan muncul hingga 10 tahun atau lebih. Berdasarkan studi dari penambangan emas di Afrika Selatan dan penambangan mineral di Colorado serta 2 studi lainnya menunjukkan bahwa penyakit silikosis kronis bisa terjadi bahkan setelah eksposur ke silika di hentikan.
2. Silikosis yang dipercepat disebabkan oleh paparan terhadap konsentrasi kristal silika yang tinggi dan berkembang lima hingga 10 tahun setelah paparan awal. Gejala dari silikosis ini sama seperti silikosis kronis namun progress klinis dan hasil radiografinya lebih cepat.
3. Silikosis akut bisa terjadi pada pekerja yang terpapar pada tingkat debu yang sangat tinggi. Tidak seperti silikosis kronis, silikosis akut berkembang dengan cepat, biasanya dalam hitungan bulan, bukan tahun, setelah terkena paparan. Silikosis akut berdasarkan sejarah terjadi pada pekerjaan yang menghasilkan partikel sedikit namun dengan konsentrasi silika yang tinggi, seperti *sandblasting*, *rock drilling* atau penambangan quartz.

Meningkatnya kejadian kanker pernafasan dan penyakit lain yang disebabkan oleh terhirupnya zat berbahaya seperti debu silika karena rokok masih menjadi perdebatan. Beberapa studi seperti pada studi Banks dkk dalam dokumen NIOSH (2002) menyebutkan bahwa merokok tidak memiliki efek signifikan terhadap etiologi dari silikosis, hal serupa juga dipaparkan oleh Rice dkk (2001) yang menyatakan bahwa merokok tidak memberikan dampak signifikan terhadap kematian akibat kanker atau kumulatif silika. Selain itu, kontaminan lain di tempat kerja bisa memiliki dampak sinergistik dengan debu mineral, yakni, dampak gabungan yang lebih besar dibandingkan paparan terpisah terhadap tiap kontaminan.

Penilaian risiko toksikologi saat ini merupakan isu sentral untuk menaksir risiko dan bahaya dari sebuah zat. Berdasarkan hasil penelitian oleh Mannetje dkk

(2002), bahaya kematian akibat silikosis setelah 45 tahun paparan sebesar $0,05 \text{ mg/m}^3$ dalam analisis menggunakan 6 cohort sebesar 6/1000 pekerja. *Occupational Safety and Health Administration's* (OSHA) Amerika Serikat (AS) menentukan level bahaya yang diperbolehkan hanya sebesar 1/1000 pekerja (Normohammdi, 2016).

Departemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja AS (OSHA) menyebutkan batas paparan silika adalah $0,05 \text{ mg/m}^3$ untuk rata-rata 8 jam kerja. NIOSH merekomendasikan batas paparan silika untuk pekerja sebesar $0,05 \text{ mg/m}^3$ untuk rata-rata kerja 10 jam per hari selama 40 jam kerja per minggu. Pemerintah Indonesia sendiri melalui Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi nomor 13 Tahun 2011 memberikan batasan konsentrasi silika $0,05 \text{ mg/m}^3$ atau konsentrasi $<5\%$ dari total debu yang diekspos ke pekerja.

Nilai ambang batas untuk kristalin silika berdasarkan Permenakertrans nomor 13 tahun 2011 sebesar $0,05 \text{ mg/m}^3$, sedangkan menurut *Threshold Limit Value – Time Weighted Average* (TLV-TWA) ACGIH (2010) adalah $0,025 \text{ mg/m}^3$ dan *Permissible Exposure Limit* (PEL) OSHA tergantung dari persenan kristal silika yang terkandung dalam total debu yang di inhalasi.

2.5 Analisa Statistik

Hampir semua data di dunia dapat dikategorikan sebagai data statistik. Bidang ilmu seperti ekonomi, psikologi, pertanian, kedokteran, hukum dan lainnya memiliki banyak bahasan yang memerlukan analisis statistik. Hitungan dalam statistik sangat banyak, beberapa diantaranya adalah:

a. Analisa Varians (Analysis Of Variance)

Analisa varians atau analysis of variance (ANOVA) dipakai untuk menguji perbedaan lebih dari dua rata-rata populasi. Dalam uji ANOVA, tabel yang digunakan adalah tabel distribusi F. Distribusi F mempunyai ciri-ciri kontinyu, nilainya 0 atau positif, data homogen, distribusi menceng kekanan dan tidak pernah memotong sumbu. Uji ANOVA sama seperti uji t dan uji z bertujuan untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan (jelas)

antara rata-rata hitung beberapa kelompok data. Analisis ANOVA adalah analisis untuk data yang bersifat parametrik.

Analisis varians terdiri dari analisis varians klasifikasi tunggal (*one-way ANOVA*) dan analisis varians klasifikasi ganda (*two-way ANOVA*). Analisis klasifikasi tunggal digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata n sampel, jika pada setiap sampel hanya terdiri dari satu kategori, sedangkan analisis klasifikasi ganda digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata n sampel jika pada setiap sampel terdiri dari dua kategori atau lebih.

Dengan tabel F, dapat ditentukan titik kritis, yaitu untuk menentukan apakah hipotesis (H_0) diterima atau di tolak. Untuk menentukan titik kritis ini, perlu diketahui lebih dulu tingkat nyata (α) dan derajat bebasnya (df) yang terdiri atas df pembilang (numerator) dan df penyebut (denominator).

Asumsi yang digunakan dalam pengujian ANOVA adalah:

1. Populasi yang akan diuji berdistribusi normal.
2. Varians dari populasi-populasi tersebut adalah sama.
3. Sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain.

Jika salah satu dari asumsi diatas tidak terpenuhi maka pengujian ANOVA tidak dapat dilakukan.

b. Uji Hubungan Antar Variabel

Uji statistik pada umumnya meliputi dua kegiatan, yaitu uji beda dan uji asosiasi. Uji beda ingin mengetahui apakah ada perbedaan yang jelas antara rata-rata antara beberapa sampel dengan alat uji seperti uji F, uji t dan uji z. uji asosiasi ingin mengetahui apakah diantara dua variable terdapat hubungan yang signifikan, alat ujinya yaitu korelasi dan regresi.

Uji korelasi akan menganalisis apakah data sampel yang ada menyediakan bukti cukup bahwa ada kaitan antara variable-variabel dalam populasi asal sampel, selanjutnya jika ada kaitan, akan dianalisis seberapa kuat hubungan antar variabel-variabel tersebut. Keeratan hubungan variabel tersebut biasa disebut dengan koefisien korelasi atau korelasi saja.

Ada dua jenis korelasi yang biasa di pelajari yaitu korelasi bivariante dan korelasi parsial. Korelasi bivariante, yaitu pembahasan mengenai besar hubungan antar dua variabel, sedangkan korelasi parsial, yaitu pembahasan mengenai hubungan linear antara dua variabel dengan melakukan kontrol terhadap satu atau lebih variabel tambahan.

Korelasi bivariante memiliki 2 jenis metode analisis korelasi yang digunakan, yaitu:

1. Korelasi Moment Pearson. Korelasi pearson mengukur keeratan hubungan diantara hasil-hasil pengamatan dari populasi yang memiliki dua variabel. Perhitungan ini mensyaratkan bahwa populasi asal sampel mempunyai dua variabel dan terdistribusi normal. Korelasi person banyak digunakan untuk mengukur korelasi data interval atau rasio.
2. Korelasi Peringkat Spearman dan Kendall. Korelasi ini mengukur keeratan hubungan antar peringkat-peringkat dibandingkan hasil pengamatan itu sendiri. Perhitungan korelasi ini bisa digunakan untuk menghitung koefisien korelasi pada data ordinal dan penggunaan asosiasi pada statistik non parametrik.

Penafsiran korelasi pada statistik, menggunakan rentang data: $-1 - 0 - +1$. Korelasi akan semakin kuat saat mendekati angka satu dan sebaliknya akan semakin lemah saat angkanya mendekati nilai nol. Tanda korelasi sendiri menafsirkan apakah hubungan variabel berlawanan (-) atau berhubungan sama (+) (Santoso S, 2010).

2.6 Studi Terdahulu

Studi terdahulu digunakan sebagai referensi dalam analisis risiko silikosis akibat paparan debu silika pada pekerja tambang bawah tanah ini. Ringkasan penelitian terdahulu dapat dilihat di Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya Tentang Silika

| No | Judul dan Penyusun | Tahun | Tujuan | Metode | Hasil |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Hubungan Paparan Debu dan Lama Paparan dengan Gangguan Faal Paru Pekerja Overhaul Power Plant (Kiky Aunillah Yolanda Ardan) | 2015 | Menganalisis hubungan paparan debu total dan lama paparan dengan gangguan faal paru pekerja overhaul power plant di PT. PJB | Penelitian berjenis observasional analitik dengan desain cross sectional -Random sampling dengan 32 pekerja -Analisis hubungan dengan uji Chi Square | Penelitian menemukan hanya paparan debu yang secara signifikan memiliki hubungan dengan gangguan faal paru |
| 2 | <i>Risk Assessment of Exposure to Silica in Buiding Demolition Sites</i> (Mohammad Normohammadi, Hossein Kakooei, Leila Omid, Saeed Yari, Rasul Alimi) | 2016 | Menentukan jumlah pekerja yang terpapar kristal silika dan menganalisis risiko relative silikosis dan kemungkinan kematian akibat kanker paru seumur hidup pada pekerja penghancur bangunan | -Penelitian di lakukan di 4 lokasi -Sampling menggunakan metode NIOSH 7601 -model Marnettej dkk untuk menentukan angka kematian akibat silikosis -Model Rice dkk untuk menentukan kematian akibat kanker paru seumur hidup. | ~ konsentrasi paparan silika untuk pekerja diantara 0,085 - 0,185 mg/m ³ ~ risiko relative silikosis beragam dari terndah 1/1000 menjadi 22,64/1000 pekerja untuk paparan tertinggi ~kematian akibat kanker paru seumur hidup berada di angka 32-60/1000 pekerja terpapar. |

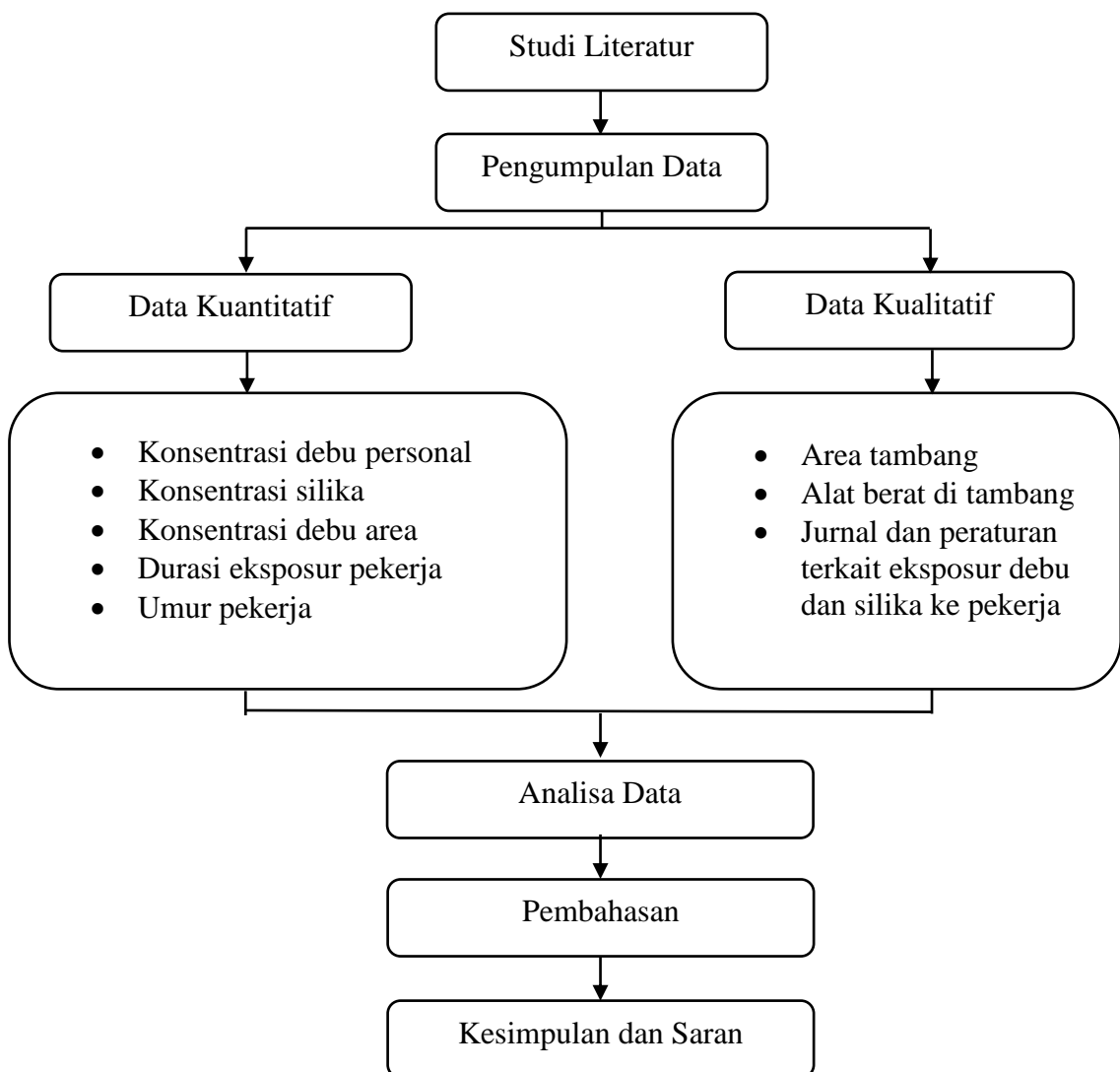
| | | | | | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | <i>Risk Assessment of Workers Exposed to Crystalline Silica Aerosol in the East Zone of Tehran</i> (Mansour R. Azari, Mohammad Rokni, Sousan Salehpour, Yadollah Mehrabi, dkk) | 2009 | Mencari profile dan melakukan penilaian risiko pada pekerja yang terpapar debu silika dengan konsentrasi tinggi di daerah timur kota Tehran. | -Data didapatkan dari sampling 200 pekerja. -Sampling menggunakan metode NIOSH 7602 -Menggunakan model Mannetje dkk untuk menentukan angka kematian akibat silikosis -Model Rice dkk untuk menentukan kematian akibat kanker paru seumur hidup. | Rata-rata geometri paparan di semua industri berkisar antara 0,132 sampai 0,343 mg/m ³ . Angka kematian akibat silikosis berkisar antara 1 sampai 52 orang per 1000 pekerja terpapara. Dengan asumsi perhitungan paparan selama 45 tahun, semua sampel data berada di kategori bahaya untuk kematian akibat silikosis. |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian, mengikuti alur-alur pengerjaan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di daerah kerja tambang bawah tanah PT. X dengan alias tambang bawah tanah B, G, D dan Z di area PT. X yang berada di dataran tinggi Provinsi Papua.

3.3 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu studi kuantitatif berdasarkan hasil paparan debu total yang mengandung mineral silika, terhadap risiko relatif kematian akibat penyakit silikosis terhadap pekerja tambang bawah tanah. Penelitian ini menggunakan data sekunder paparan debu tambang hasil sampling *personal* di PT. X periode 1 Januari 2016 – 31 Januari 2017, sebagai tambahan dilakukan wawancara pekerja dan observasi suasana dan keadaan lokasi di tambang bawah tanah. Data yang diambil merupakan hasil sampling pekerjaan berisiko terpapar debu berdasarkan analisis HIRADC oleh departemen terkait di PT. X.

3.4 Cara Pengumpulan Data

Data yang diambil pada penelitian ini merupakan data sekunder yang dikategorikan menjadi data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berupa data berbentuk angka yang akan di analisis untuk mencari hubungan antar variabel data. Data ini berupa data konsentrasi debu personal, konsentrasi silika dan konsentrasi debu area, umur dan durasi kerja tahun 2016 dan 2017 yang diambil dari dokumen departemen *Industrial Hygiene* (IH) PT. X.

Data kualitatif penelitian ini mencakup lokasi pengambilan sampel data, fungsi masing-masing daerah di dalam tambang, alat berat yang beroperasi di tambang serta studi pustaka tentang jurnal dan peraturan terkait paparan debu dan silika di tempat kerja. Data kualitatif didapatkan dari departemen IH PT. X, observasi di tambang bawah tanah dan pencarian sumber di buku dan internet.

Penentuan konsentrasi debu dan silika di PT. X mengacu pada metode NIOSH, dimana NIOSH 0600 digunakan untuk menghitung jumlah paparan debu *respirable* ke pekerja, sedangkan NIOSH 7500 digunakan untuk menghitung

jumlah paparan kristal silika ke pekerja. Ilustrasi sampling personal yang dilakukan di PT. X dapat dilihat di Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 *Sampling Personal*

Sampling dilakukan menggunakan personal sampling pump yang dipasang filter *Poly Vinyl Chloride* (PVC) diameter 25 mm dengan ukuran pori 5 μm . Prinsip kerja dari sistem ini adalah memompa masuk udara yang berada di area pernafasan (*breathing zone*) pekerja yang kemudian ditampung dalam filter PVC pada *cassette filter holder*. Tujuan sampling paparan di PT. X untuk sampling *personal* sendiri adalah untuk memastikan adanya kondisi *zero leakage* (tidak ada kebocoran) di respirator atau alat pelindung pernapasan lainnya untuk pekerja di dalam tambang bawah tanah. Jenis respirator yang umum digunakan di PT. X adalah 3M *Half Facepiece Reusable Respirator 7500 Series* dipasangkan dengan filter partikulat seri 7093 efisiensi 99,97% (P100 filter). Filter menangkap partikel melalui mekanisme impaksi, intersepsi dan difusi jenis filter ini disebut ditingkatkan dengan serat bermuatan elektrostatik untuk meningkatkan tangkapan partikulat dalam media filter. Studi pustaka dan peraturan terkait lainnya akan mengikuti standar untuk debu *respirable* dan kristal silika.

3.6 Metode Analisa Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis kuantitatif berupa deskriptif dan inferensial. Metode perhitungan data yang diterapkan akan disesuaikan berdasarkan masing-masing tujuan penelitian, yaitu:

1. Perbedaan tingkat konsentrasi debu dan silika pada masing-masing lokasi dan area kerja tambang dianalisis menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*). ANOVA digunakan untuk mengetahui beda rata-rata lebih dari dua sampel serta untuk mengetahui variabel mana saja yang berbeda dengan lainnya. Perhitungan menggunakan *One Way ANOVA* karena mencari perbedaan dalam satu faktor saja dan dilakukan di dalam *software IBM SPSS Statistic Data Editor*.
2. Analisis hubungan antara lama kerja dan umur dengan tingkat konsentrasi debu dan silika menggunakan metode Korelasi Serman dan Kendall. Metode ini dipilih untuk analisis data kuantitatif data dalam penelitian ini karena uji korelasi Serman dan Kendall dapat digunakan untuk pengukuran korelasi pada statistik non parametrik. Tabel nilai korelasi dari metode Serman dan Kendal dapat dilihat di dalam Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Koefisien Hubungan Korelasi Serman dan Kendall

| Koefisien | Kekuatan Hubungan |
|-------------|-----------------------------|
| 0 | Tidak ada hubungan |
| 0,01 - 0,09 | Hubungan kurang berarti |
| 0,10 - 0,29 | Hubungan lemah |
| 0,30 - 0,49 | Hubungan moderat |
| 0,50 - 0,69 | Hubungan kuat |
| 0,70 - 0,89 | Hubungan sangat kuat |
| >0,90 | Hubungan mendekati sempurna |

3. Analisa data menggunakan model Mannelje dkk (2002) yang merupakan metode untuk menaksir tingkat kematian dari silikosis. Pada Model Mannelje dkk, eksposur kumulatif debu silika ($\text{mg/m}^3/\text{tahun}$) berkisar antara 0-0,99 sampai >28,10 dengan nilai relatif kematian dari silikosis berkisar antara 1,00 – 63,63 (lihat Tabel 3.2), menggunakan 45 tahun

sebagai lama eksposur kumulatif untuk paparan silika dan umur pekerja terpapar berkisar dari umur 20 sampai 65 tahun.

Perhitungan konsentrasi paparan kumulatif silika dipengaruhi oleh konsentrasi silika terukur dalam suatu pekerjaan (C_i) dan lama kerja/durasi paparan (T_i).

$$\text{Paparan Kumulatif Silika} = \sum(C_i \times T_i) \dots\dots\dots (3.1)$$

Penelitian Mannerje sendiri di dapat dari hasil analisis menggunakan metode analisis pooled dengan 6 Cohorts dengan jumlah sampel pekerja sebesar 18364 orang dan data kematian akibat silikosis terlapor sebesar 170 orang pekerja. Tabel penentuan nilai *Relative Risk* silikosis dalam penelitian Mannerje dapat dilihat di Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Nilai Paparan Spesifik dan Nilai Rasio Kematian dari Silikosis

| Paparan Kumulatif Kristal Silika (mg/m ³ /tahun) | Rasio Taksiran dengan Penyesuaian | |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| | RR | (95% CI) |
| 0 – 0,99 | 1 | Referent |
| 0,99 – 1,97 | 3,39 | 1,42 – 8,08 |
| 1,97 – 2,87 | 6,22 | 2,56 – 15,12 |
| 2,87 – 4,33 | 9,40 | 3,71 – 23,80 |
| 4,33 – 7,12 | 13,69 | 5,04 – 37,18 |
| 7,12 – 9,58 | 22,64 | 7,88 – 65,10 |
| 9,58 – 13,21 | 23,97 | 8,05 – 71,32 |
| 13,21 – 15,89 | 40,25 | 13,25 – 122,3 |
| 15,89 – 28,10 | 25,11 | 8,09 – 77,91 |
| > 28,10 | 63,63 | 19,87 – 203,8 |
| Total | - | - |

(Sumber: Mannerje dkk, 2002)

Penentuan risiko relatif silikosis dari pekerja tambang ditentukan setelah perhitungan kumulatif eksposur berdasarkan rumus (3.1), dengan melihat Tabel 3.2 tingkat kematian dari pekerja yang terpapar debu silika, dan risiko relatif (RR) dari kejadian silikosis terhadap pekerja berdasarkan konsentrasi dari paparan kumulatif silika.

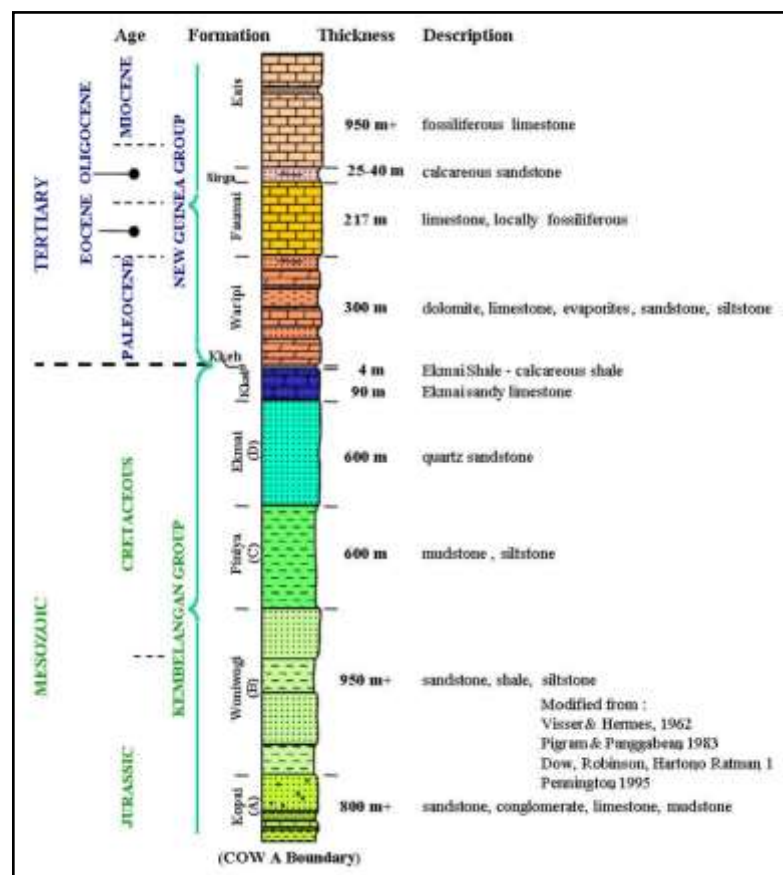
Metode yang di perkenalkan oleh Mannetje pada tahun 2002 ini sendiri merupakan metode yang paling praktikal untuk menganalisis kematian akibat silikosis. Penelitian dari Mannetje merupakan pioneer penelitian untuk penilaian risiko kematian akibat silikosis (Azari dkk, 2009; Hedlun dkk, 2008), selain itu metode ini telah di akui oleh *International Agency for Reasearch on Cancer* (IARC) sebagai tabel penentuan kematian akibat silikosis (Steenland, 2005). Penelitian serupa yang mencari risiko kematian untuk silikosis dilakukan oleh Steenland (2005) dan penelitian dari Hedlun dkk (2008) berdasarkan data dari kematian pekerja tambang emas akibat silikosis di Swiss yang hasilnya masih serupa dengan penelitian yang di lakukan oleh Mannetje dkk (2002).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Daerah Penelitian

Tambang Bawah Tanah (TBT) PT. X terletak di ketinggian rata-rata 3.000 m dpal. Level terendah di TBT PT X berada di level 2470 m dpal di tambang B dan level tertinggi berada di level 3388 m dpal di tambang Z. Secara umum, kondisi geologi di area penambangan PT. X termasuk ke dalam zona penyusupan (*subduction*). Area tersebut berada pada batas tumbukan antara lempeng Australia dan lempeng Indo - Pasifik yang bergerak ke arah barat daya. Secara regional, stratigrafi (lapisan batuan) di sekitar daerah penelitian dibagi dalam dua kelompok besar yang terdiri dari kelompok Kembelangan dan kelompok New Guinea *Limestone*. Peta penampang geologi PT. X dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Stratigrafi Batuan di Daerah Tambang PT. X

Wilayah TBT PT. X merupakan wilayah dengan curah hujan tinggi dan suhu udara dingin, semua TBT memiliki area jalur air tanah sehingga beberapa area TBT basah dengan kelembapan yang cukup tinggi. Parameter fisika lingkungan kerja TBT di PT. X antara lain temperatur di dalam TBT berkisar antara 17,1⁰C sampai 23,1⁰C, kelembapan berkisar antara 58,3% sampai 75,6%, kecepatan angin berkisar antara 0 m/s sampai 1,5 m/s dan konsentrasi oksigen normal dengan rata-rata sebesar 20,8%.

PT. X saat ini memiliki 4 TBT yang aktif beroperasi. Karakteristik masing-masing TBT antara lain:

1. TBT B sedang dalam masa produksi, pengembangan, konstruksi dan perbaikan tambang. Sistem ventilasi di TBT B sudah terpasang di semua lokasi tambang.
2. TBT D sedang dalam masa produksi, pengembangan, konstruksi dan perbaikan tambang. Tambang D memiliki banyak kegiatan peledakan primer (peledakan skala besar) dan sekunder (peledakan tambahan) di daerah *undercut* (produksi) sehingga wilayah kerja menjadi lebih berdebu. Sistem ventilasi umum sudah mencakup semua lokasi kerja di dalam tambang.
3. TBT G sedang dalam masa pengembangan dan konstruksi tambang. TBT G merupakan tambang baru yang memiliki wilayah yang luas dengan jumlah pekerja yang banyak. Karena masih dalam pengembangan beberapa sistem masih belum sempurna di tambang G dan adanya kegiatan yang banyak membuat kegiatan sampling dilakukan lebih sering di TBT G.
4. TBT Z sedang dalam masa produksi dan perbaikan tambang. TBT Z merupakan tambang yang paling lama beroperasi dan memiliki produksi paling tinggi di TBT PT. X. TBT Z tidak memiliki kegiatan peledakan dan produksi batuananya berbentuk lumpur (*wet mud*) sehingga area kerja memiliki tingkat debu yang rendah.

Metode penambangan yang di gunakan di PT. X ada dua yaitu *Block Caving* dan *Stoping/Back-Fill*. *Blok caving* digunakan saat bentuk *orebody* (batuan berisi mineral) besar dan berada di satu lokasi yang sama sehingga peledakan batuan di dilakukan secara terpusat dibawah *orebody*, metode penambangan ini dilakukan di TBT D, TBT G dan TBT Z. *Stoping/Back-fill* dilakukan saat *orebody* menyebar di berbagai lokasi sehingga peledakan di lakukan di berbagai tempat dengan skala kecil, lubang bekas tambang akan ditutup dengan semen saat batuan sudah selesai ditambang. Metode ini hanya di lakukan di TBT B yang memiliki kadar mineral yang tinggi karena biaya metode penambangan yang mahal.



Gambar 4.2 Kondisi area *Haulage* di Tambang G

4.2 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di 4 TBT PT. X di provinsi Papua Barat. Pengambilan data paparan debu tambang di PT. X periode 1 Januari 2016 – 31 Januari 2017 didapatkan 103 data sampling debu *personal* dari 23 laporan sampling tahun 2016 dan 4 laporan sampling tahun 2017. Semua data terdiri dari 61 data dari TBT G, 31 data dari TBT D, 7 data dari TBT Z, dan 4 data dari TBT B. Persebaran karakteristik sampel pekerja seperti umur, lama kerja dan jenis pekerjaan dapat di lihat di Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Deskripsi Pekerja TBT PT. X

| No | Karakteristik Pekerja | N | % |
|----|--------------------------------|----|------|
| 1 | Umur | | |
| | 21 - 30 tahun | 19 | 18,4 |
| | 31 - 40 tahun | 54 | 52,4 |
| | 41 – 50 tahun | 27 | 26,2 |
| | > 50 | 3 | 2,9 |
| | Umur rata-rata : 37 Tahun | | |
| 2 | Lama Kerja | | |
| | 1 - 5 tahun | 51 | 49,5 |
| | 6 - 10 tahun | 44 | 42,7 |
| | 11 - 15 tahun | 5 | 4,9 |
| | > 15 | 3 | 2,9 |
| | Lama kerja rata-rata : 6 Tahun | | |
| 3 | Jenis Pekerjaan | | |
| | Operator Loader | 14 | 13,6 |
| | Operator Jumbo | 9 | 8,7 |
| | Helper Jumbo | 10 | 9,7 |
| | Operator Truck AD | 9 | 8,7 |
| | Operator Cabolter | 3 | 2,9 |
| | Operator Chute | 3 | 2,9 |
| | Operator Backhoe | 2 | 1,9 |
| | Operator Drill | 5 | 4,9 |
| | Operator Lain | 4 | 3,9 |
| | Crew Semen | 11 | 10,7 |
| | Crew Pekerjaan Sipil | 26 | 25,2 |
| | Crew Wielder | 7 | 6,8 |

Seperti yang terlihat dalam Tabel 4.1 di atas, 52,4% pekerja di TBT PT. X yang menjadi sampel penelitian merupakan pekerja yang berusia antara 31- 40 tahun, dengan jumlah pekerja berumur 10 – 30 tahun sebesar 18,4%. Terdapat 42,7% sampel atau sebesar 44 pekerja sudah bekerja di dalam TBT selama lebih dari 6 tahun. Untuk jenis pekerjaan, sampel terbanyak berasal dari pekerjaan sipil di dalam tambang bawah tanah, pekerjaan yang dilakukan seperti pembangunan jalan akses dan pekerjaan penghancuran batuan. Operator alat berat menyusun

57,3% dari keseluruhan data sedangkan pekerjaan crew pekerja yang berkerja di satu lokasi menyusun 42,7% dari keseluruhan data.

4.2.1 Distribusi Sebaran Debu di dalam Tambang Bawah Tanah

Pada penelitian ini, jumlah sampel yang digunakan untuk melakukan analisis tingkat paparan debu pekerja tambang terdiri dari 103 sampel pekerja yang diambil pada empat lokasi tambang yang berbeda. Sampling *personal* dilakukan menggunakan metode NIOSH 0600 yang merupakan metode untuk mengukur jumlah *partikulat respirable* di udara, ambang batas *partikulat respirable* di Indonesia berdasarkan Per Menakertrans No. 13 tahun 2013 adalah 3 mg/m^3 untuk 8 jam pengukuran.

Ringkasan dari data paparan debu di TBT PT. X dapat dilihat menggunakan frekuensi terpusat dari data paparan debu seperti rata-rata, median, modus, dan persentil konsentrasi paparan debu. Frekuensi terpusat dari data debu dapat dilihat di Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Tabel Frekuensi Konsentrasi Debu

| Frekuensi Terpusat` | Konsentrasi Debu (mg/m^3) | |
|---------------------|-----------------------------------------|--------|
| Rata-rata | 0,9255 | |
| Median | 0,7700 | |
| Modus | 0,7700 | |
| Sum | 95,330 | |
| Persentil | 25 | 0,4300 |
| | 50 | 0,7700 |
| | 75 | 1,1300 |

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, dapat dilihat bahwa rata-rata konsentrasi paparan debu di TBT PT. X berada di angka $0,9255 \text{ mg/m}^3$, angka ini berada di bawah nilai ambang batas sebesar 3 mg/m^3 . Modus atau data terbanyak di data paparan debu TBT PT.X berada di angka $0,77 \text{ mg/m}^3$ sehingga sebagian besar pekerja terpapar debu dalam jumlah yang lebih kecil dari peraturan yang berlaku.

A. Analisis Konsentrasi Debu Berdasarkan Lokasi Tambang

Salah satu tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh perbedaan lokasi tambang terhadap tingkat konsentrasi debu pada pekerja tambang. Hipotesis yang digunakan yaitu “perbedaan lokasi tambang berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi paparan debu pekerja tambang”. Dalam hipotesis tersebut terdapat dua variabel utama, yaitu lokasi tambang sebagai variabel bebas yang memiliki ukuran skala nominal, yakni tambang B, tambang D, tambang G, dan tambang Z; selanjutnya konsentrasi debu sebagai variabel terikat yang mempunyai skala rasio. Hipotesis pada analisis debu ini adalah:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan tingkat konsentrasi debu pada pekerja tambang antar lokasi tambang.

H_a : Terdapat perbedaan tingkat konsentrasi debu pada pekerja tambang antar lokasi tambang.

Untuk mengetahui perbedaan ataupun persamaan konsentrasi debu pada masing-masing lokasi tambang, dapat diketahui dengan menggunakan deskriptif statistik pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Deskriptif Konsentrasi Debu antar Lokasi Tambang

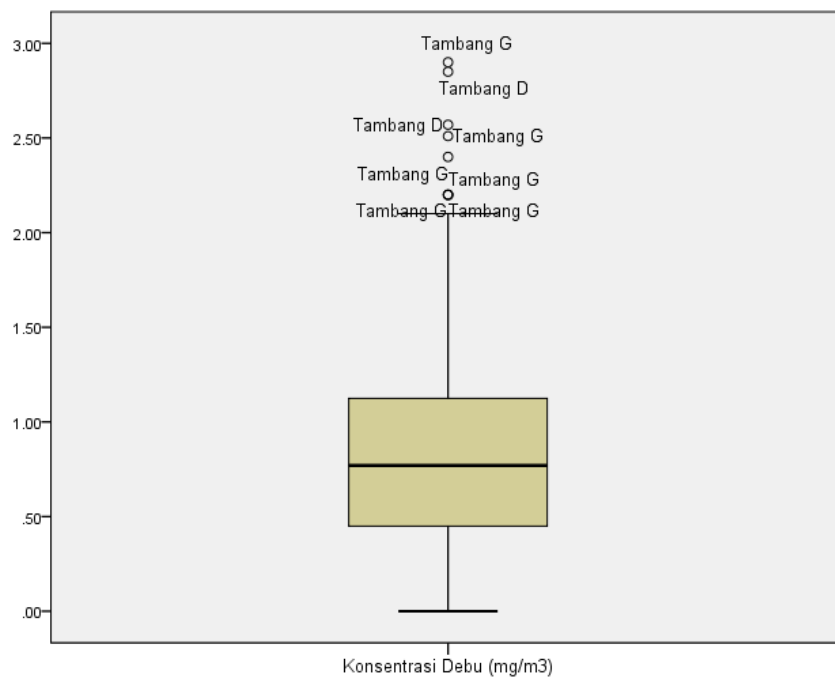
| Lokasi TBT | N | Rata-rata (mg/m ³) | Std. Deviation | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|------------|-----|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Tambang B | 4 | 0,647 | 0,250 | 0,248 | 1,046 | 0,410 | 0,940 |
| Tambang D | 31 | 0,860 | 0,677 | 0,611 | 1,108 | 0,000 | 2,850 |
| Tambang G | 61 | 1,013 | 0,671 | 0,841 | 1,185 | 0,040 | 2,900 |
| Tambang Z | 7 | 0,607 | 0,393 | 0,243 | 0,970 | 0,210 | 1,320 |
| Total | 103 | 0,925 | 0,653 | 0,798 | 1,053 | 0,000 | 2,900 |

Jumlah sampel yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi debu pekerja tambang pada masing-masing lokasi tambang adalah sebanyak 103, dengan jumlah sampel terbanyak berada di lokasi tambang G yaitu 61 sampel. Jumlah sampling dilakukan berdasarkan dari hasil analisis *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRDC), tambang G merupakan tambang bawah tanah dengan pekerjaan paling tinggi di PT. X karena adanya konstruksi dan pengembangan secara besar-besaran, selain itu ventilasi sebagai

pengendali pencemaran udara belum terpasang secara keseluruhan di area kerja tambang G.

Berdasarkan Tabel 4.3, ditinjau dari rata-rata konsentrasi debu antar lokasi tambang (TBT B, D, G, dan Z), masing-masing lokasi memiliki rata-rata yang berbeda. Rata-rata paparan konsentrasi debu yang diterima pekerja tertinggi, yaitu di lokasi tambang G yang dalam tahap pengembangan tambang dengan nilai sebesar $1,0136 \text{ mg/m}^3$. Rata-rata paparan konsentrasi debu yang diterima pekerja yang paling rendah berada di lokasi tambang Z sebesar $0,6071 \text{ mg/m}^3$ karena bentuk batuan hasil produksi berupa lumpur (*wet muck*) sehingga sumber debu di tambang Z lebih sedikit dari tambang lain.

Untuk mengetahui gambaran tentang tingkat penyebaran konsentrasi debu di TBT PT. X dapat di lihat di grafik Box plot di Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Penyebaran Konsentrasi Debu di TBT PT. X

Nilai Presentil dari data konsentrasi debu pada Gambar 4.3 diatas masing-masing $P_{i_{25}}$ sebesar $0,43 \text{ mg/m}^3$, $P_{i_{50}}$ sebesar $0,77 \text{ mg/m}^3$, $P_{i_{75}}$ sebesar $1,13 \text{ mg/m}^3$, berdasarkan grafik diatas ada 8 *outlier* dengan nilai konsentrasi paparan $2,20 \text{ mg/m}^3$ sampai paparan $2,90 \text{ mg/m}^3$. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat data *outlier* (data yang berada $1,5x$ diatas kotak) kebanyakan berada di tambang G dan

tambang D, kedua tambang ini merupakan lokasi tambang yang memiliki kegiatan yang sangat banyak, untuk tambang D kegiatan peledakan dilakukan setiap hari untuk produksi dan pengembangan sedangkan di tambang G merupakan tambang yang relatif baru sehingga belum semua area kerja memiliki sistem ventilasi yang baik, selain itu lalu lintas kendaraan dan pekerjaan di tambang G berjumlah sangat banyak sehingga debu akan berjumlah banyak di beberapa area kerja.

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas dapat diketahui bahwa pada semua lokasi tambang, rata-rata tingkat paparan konsentrasi debu pekerja berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13 Tahun 2011 (Per Menakertrans no. 13 tahun 2011) tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja sebesar 3 mg/m^3 untuk *partikulat respirable*.

Untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara keempat lokasi tambang, maka selanjutnya dilakukan uji ANOVA (*Analysis of Variance*). ANOVA digunakan untuk pengujian lebih dari dua sampel, yakni untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan (jelas) antara rata-rata hitung beberapa kelompok data. Asumsi dalam ANOVA yang harus dipenuhi sebelum analisis data dapat dilakukan, yaitu (1) sampel diambil secara acak, (2) data terdistribusi normal, (3) varians antar sampel homogen. Dalam penelitian ini, asumsi pertama telah dipenuhi karena sampel diambil secara acak dalam populasi pekerja tambang bawah tanah. Selanjutnya untuk mengetahui bahwa data terdistribusi normal, dilakukan uji normalitas data yang dapat dilihat di Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Uji Normalitas Debu

| Variabel | Data Awal Uji Kolmogorov Smirnov | | Data Transformasi Uji Kolmogorov Smirnov | |
|------------------|----------------------------------|-------|------------------------------------------|-------|
| | Nilai Statistik | Sig | Nilai Statistik | Sig |
| Konsentrasi Debu | 0,146 | 0,000 | 0,058 | 0,200 |

Untuk melihat data tersebut normal atau tidak, dapat melihat nilai signifikansi berdasarkan uji Kolmogorov Smirnov dari Tabel 4.4 Apabila nilai signifikansi memiliki nilai $> 0,05$ maka data tersebut dapat dikatakan terdistribusi normal.

Sedangkan jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka data tersebut tidak terdistribusi normal, sehingga perlu dilakukan perlakuan khusus pada data tersebut sehingga data tersebut dapat terdistribusi normal. Pada Tabel 4.4 diatas, uji normalitas pada data awal debu menunjukkan nilai signifikan (Sig.) lebih kecil dari $0,05$ ($0,000 < 0,05$) sehingga dapat dikatakan bahwa data tidak normal. Untuk melakukan uji ANOVA syaratnya adalah data terdistribusi normal sehingga dilakukan perlakuan khusus berupa transformasi data menggunakan nilai logaritma natural (ln). setelah dilakukan pengujian normalitas dengan data transformasi di dapat nilai signifikan $0,20$ yang lebih besar dari $0,05$ sehingga data transformasi debu terdistribusi normal.

Pengujian asumsi yang ketiga, yaitu homogenitas data dilakukan dengan menggunakan uji Statistik Levene pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Tes Homogenitas Varians Konsentrasi Debu (mg/m^3) antar Lokasi Tambang

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------------------|-----|-----|-------|
| 0,498 | 3 | 97 | 0,685 |

Hasil analisis pada Tabel 4.4 digunakan untuk menguji asumsi ANOVA yang ketiga, yaitu apakah keempat kelompok sampel mempunyai varians yang sama. Dasar pengambilan keputusan menggunakan nilai probabilitas, yakni apabila nilai probabilitas (Sig.) $> 0,05$, maka dapat dikatakan bahwa keempat varians populasi adalah identik, namun apabila nilai probabilitas (Sig.) $< 0,05$, dapat dikatakan bahwa keempat varians populasi adalah tidak identik sehingga ANOVA tidak dapat dilakukan. Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa nilai probabilitas sebesar $0,685$. Karena probabilitas $> 0,05$, maka dapat diputuskan bahwa keempat varians adalah sama atau identik. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi.

Analisis selanjutnya, yaitu pembuktian hipotesis dengan menggunakan ANOVA dapat ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Hasil ANOVA Konsentrasi Debu antar Lokasi Tambang

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|-------|-------|
| Between Groups | 1,374 | 3 | 0,458 | 0,804 | 0,494 |
| Within Groups | 55,241 | 97 | 0,569 | | |
| Total | 56,615 | 100 | | | |

Hasil analisis statistik ANOVA pada Tabel 4.6 diatas, menunjukkan bahwa nilai Sig. adalah 0,494 atau probabilitas diatas 0,05 ($0,494 > 0,05$) sehingga diputuskan bahwa H_0 diterima atau tidak terdapat perbedaan yang nyata tingkat konsentrasi debu pada pekerja tambang antar lokasi tambang. Kenyataan ini menunjukkan bahwa perbedaan lokasi tambang tidak berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi debu pekerja tambang. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh standar yang ditetapkan oleh tambang X pada setiap lokasi tambang yang dikelola memiliki kesamaan sehingga tingkat keamanan bagi kesehatan pekerja tambang di lokasi mana pun tidak berbeda dan tingkat konsentrasi debu berada di bawah standar baku aman yang ditetapkan.

B. Analisis Konsentrasi Debu Berdasarkan Area Kerja Tambang

Untuk memperoleh gambaran secara menyeluruh tentang perbedaan konsentrasi debu pekerja tambang, maka selain analisis antar lokasi tambang, pada penelitian ini juga dilakukan analisis perbedaan konsentrasi debu antar area kerja. Variabel area kerja dikelompokkan menjadi 5 (lima) kelompok utama, yaitu:

1. Area produksi merupakan area tambang dimana peledakan batuan, penghancuran batuan, dan pengambilan batuan dilakukan.
2. Area *haulage*, merupakan area pengangkutan dan transfer batuan dari daerah produksi ke dalam kendaraan pengangkut.
3. Akses jalan dan umum, area jalan untuk lalu lintas kendaraan di dalam tambang.

4. Ventilasi, area yang diperuntukkan untuk pengaturan sirkulasi udara di dalam tambang, mencakup area *intake* dan *exhaust* dan *Fan Chamber*.
5. Fasilitas tambang, area untuk mendukung kelangsungan tambang mencakup area *warehouse*, *magazine*, terminal dan konveyor.

Analisis dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan tingkat konsentrasi debu pekerja tambang berdasarkan perbedaan area kerja. Data konsentrasi debu berdasarkan area kerja dapat dilihat pada lampiran 1 Berdasarkan paparan diatas, maka hipotesis yang dapat diajukan, yaitu:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan tingkat konsentrasi debu pada pekerja tambang antar area tambang

H_a : Terdapat perbedaan tingkat konsentrasi debu pada pekerja tambang antar area tambang

Untuk mengetahui perbedaan ataupun persamaan konsentrasi debu pada masing-masing area tambang, dapat diketahui dengan menggunakan deskriptif statistik pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Deskriptif Konsentrasi Debu antar Area Kerja Tambang

| Area Kerja Tambang | N | Rata-rata (mg/m ³) | Std. Deviation | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|-------------------------|-----|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Area Produksi | 23 | 1,340 | 0,704 | 1,036 | 1,644 | 0,390 | 2,850 |
| Area Haulage | 17 | 0,955 | 0,644 | 0,624 | 1,286 | 0,410 | 2,900 |
| Akses Jalan dan Umum | 25 | 0,800 | 0,557 | 0,570 | 1,030 | 0,000 | 2,200 |
| Ventilasi | 17 | 0,673 | 0,588 | 0,370 | 0,975 | 0,110 | 2,570 |
| Fasilitas Tambang | 21 | 0,800 | 0,599 | 0,527 | 1,073 | 0,000 | 2,510 |
| Total | 103 | 0,925 | 0,653 | 0,798 | 1,053 | 0,000 | 2,900 |

Ditinjau dari rata-rata konsentrasi debu antar area tambang, berdasarkan tabel 4.7, semua area memiliki rata-rata paparan di bawah 1 mg/m³ kecuali area produksi. Nilai rata-rata sama persis berada pada area akses jalan dan umum dengan area fasilitas tambang, yaitu sebesar 0,800 mg/m³ dan 0,800 mg/m³. Rata-rata paparan konsentrasi debu yang diterima pekerja tertinggi berada di area

produksi sebesar $1,340 \text{ mg/m}^3$, hal ini dikarenakan area produksi memiliki kegiatan yang akan menjadi sumber debu yang sangat banyak, sumber debu di area produksi seperti kegiatan transportasi alat berat, pengangkutan, konstruksi, pengeboran dan kegiatan peledakan. Sedangkan konsentrasi debu pekerja tambang yang paling rendah berada di area ventilasi sebesar $0,672 \text{ mg/m}^3$ yang merupakan area pemasok udara bersih untuk seluruh area tambang. Selain itu, simpangan baku antar area tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, meskipun nilainya bervariasi antara $0,557 \text{ mg/m}^3$ sampai $0,704 \text{ mg/m}^3$.

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi debu area, area kerja dengan konsentrasi debu tertinggi berada di area kerja produksi di area pekerjaan panel untuk ekstraksi batuan di tambang D dengan rata-rata konsentrasi debu $1,07 \text{ mg/m}^3$, konsentrasi terendah untuk debu didapatkan di area fasilitas tambang di tambang B, dengan rata-rata konsentrasi sebesar $0,33 \text{ mg/m}^3$. Sama seperti lokasi tambang, konsentrasi debu berdasarkan hasil pengukuran area tidak menunjukkan perbedaan yang jauh dengan hasil pengukuran personal. Kesamaan konsentrasi dapat menguatkan anggapan bahwa konsentrasi debu ambien di udara tambang memang berada di konsentrasi paparan rendah.

Analisis selanjutnya yaitu ANOVA untuk mengetahui apakah konsentrasi debu antar area tambang memiliki perbedaan yang signifikan. Sebelum ANOVA dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengujian homogenitas varians sampel yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Tes Homogenitas Varians Konsentrasi Debu antar Area Kerja Tambang

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------------------|-----|-----|-------|
| 1,189 | 4 | 96 | 0,320 |

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai probabilitas (Sig.) sebesar 0,320. Karena probabilitas $> 0,05$ ($0,320 > 0,05$), maka dapat diputuskan bahwa varians antar kelima area tambang adalah sama atau identik. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Hasil uji ANOVA area tambang dapat dilihat di tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Hasil ANOVA Konsentrasi Debu antar Area Tambang

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|-------|-------|
| Between Groups | 7,931 | 4 | 1,983 | 3,910 | 0,006 |
| Within Groups | 48,684 | 96 | 0,507 | | |
| Total | 56,615 | 100 | | | |

Hasil analisis statistik ANOVA pada tabel 4.9 diatas menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara rata-rata konsentrasi debu pekerja tambang antar area tambang dengan nilai probabilitas (Sig.) sebesar 0,006 atau probabilitas jauh di bawah 0,05 ($0,006 < 0,05$) sehingga diputuskan bahwa H_0 ditolak. Kenyataan ini menunjukkan bahwa perbedaan area tambang memiliki pengaruh terhadap tingkat konsentrasi debu pekerja tambang. Selanjutnya perlu ditelaah lebih mendalam, pada area tambang mana saja yang berbeda, apakah terjadi perbedaan konsentrasi debu antara area produksi dengan *haulage* atau yang lainnya. Analisis perbedaan konsentrasi debu yang signifikan di antara kelima area kerja dilakukan dengan menggunakan analisis *Tukey HSD*, yang ditunjukkan pada Tabel 4.10. berikut:

Tabel 4.10 Tabel Komparasi Antara Area Kerja

| (I) Area kerja | (J) Area kerja | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|----------------------|----------------------|-----------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| Area Produksi | Area Haulage | 0,34320 | 0,22777 | 0,561 | -0,2901 | 0,9765 |
| | Akses Jalan dan Umum | 0,57773 | 0,20780 | 0,050 | 0,0000 | 1,1555 |
| | Ventilasi | 0,81938* | 0,22777 | 0,005 | 0,1861 | 1,4527 |
| | Fasilitas Tambang | 0,58567 | 0,21773 | 0,063 | -0,0197 | 1,1910 |
| Area Haulage | Area Produksi | -0,34320 | 0,22777 | 0,561 | -0,9765 | 0,2901 |
| | Akses Jalan dan Umum | 0,23453 | 0,22575 | 0,837 | -0,3931 | 0,8622 |
| | Ventilasi | 0,47618 | 0,24426 | 0,299 | -0,2029 | 1,1553 |
| | Fasilitas Tambang | 0,24247 | 0,23492 | 0,840 | -0,4107 | 0,8956 |
| Akses Jalan dan Umum | Area Produksi | -0,57773 | 0,20780 | 0,050 | -1,1555 | 0,0000 |
| | Area Haulage | -0,23453 | 0,22575 | 0,837 | -0,8622 | 0,3931 |
| | Ventilasi | 0,24165 | 0,22575 | 0,821 | -0,3860 | 0,8693 |
| | Fasilitas Tambang | 0,00794 | 0,21561 | 1,000 | -0,5915 | 0,6074 |

| | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-----------|---------|-------|---------|---------|
| Ventilasi | Area Produksi | -0,81938* | 0,22777 | 0,005 | -1,4527 | -0.1861 |
| | Area Haulage | -0,47618 | 0,24426 | 0,299 | -1,1553 | 0.2029 |
| | Akses Jalan dan Umum | -0,24165 | 0,22575 | 0,821 | -0,8693 | 0.3860 |
| | Fasilitas Tambang | -0,23371 | 0,23492 | 0,857 | -0,8869 | 0.4194 |
| Fasilitas Tambang | Area Produksi | -0,58567 | 0,21773 | 0,063 | -1,1910 | 0.0197 |
| | Area Haulage | -0,24247 | 0,23492 | 0,840 | -0,8956 | 0.4107 |
| | Akses Jalan dan Umum | -0,00794 | 0,21561 | 1,000 | -0,6074 | 0.5915 |
| | Ventilasi | 0,23371 | 0,23492 | 0,857 | -0,4194 | 0.8869 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Berdasarkan tabel diatas, dengan melihat ada tidaknya tanda * pada kolom *Mean Difference*, perbedaan nyata antar area tambang berdasarkan tingkat signifikansi 0,05, dapat dilihat bahwa:

- a. Konsentrasi debu pada area produksi berbeda secara jelas dengan area ventilasi, namun tidak berbeda jelas dengan area *haulage*, akses jalan umum dan fasilitas tambang.
- b. Konsentrasi debu pada area *haulage* tidak berbeda secara jelas dengan area produksi, area akses jalan dan umum, ventilasi, dan fasilitas tambang.
- c. Konsentrasi debu pada area akses jalan dan umum tidak berbeda secara jelas dengan area produksi, area *haulage*, ventilasi, dan fasilitas tambang.
- d. Konsentrasi debu pada area ventilasi berbeda secara jelas dengan area produksi, namun tidak berbeda jelas dengan area *haulage*, akses jalan dan umum, dan fasilitas tambang.
- e. Konsentrasi debu pada area fasilitas tambang tidak berbeda secara jelas dengan area produksi, area *haulage*, akses jalan dan umum, dan ventilasi.

Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa konsentrasi debu pada area produksi memiliki perbedaan paling signifikan dengan area ventilasi dibandingkan dengan area lainnya. Selain itu, rata-rata konsentrasi debu di area produksi paling tinggi dibandingkan dengan area lainnya, hal ini disebabkan karena pada area produksi memiliki banyak kegiatan yang berhubungan dengan

penghancuran batuan dalam tahap *blasting* dan area yang dilewati banyak alat berat. Selisih rata-rata konsentrasi debu tertinggi terjadi pada area produksi dengan area ventilasi karena sirkulasi udara di area ventilasi sangat baik sehingga konsentrasi debu menjadi sangat rendah, sedangkan selisih konsentrasi debu terendah terjadi pada area produksi dengan area *haulage* atau dapat dikatakan bahwa konsentrasi debu tertinggi setelah area produksi adalah di area *haulage*. Hal ini terjadi karena adanya kegiatan *haulage* atau pengangkutan bahan galian yang sudah hancur, area *haulage* memiliki tingkat mobilitas kegiatan alat berat tertinggi di dalam tambang bawah tanah PT. X.

C. Konsentrasi Debu Area Kerja Tambang

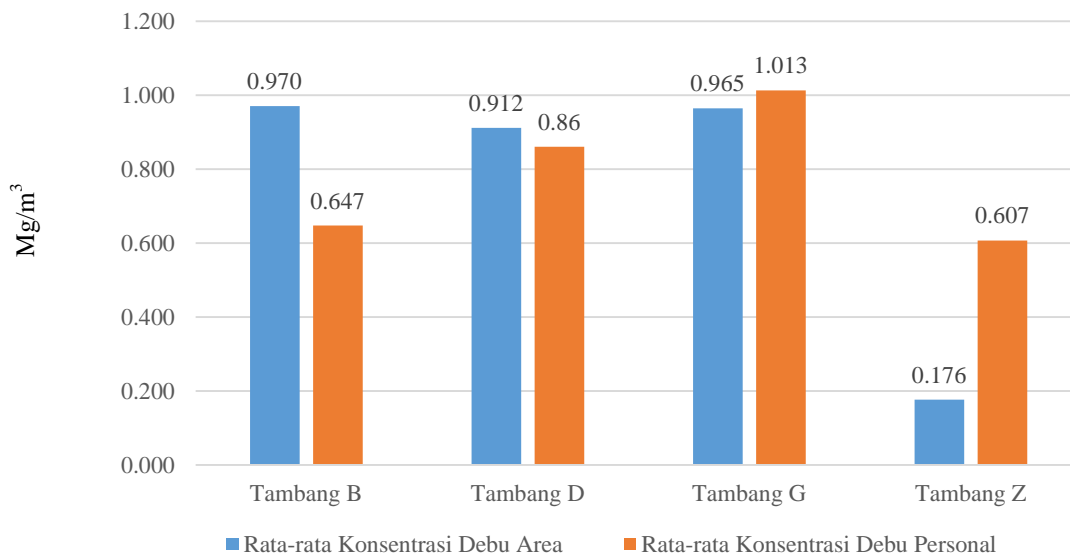
Konsentrasi paparan debu yang di terima oleh pekerja akan berbeda dengan konsentrasi debu yang ada di area kerja. Oleh karena itu sebagai pembandingan, di ambil juga data konsentrasi debu hasil pengukuran *area* tahun 2016 – 2017 pada tiap lokasi tambang yang menjadi daerah kerja untuk sampel di hasil pengukuran personal. Pengukuran debu *area* bertujuan untuk mengetahui konsentrasi debu di suatu wilayah selama pekerjaan berlangsung yang di ukur selama 8 jam kerja. Sama seperti pengukuran debu *personal*, pengukuran debu *area* juga menggunakan metode pengukuran NIOSH NMAM 0600 untuk debu.

PT. X menggunakan pengukuran *area* untuk mengetahui kualitas lingkungan yang ada di PT. X, pada tahun 2016 – 2017 pengukuran debu *area* lebih sedikit dilakukan di bandingkan pengukuran *personal* karena konsentrasi debu di area kerja di PT. X sudah memenuhi baku mutu sehingga frekuensi pengukuran menjadi satu kali dalam dua tahun. Konsentrasi debu *area* yang di tampilkan di sesuaikan dengan ketersediaan data dan area kerja sampel yang datanya di ambil di sampling personal. Untuk mengetahui konsentrasi debu hasil pengukuran di dalam tambang di PT. X dapat dilihat di Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Konsentrasi Debu Hasil Pengukuran Area

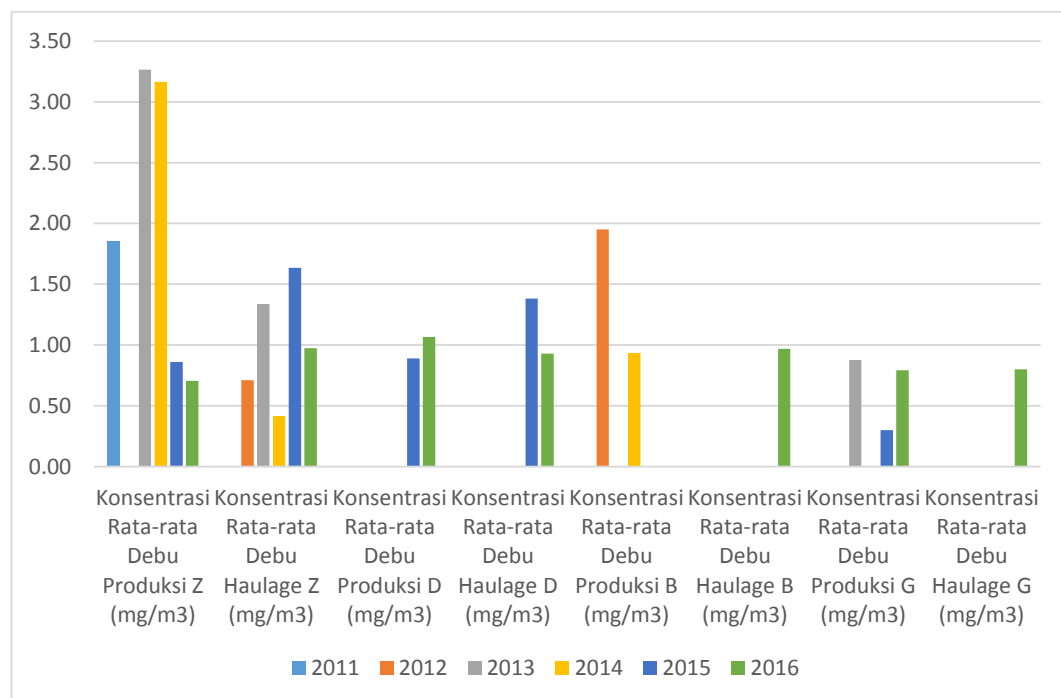
| No | Lokasi TBT | Area Kerja | Konsentrasi Debu (mg/m ³) | Rata-rata Konsentrasi Debu (mg/m ³) |
|----|------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | B | Produksi | 0,9 | 0,97 |
| | | Haulage | 1,04 | |
| 2 | D | Produksi | 0,912 | 0,912 |
| | | Haulage (exhaust) | 0,911 | |
| 3 | G | Konstruksi Haulage | 0,855 | 0,965 |
| | | Produksi | 1,074 | |
| 4 | Z | Ventilasi | 0,176 | 0,176 |

Untuk lebih jelasnya, data hasil pengukuran sampling *area* dapat dilihat di lampiran 1. Perbandingan konsentrasi debu rata-rata hasil pengukuran *area* dan hasil pengukuran personal dapat dilihat di Gambar 4.4 berikut:

**Gambar 4.4** Konsentrasi Rata-rata Debu Hasil Pengukuran *Area* dan *Personal*

Seperti yang terlihat di Tabel 4.11 dan Gambar 4.4 diatas, Sampel ditambang B, D, dan G kebanyakan bekerja di daerah produksi dan haulage, sedangkan sampel di tambang Z bekerja di area *haulage* sebagian besar di daerah panel produksi untuk ventilasi. Tambang dengan konsentrasi debu rata-rata

tertinggi berdasarkan pengukuran *area* yaitu tambang B dengan konsentrasi debu $0,970 \text{ mg/m}^3$, tambang G sebesar $0,965 \text{ mg/m}^3$, tambang D sebesar $0,912 \text{ mg/m}^3$, dan paling kecil di tambang Z sebesar $0,176 \text{ mg/m}^3$. Konsentrasi debu di tambang Z tahun 2013 sampai 2015 rata-rata sebesar 3 mg/m^3 menunjukkan penurunan yang sangat signifikan dibandingkan dengan hasil pengukuran konsentrasi debu *area* tahun 2016, berdasarkan hasil wawancara dengan pekerja, diketahui bahwa kondisi bahan galian yang beberapa tahun belakangan berupa batuan lumpur karena adanya percampuran air dalam jumlah besar dengan batuan yang sudah di ledakan. Perubahan konsentrasi debu area kerja hasil pengukuran area tiap tahun dapat dilihat di Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Konsentrasi Rata-rata Debu Hasil Pengukuran *Area* Tiap Tahun

Berdasarkan Gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa pengukuran area di tambang bawah tanah PT. X masih tidak merata dilakukan di semua tambang. Konsentrasi tertinggi debu berada di area produksi tambang Z pada tahun 2013 dan 2014 yang melebihi baku mutu saat tambang Z sedang dalam masa produksi tertinggi. Kecenderungan konsentrasi debu di tambang Z dapat dilihat mengalami penurunan pada area produksi, penurunan ini seperti di atas dikarenakan

perubahan bentuk dari batuan yang di tambang yang menjadi batuan basah (*wet muck*). Konsentrasi debu rata-rata pada area haulage cenderung sama dengan konsentrasi tertinggi pada tahun 2015. Tambang Z mulai beroperasi sejak tahun 2000, namun data yang didapatkan hanya berasal dari tahun 2011, hal ini karena kehilangan data atau pengukuran baru mulai dilakukan sejak tahun 2011. Tambang lain seperti tambang D, B, dan G memiliki ketidak konsistenan data terkait monitoring debu area di dalam tambang bawah tanah.

Konsentrasi rata-rata pada pengukuran personal dan pengukuran area menunjukkan hasil yang mirip dengan konsentrasi debu *personal* sedikit lebih besar dari debu *area* di tambang G dan Z, hal ini dikarenakan data debu area yang terbatas untuk lokasi pekerja serta pekerja yang di sampling memiliki wilayah kerja yang luas. Pengendalian debu dengan berbagai metode untuk memperkecil paparan bagi pekerja sudah di pasang di semua tambang, salah satunya dengan sistem ventilasi. Konsentrasi debu baik hasil pengukuran *personal* dan pengukuran *area* masih berada di standar baku mutu berdasarkan Per Menakertrans no 13 tahun 2011, sebesar 3 mg/m^3 untuk debu *respirable* dan 10 mg/m^3 untuk debu *inhaleable*.

D. Analisis Konsentrasi Debu Berdasarkan Jenis Pekerjaan

Setelah diketahui bahwa area produksi memiliki tingkat konsentrasi debu tertinggi dibandingkan dengan area lainnya, maka perlu dikaji lebih mendalam jenis pekerjaan di area produksi yang terpapar debu paling tinggi, juga pada area lainnya. Jenis Pekerjaan di dalam tambang bawah tanah sendiri di kelompokkan menjadi 6 (enam) kelompok utama berdasarkan pekerjaan yang diemban dan area kerja masing-masing pekerja. Enam kelompok jenis pekerjaan di dalam tambang bawah tanah antara lain:

1. Operator alat berat bergerak, merupakan kelompok pekerja yang menjadi operator atau pengemudi dari alat berat yang memiliki tingkat pergerakan tinggi di dalam area tambang bawah tanah. Pekerjaan dalam kelompok ini antara lain Operator Loader, Operator Truck dan Operator Backhoe. Operator alat berat bergerak bertugas untuk

mengangkut dan memindahkan batuan di semua area di dalam tambang bawah tanah.

2. Operator alat berat diam, merupakan kelompok pekerja yang menjadi operator atau pengemudi dari alat berat yang memiliki beban kerja spesifik di lokasi tertentu di dalam area tambang. Pekerjaan dalam kelompok ini antara lain Operator Jumbo Drill, Operator Cabolter, dan Operator Roll Mixer. Operator alat berat diam bertugas untuk melakukan pekerjaan pemasangan *ground support* (Jumbo Drill), perbaikan dan pemasangan kabel listrik di dalam tambang (Cabolter) dan membuat semen (Roll Mixer).
3. Operator alat di lokasi, merupakan kelompok pekerja yang menjadi operator dari alat berat yang bekerja di satu lokasi saja. Pekerjaan dalam kelompok ini antara lain Operator Chute, Operator Crane dan Operator Grader. Memindahkan batuan dari *loading point* (Chute), pengangkut material konstruksi (crane), dan perawatan alat di conveyor (grader).
4. Crew semen, merupakan kelompok pekerja yang melakukan pekerjaan yang berhubungan dengan pembuatan semen di dalam tambang bawah tanah, biasanya bekerja di daerah yang sedang dalam pengembangan.
5. Crew pekerjaan sipil, merupakan kelompok pekerja yang melakukan pekerjaan konstruksi untuk fasilitas di dalam tambang bawah tanah, biasanya akan bekerja di area tambang yang sedang di kembangkan.
6. Crew *weilder* atau pengelas, merupakan pekerja yang bertugas melakukan pengelasan untuk konstruksi di dalam tambang bawah tanah.

Semua pekerjaan di dalam tambang bawah tanah tersebar di masing-masing area kerja sesuai tugas dan fungsi masing-masing pekerjaan. Gambaran mengenai tingkat konsentrasi debu berdasarkan jenis pekerjaan dan sumber debu dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Konsentrasi Debu antar Jenis Pekerjaan

| No | Jenis Pekerjaan | N | Area Kerja | Nilai Paparan Rata-rata (mg/m ³) | Sumber Debu |
|----|------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Operator Alat Berat Bergerak | 24 | Produksi, Haulage, Jalan dan umum, Fasilitas Tambang, Ventilasi | 0,912 | Kegiatan pengangkutan dan pemindahan batuan, lalu lintas kendaraan |
| 2 | Operator Alat Berat Diam | 29 | Produksi, Haulage, Jalan dan umum, Fasilitas Tambang, Ventilasi | 0,705 | Kegiatan pengangkutan dan pemindahan batuan, lalu lintas kendaraan, kegiatan pengeboran oleh alat. |
| 3 | Operator Alat Lokasi | 7 | Haulage, Jalan dan umum, Fasilitas Tambang | 0,8771 | Kegiatan pengangkutan dan pemindahan batuan, lalu lintas kendaraan |
| 4 | Crew Semen | 10 | Jalan dan umum, Fasilitas Tambang | 0,831 | Kegiatan pencampuran dan pengadukan semen |
| 5 | Crew Pekerjaan Sipil | 26 | Produksi, Haulage, Jalan dan umum, Ventilasi | 1,064 | Kegiatan pengangkutan dan pemindahan batuan, lalu lintas kendaraan |
| 6 | Crew Pengelas | 7 | Produksi, Haulage, Fasilitas Tambang | 1,554 | Kegiatan pengangkutan dan pemindahan batuan, lalu lintas kendaraan |

Ditinjau dari rata-rata konsentrasi debu antar area tambang, berdasarkan tabel 4.12, jenis pekerjaan di dalam tambang bawah tanah memiliki rata-rata konsentrasi debu di bawah 1 mg/m³ kecuali jenis pekerjaan crew *weilder* yang konsentrasi rata-rata paparan debunya 1,55 mg/m³ yang merupakan nilai rata-rata paparan tertinggi di dalam jenis pekerjaan di tambang bawah tanah. Jenis pekerjaan dengan konsentrasi paparan debu tertinggi berada di pekerjaan crew *weilder* atau pengelasan yang biasanya bekerja di wilayah yang sedang dalam masa perbaikan atau pembangunan sehingga sangat mudah terpapar debu dengan konsentrasi tinggi dari pengangkutan batuan, transportasi dan pemasangan alat. Jenis pekerjaan dengan rata-rata paparan terendah berada di jenis pekerjaan operator alat berat diam yang konsentrasi rata-rata paparannya sebesar 0,71 mg/m³

dengan Operator Cabolter sebagai pekerja dengan konsentrasi terendah sebesar $0,38 \text{ mg/m}^3$ yang bertugas untuk melakukan pemasangan dan perbaikan kabel listrik di area tambang G yang sepi lalu lintas kendaraannya.

Jenis pekerjaan operator alat berat bergerak bekerja di semua area kerja karena beban kerjanya untuk memindahkan batuan yang berada di semua area tambang, seperti memindahkan batuan di area produksi hasil peledakan sampai area ekstraksi atau lokasi batuan hasil tambang dikumpulkan sebelum dipindahkan ke luar tambang bawah tanah lewat konveyor, selain itu operator backhoe bertugas membersihkan batuan-batuan yang menumpuk di berbagai lokasi karena jatuh dari truk atau karena penumpukan liar operator. Sedangkan jenis pekerjaan operator alat berat diam memiliki tugas utama sebagai alat berat untuk perbaikan dan pemasangan yang dilakukan di semua daerah tambang terutama tambang yang sedang dalam masa pengembangan seperti tambang G dan D.

4.2.2 Distribusi Sebaran Silika di dalam Tambang Bawah Tanah

Dari 103 jumlah sampel yang digunakan untuk melakukan analisis tingkat paparan debu pekerja tambang terdapat 22 sampel pekerja yang terpapar silika pada empat lokasi tambang yang berbeda. Salah satu tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh perbedaan lokasi tambang terhadap tingkat konsentrasi silika pada pekerja tambang. Hipotesis yang digunakan yaitu “perbedaan lokasi tambang tidak berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi paparan silika pekerja tambang”

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari PT. X tentang konsentrasi paparan silika, yang di jelaskan dalam bentuk persen silika dalam konsentrasi debu. Pengukuran dan perhitungan tentang konsentrasi silika dalam sampel di lakukan di laboratorium di Australia. Dalam laporan di dokumen departemen IH PT. X hanya terdapat 22 pekerja yang mendapatkan paparan silika sedangkan 81 data lainnya menunjukkan hasil bahwa konsentrasi silika terlalu rendah atau silika tidak terdeteksi dalam sampel. Berdasarkan penelitian dari L.A. Cox dkk (2005) menyatakan bahwa metode pengukuran kristal silika yang di praktikan di

laboratorium-laboratorium penelitian masih belum bisa memberikan hasil yang akurat, sehingga analisis konsentrasi silika pada pekerja tambang, dilakukan terhadap sampel pekerja sebanyak 22 orang dengan pertimbangan hanya pekerja yang memiliki konsentrasi silika pada saat pengukuran. Jumlah sampel yang sedikit tetap akan di analisis untuk mendapatkan hasil seperti yang sudah direncanakan pada tujuan. Analisis data menggunakan analisis statistika pada penelitian ini khususnya mengenai paparan silika akan tidak sepenuhnya ideal menggambarkan kondisi daerah di tambang bawah tanah PT.X. Data pekerja yang terpapar silika dapat dilihat di tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Konsentrasi Silika di dalam TBT

| No | TBT | Area kerja | Personal | Konsentrasi Debu (mg/m ³) | Konsentrasi Silika % (ug/m ³) | Konsentrasi Silika (mg/m ³) |
|----|-----|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 | B | Persimpangan nomor 45 | Helper Jumbo Drill | 0,41 | 3,1 | 0,0031 |
| 2 | B | Persimpangan No 44 | Jumbo Drill Operator | 0,47 | 4,85 | 0,0048 |
| 3 | D | Lokasi Produksi | Off sider Jumbo | 1,05 | 0,5 | 0,0005 |
| 4 | D | Lokasi <i>Intake</i> udara | Operator LHD | 2,57 | 1 | 0,0010 |
| 5 | D | Jalan Akses | Operator Jumbo | 0,73 | 1,57 | 0,0016 |
| 6 | D | Jalan Akses | Off sider Jumbo | 1,15 | 1,6 | 0,0016 |
| 7 | D | <i>Exhaust</i> | Operator Jumbo | 0,5 | 2,29 | 0,0023 |
| 8 | D | Lokasi Produksi | Operator Backhoe | 1,71 | 3,6 | 0,0036 |
| 9 | G | Level Drainase dan Konveyor | Operator Grader | 0,99 | 1,16 | 0,0012 |
| 10 | G | Level Drainase dan Konveyor | Operator Loader | 1,46 | 2,29 | 0,0023 |
| 11 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Rigger #2 | 1,15 | 3,3 | 0,0033 |
| 12 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Rigger #3 | 1,03 | 3,57 | 0,0036 |
| 13 | G | Area umum | Operator Loader | 1,52 | 3,71 | 0,0037 |
| 14 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Civil # 1 | 2,2 | 3,78 | 0,0038 |
| 15 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Rigger #1 | 1,95 | 4,69 | 0,0047 |
| 16 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Operator Jackleg Drill | 0,66 | 5,93 | 0,0059 |

| No | TBT | Area kerja | Personal | Konsentrasi Debu (mg/m^3) | Konsentrasi Silika % (ug/m^3) | Konsentrasi Silika (mg/m^3) |
|----|-----|------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 17 | Z | Lokasi Transfer Batuan | Chute operator #3 | 0,9 | 1,23 | 0,0012 |
| 18 | Z | Lokasi Transfer Batuan | Chute operator #1 | 1,32 | 1,8 | 0,0018 |
| 19 | Z | Lokasi Transfer Batuan | Chute operator #2 | 0,7 | 2,45 | 0,0024 |
| 20 | Z | Ventilasi | Millwright #2 | 0,38 | 5,48 | 0,0055 |
| 21 | Z | Ventilasi | Millwright #3 | 0,41 | 6,18 | 0,0062 |
| 22 | Z | Ventilasi | Millwright #1 | 0,33 | 7,04 | 0,0070 |

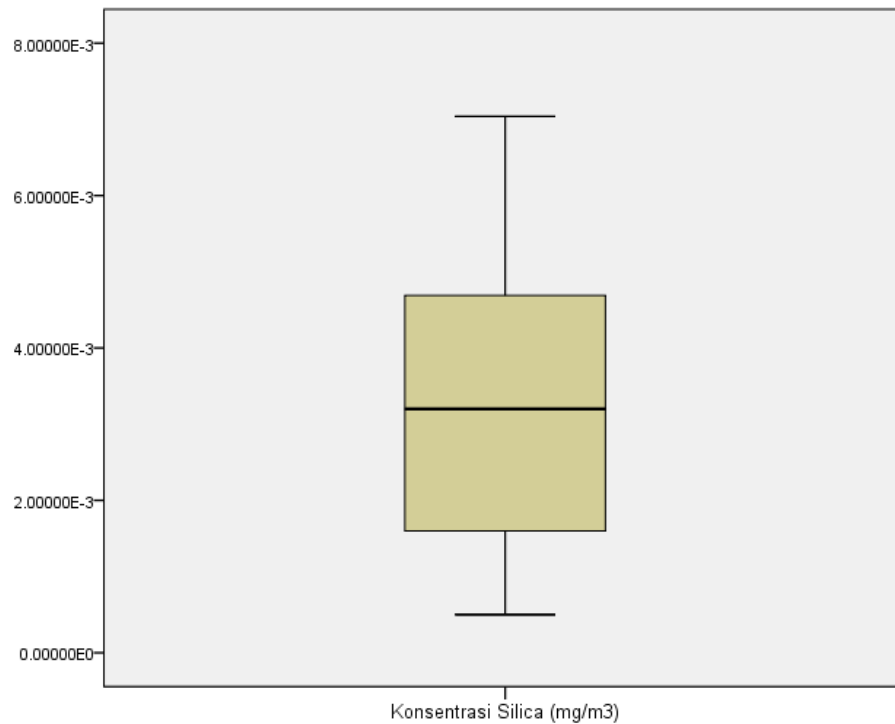
Lebih lanjut untuk mengetahui frekuensi terpusat dari data Tabel 4.13 diatas seperti rata-rata, median, modus, dan persentil konsentrasi paparan silika di dalam TBT PT. X dapat dilihat di Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14 Tabel Frekuensi Konsentrasi Silika

| Frekuensi Terpusat` | Konsentrasi Silika (mg/m^3) | |
|---------------------|-----------------------------------------------|--------|
| Rata-rata | 0,0032 | |
| Median | 0,0032 | |
| Modus | 0,0023 | |
| Sum | 0,0711 | |
| Percentiles | 25 | 0,0015 |
| | 50 | 0,0032 |
| | 75 | 0,0047 |

Berdasarkan Tabel 4.13 dan 4.14 diatas dapat diketahui bahwa data terlihat menyebar dengan rata, dengan rata-rata paparan sebesar $0,0032 \text{ mg}/\text{m}^3$. Data persentil 50 atau median dari data memiliki nilai yang sama dengan nilai rata-rata dari keseluruhan data.

Untuk mengetahui gambaran tentang tingkat penyebaran konsentrasi silika di TBT PT. X dapat di lihat di grafik Box plot di Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.6 Penyebaran Konsentrasi Silika di TBT PT. X

Berdasarkan Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa semua data konsentrasi paparan silika di TBT PT. X berada di dalam box data atau garis Wisker, dengan bentuk grafik yang simetris menandakan bahwa data terdistribusi dengan normal tanpa ada data *outlier*. Dari grafik ini sendiri dapat dilihat bahwa 22 data sampel yang berisi silika terdistribusi dengan normal. Untuk nilai persentil dari grafik boxplot diatas dapat dilihat di Tabel 4.14.

A. Analisis Konsentrasi Silika Berdasarkan Lokasi Tambang

Analisis pertama yang dilakukan adalah untuk membuktikan hipotesis dalam penelitian ini, yaitu pengaruh lokasi tambang terhadap konsentrasi paparan silika. Untuk mengetahui perbedaan atau persamaan konsentrasi debu pada masing-masing lokasi tambang dapat diketahui dengan menggunakan statistik deskriptif pada tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Deskripsi Konsentrasi Silika Berdasarkan Lokasi Tambang

| Lokasi | N | Rata-rata (mg/m ³) | Std. Deviation | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|-----------|----|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Tambang B | 2 | 0,0039 | 0,0012 | -0,0071 | 0,0150 | 0,0031 | 0,0048 |
| Tambang D | 6 | 0,0017 | 0,0010 | 0,0006 | 0,0028 | 0,0005 | 0,0036 |
| Tambang G | 8 | 0,0035 | 0,0014 | 0,0023 | 0,0047 | 0,0012 | 0,0059 |
| Tambang Z | 6 | 0,0040 | 0,0025 | 0,0014 | 0,0066 | 0,0012 | 0,0070 |
| Total | 22 | 0,0032 | 0,0018 | 0,0024 | 0,0040 | 0,0005 | 0,0070 |

Silika sebagai unsur yang menyusun sebagian besar di kerak bumi memiliki keberadaan yang sangat besar khususnya di tambang. Ditinjau dari rata-rata konsentrasi silika antar tambang (TBT B, D, G, Z) masing-masing memiliki rata-rata yang cukup sama kecuali di tambang D yang memiliki rata-rata terendah sebesar 0,0017 mg/m³ hal ini dikarenakan susunan batuan mengandung silika tertinggi di tambang bawah tanah PT. X berada pada kedalaman 600 m dari permukaan tanah yang tersusun atas batu pasir silika, hal ini sejalan dengan penelitian yang di lakukan salah satu departemen NIOSH Amerika (2014) yang menyebutkan bahwa tambang bawah tanah cenderung memiliki konsentrasi paparan yang lebih sedikit di dibandingkan dengan konsentrasi paparan di tambang permukaan.

Rendahnya konsentrasi silika juga dapat dipengaruhi oleh manajemen partikulat yang baik sehingga udara di TBT PT. X tergolong baik. Pengaruh ventilasi terhadap konsentrasi silika di jelaskan pada penelitian W Chen dkk. (2001) yang meneliti tingkat paparan silika terhadap pekerja tambang timah di China, konsentrasi paparan silika di dalam tambang timah menurun drastis setelah pemasangan ventilasi di dalam tambang.

Berdasarkan Tabel 4.15 diatas, lokasi dengan sampel terbanyak untuk paparan silika berada di lokasi tambang G yaitu 8 sampel paparan sedangkan sampel paling sedikit berada di lokasi tambang B, sama seperti analisis konsentrasi debu sebelumnya. Rata-rata konsentrasi paparan silika tertinggi di terima oleh pekerja di tambang Z yaitu 0,004 mg/m³.

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang cukup signifikan antar lokasi tambang, maka selanjutnya dilakukan uji ANOVA, sama seperti uji hipotesis paparan debu diatas. Asumsi yang harus dipenuhi untuk uji ANOVA adalah (1) sampel diambil secara acak, (2) data terdistribusi normal, (3) varians antar sampel homogen. Berdasarkan data, syarat pertama sudah terpenuhi karena data di ambil secara random, asumsi kedua dan ketiga perlu di uji terlebih dahulu. Hasil uji normalitas data terhadap data paparan silika dapat dilihat di tabel 4.16 berikut:

Tabel 4.16 Hasil Uji Normalitas Data Konsentrasi Silika

| Variabel | Data Awal Uji Kolmogorov Smirnov | | Data Transformasi Uji Shapiro-Wilk | | Data Transformasi Uji Kolmogorov Smirnov | |
|--------------------|----------------------------------|-------|------------------------------------|-------|------------------------------------------|-------|
| | Nilai Statistik | Sig | Nilai Statistik | Sig | Nilai Statistik | Sig |
| Konsentrasi Silika | 0,456 | 0,000 | 0,953 | 0,362 | 0,132 | 0,200 |

Untuk melihat data tersebut normal atau tidak, dapat melihat nilai signifikansi berdasarkan uji Kolmogorov Smirnov dan uji Shapiro-Wilk. Apabila nilai signifikansi memiliki nilai $> 0,05$ maka data tersebut dapat dikatakan terdistribusi normal. Sedangkan jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka data tersebut tidak terdistribusi normal, sehingga perlu dilakukan perlakuan khusus pada data tersebut sehingga data tersebut dapat terdistribusi normal. Nilai signifikansi pada Kolmogorov-Smirnov memiliki kelebihan untuk data dalam jumlah banyak (>100) sedangkan nilai signifikansi Shapiro-Wilk lebih tepat untuk pengujian data yang jumlahnya sedikit.

Pada tabel 4.16 diatas, uji normalitas pada data awal silika menunjukkan nilai signifikan (Sig.) lebih kecil dari 0,05 ($0,000 < 0,05$) sehingga dapat dikatakan bahwa data tidak normal. Untuk melakukan uji ANOVA syaratnya adalah data terdistribusi normal sehingga dilakukan perlakuan khusus berupa transformasi data menggunakan nilai (ln). setelah dilakukan pengujian normalitas dengan data transformasi di dapat nilai signifikan 0,20 untuk nilai signifikan Kolmogorov dan 0,132 untuk nilai signifikan Shapiro-Wilk, nilai ini lebih besar dari 0,05 (Sig. $> 0,05$) sehingga data transformasi silika terdistribusi normal.

Analisis homogenitas selanjutnya dilakukan untuk memenuhi syarat analisis ANOVA. Asumsi homogenitas varians sampel menggunakan data silika hasil transformasi dapat di lihat di Tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.17 Tes Homogenitas Varians Data Silika antar Lokasi Tambang

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------------------|-----|-----|-------|
| 1,237 | 3 | 18 | 0,325 |

Dasar pengambilan keputusan menggunakan nilai probabilitas, yakni apabila nilai probabilitas (Sig.) $> 0,05$, maka dapat dikatakan bahwa keempat varians populasi adalah identik, namun apabila nilai probabilitas (Sig.) $< 0,05$, dapat dikatakan bahwa keempat varians populasi adalah tidak identik sehingga ANOVA tidak dapat dilakukan. Berdasarkan Tabel 4.17 diatas diketahui bahwa nilai probabilitas sebesar 0,325. Karena probabilitas $> 0,05$, maka dapat diputuskan bahwa keempat varians sama atau identik. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA terpenuhi sehingga analisis lanjutan untuk uji ANOVA dilakukan. Hasil uji ANOVA dari data transformasi silika dapat dilihat di Tabel 4.18 berikut:

Tabel 4.18 Hasil Uji ANOVA antar Lokasi Tambang

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| Between Groups | 2,956 | 3 | 0,985 | 2,606 | 0,083 |
| Within Groups | 6,806 | 18 | 0,378 | | |
| Total | 9,762 | 21 | | | |

Hasil analisis statistik pada tabel 4.18 menunjukkan bahwa nilai Sig. adalah 0,083 atau probabilitas diatas 0,05 ($0,083 > 0,05$) sehingga diputuskan bahwa H_0 diterima atau tidak terdapat perbedaan yang nyata tingkat konsentrasi silika pada pekerja tambang antar lokasi tambang. Kenyataan ini menunjukkan bahwa perbedaan lokasi tambang tidak berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi silika pekerja tambang. Hal ini dikarenakan semua tambang memiliki susunan batuan yang hampir sama serta manajemen debu tambang yang juga baik di semua lokasi tambang.

B. Analisis Konsentrasi Silika Berdasarkan Area Kerja Tambang

Untuk memperoleh gambaran secara menyeluruh tentang perbedaan konsentrasi debu pekerja tambang, maka selain analisis antar lokasi tambang, pada penelitian ini juga dilakukan analisis perbedaan konsentrasi debu antar area kerja. Sama seperti analisis paparan debu, selanjutnya di cari perbedaan pada setiap area kerja, yang di bagi ke dalam 5 (lima) varian. Hipotesis yang digunakan yaitu “perbedaan area kerja tidak berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi paparan silika pekerja tambang”

Analisis berdasarkan area kerja terhadap konsentrasi paparan silika menggunakan analisis ANOVA. Tabel deskriptif konsentrasi paparan silika dapat di lihat di Tabel 4.19 berikut:

Tabel 4.19 Deskripsi Konsentrasi Silika Berdasarkan Area Kerja

| Area kerja | N | Rata-rata (mg/m ³) | Std. Deviation | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|-------------------------|----|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Area Produksi | 7 | 0,00362 | 0,00165 | 0,00209 | 0,00515 | 0,00050 | 0,00593 |
| Area Haulage | 3 | 0,00182 | 0,00061 | 0,00031 | 0,00334 | 0,00123 | 0,00245 |
| Akses Jalan dan Umum | 5 | 0,00296 | 0,00140 | 0,00121 | 0,00471 | 0,00157 | 0,00485 |
| Ventilasi | 5 | 0,00439 | 0,00261 | 0,00115 | 0,00764 | 0,00100 | 0,00704 |
| Fasilitas Tambang | 2 | 0,00172 | 0,00079 | -0,00545 | 0,00890 | 0,00116 | 0,00229 |
| Total | 22 | 0,00323 | 0,00184 | 0,00241 | 0,00405 | 0,00050 | 0,00704 |

Berdasarkan tabel 4.19, jumlah sampel terlihat tertinggi pada area produksi, yaitu 7 buah sampel dengan rata-rata semua data terlihat beragam. Ditinjau dari konsentrasi debu rata-rata, area dengan konsentrasi paparan silika tertinggi berada di area ventilasi yaitu 0,00439 mg/m³ silika sedangkan paparan silika terendah ada di area fasilitas tambang yaitu 0,00172 mg/m³. Simpangan baku sendiri terlihat tidak menunjukkan perbedaan yang berarti dengan angka deviasi beragam dari 0,00061 – 0,0021.

Analisis untuk ANOVA selanjutnya di lakukan pengujian homogenitas varian sampel yang dapat dilihat hasilnya pada Tabel 4.20 berikut:

Tabel 4.20 Tes Homogenitas Varians Konsentrasi Silika Antar Area Kerja

| Levene Statistik | df1 | df2 | Sig. |
|------------------|-----|-----|-------|
| 0,649 | 4 | 17 | 0,636 |

Dasar pengambilan keputusan menggunakan nilai probabilitas, yakni apabila nilai probabilitas (Sig.) > 0,05, maka dapat dikatakan bahwa keempat varians populasi adalah identik, namun apabila nilai probabilitas (Sig.) < 0,05, dapat dikatakan bahwa keempat varians populasi adalah tidak identik sehingga ANOVA tidak dapat dilakukan. Berdasarkan Tabel 4.20 diatas diketahui bahwa nilai probabilitas sebesar 0,636. Karena probabilitas > 0,05, maka dapat diputuskan bahwa keempat varians adalah sama atau identik. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi.

Analisis selanjutnya, yaitu pembuktian hipotesis dengan menggunakan ANOVA dapat ditunjukkan pada Tabel 4.21 berikut:

Tabel 4.21 Hasil ANOVA Konsentrasi Silika antar Area Kerja

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| Between Groups | 1,500 | 4 | 0,375 | 0,772 | 0,559 |
| Within Groups | 8,262 | 17 | 0,486 | | |
| Total | 9,762 | 21 | | | |

Hasil analisis statistik ANOVA pada Tabel 4.21 menunjukkan bahwa nilai Sig. adalah 0,559 atau probabilitas diatas 0,05 ($0,559 > 0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata tingkat konsentrasi silika pada pekerja tambang antar area tambang. Kenyataan ini menunjukkan bahwa perbedaan area kerja tidak berpengaruh terhadap tingkat konsentrasi silika pekerja tambang. Hal ini menandakan setiap area kerja di dalam tambang bawah tanah memiliki risiko untuk terpapar silika selama berkerja. Sehingga peningkatan manajemen udara dan penggunaan alat pelindung diri atau APD harus selalu dilakukan oleh pekerja di dalam tambang bawah tanah PT. X. Karena tidak adanya perbedaan konsentrasi paparan silika dengan area kerja maka analisis untuk pekerja berisiko terpapar silika tertinggi tidak dilakukan mengingat semua jenis

pekerjaan di dalam tambang bawah tanah memiliki kemungkinan untuk mendapatkan paparan selama bekerja.

Sampai saat ini, hubungan antara paparan debu yang diterima oleh pekerja dan konsentrasi paparan silika yang diterima pekerja masih belum bisa di jelaskan oleh para ahli kesehatan dan keselamatan pekerja di dunia. Pada data yang di dapatkan dari PT. X di ketahui bahwa sampel yang di ambil di dalam bawah tanah dan dihitung di laboratorium menggunakan satu sampel filter. Hasil analisis konsentrasi silika di dapatkan dalam satuan mg/m^3 sedangkan silika didapatkan dengan satuan persen (%) kandungan silika didalam konsentrasi paparan debu. Analisis ini merupakan praktik yang sering dilakukan di dalam usaha pertambangan di Amerika (NIOSH, 2014) sehingga usaha pencegahan paparan silika ke pekerja tambang secara langsung berhubungan dengan usaha pengurangan paparan debu ke pekerja tambang bawah tanah.

Rendahnya tingkat konsentrasi debu dan silika di dalam tambang bawah tanah dapat dihubungkan dengan beberapa faktor yaitu manajemen pengendalian partikulat di PT. X yang sudah baik (di jelaskan lebih lanjut di bagian analisis risiko) dan kekeliruan pada saat sampling dan analisis. Kekeliruan saat sampling dan analisis tidak dapat di bahas karena penelitian menggunakan data sekunder yang di ambil dari PT. X sehingga validasinya perlu di tinjau kembali jika penelitian serupa ingin dilakukan.

C. Konsentrasi Silika Berdasarkan Pengukuran Area

Konsentrasi paparan silika yang di terima oleh pekerja akan berbeda dengan konsentrasi silika yang ada di area kerja. Oleh karena itu sebagai pembanding, di ambil juga data konsentrasi silika hasil pengukuran *area* tahun 2016 – 2017 pada tiap lokasi tambang yang menjadi daerah kerja untuk sampel di hasil pengukuran personal. Pengukuran silika *area* bertujuan untuk mengetahui konsentrasi silika di suatu wilayah selama pekerjaan berlangsung yang di ukur selama 8 jam kerja. Metode analisis dalam penentuan konsentrasi silika area juga menggunakan metode pengukuran NIOSH NMAM 7500 untuk pengukuran kristal silika.

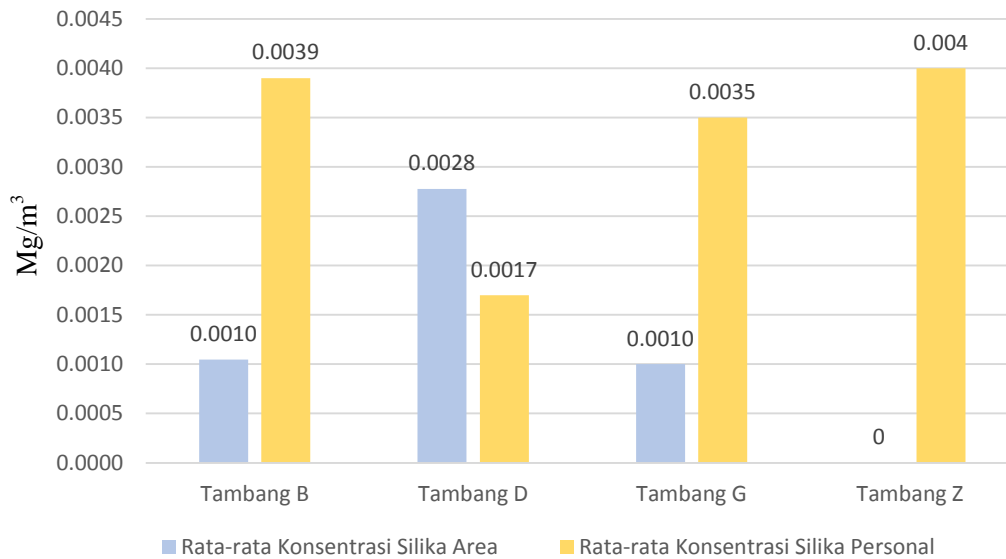
PT. X menggunakan pengukuran area untuk mengetahui kualitas lingkungan yang ada di PT. X, pada tahun 2016 – 2017 pengukuran mengikuti jadwal pengukuran debu, konsentrasi debu di area kerja di PT. X sudah memenuhi baku mutu sehingga frekuensi pengukuran debu dan silika menjadi satu kali dalam dua tahun. Konsentrasi silika area yang di tampilkan di sesuaikan dengan ketersediaan data dan area kerja sampel yang datanya di ambil di sampling personal. Untuk mengetahui konsentrasi silika hasil pengukuran di dalam tambang di PT. X dapat dilihat di tabel 4.22 berikut:

Tabel 4.22 Konsentrasi Silika Hasil Pengukuran Area

| No | Lokasi TBT | Area Kerja | Konsentrasi Silika (mg/m ³) | Rata-rata Konsentrasi Silika (mg/m ³) |
|----|------------|--------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1 | B | Produksi | 0,0006 | 0,001045 |
| | | Haulage | 0,0015 | |
| 2 | D | Produksi | 0,0038 | 0,003 |
| | | Haulage (exhaust) | 0,0018 | |
| 3 | G | Konstruksi Haulage | 0 | 0,001 |
| | | Produksi | 0,0020 | |
| 4 | Z | Ventilasi | 0 | 0 |

Tabel 4.22 menunjukkan konsentrasi silika berdasarkan hasil pengukuran area. Daerah yang memiliki kandungan silika di dalam tambang bawah tanah di tampilkan sesuai dengan keberadaan silika di masing-masing tambang. Data konsentrasi silika di tambang B, D, dan G berada di daerah Haulage dan Produksi, dimana hamper semua data pengukuran untuk debu area di lakukan di kedua daerah ini. Tambang Z sebagai salah satu daerah tambang yang telah lama beroperasi, data pengukuran debu untuk tahun 2016 – 2017 sangat jarang di lakukan di area produksi dan haulage, terlebih bentuk batuan tambang tambang Z yang berupa lumpur (*wet muck*) yang menyebabkan konsentrasi debu menjadi sangat rendah di tambang Z.

Untuk lebih jelasnya, data hasil pengukuran sampling silika *area* dapat dilihat di lampiran 1. Perbandingan konsentrasi silika rata-rata hasil pengukuran *area* dan hasil pengukuran personal dapat dilihat di Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 Konsentrasi Rata-rata Silika Hasil Pengukuran *Personal* dan *Area*

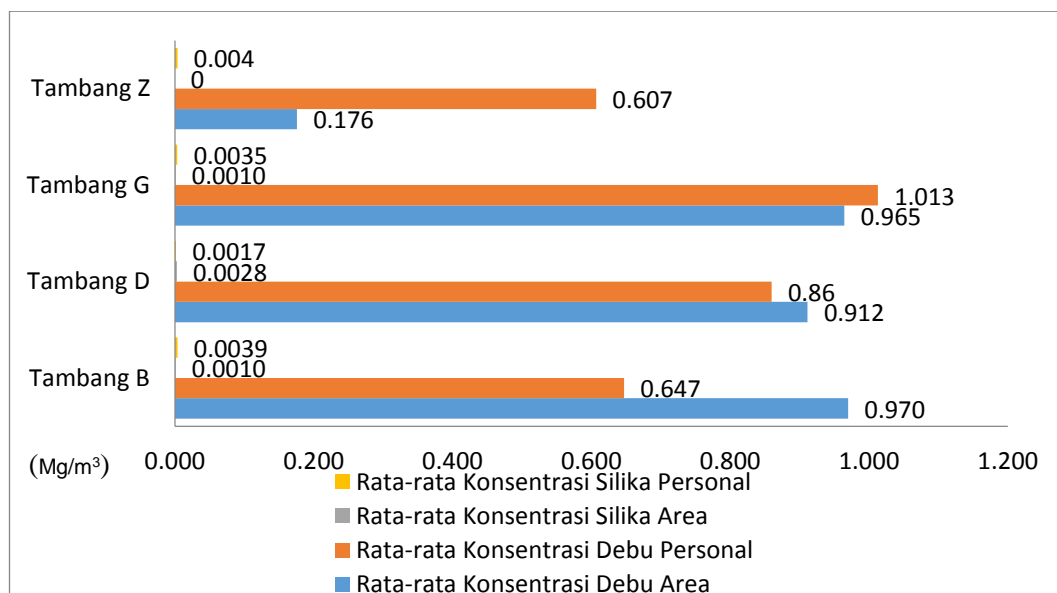
Hasil konsentrasi silika *area* di dapatkan dari debu *area* yang bertujuan untuk mengetahui konsentrasi debu di suatu wilayah selama pekerjaan berlangsung. Tambang dengan konsentrasi silika rata-rata tertinggi berdasarkan pengukuran area yaitu tambang D dengan konsentrasi debu 0,0028 mg/m³, tambang B sebesar 0,0010 mg/m³, tambang G sebesar 0,0010 mg/m³, dan paling kecil di tambang Z sebesar 0 mg/m³ atau tidak terdeteksi adanya silika di tambang Z pada hasil pengukuran sampling *area*. Konsentrasi silika hasil pengukuran *area* di tambang Z menunjukkan nilai yang sangat rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran silika pada sampling *personal* sebesar 0,0040 mg/m³. Konsentrasi rata-rata pada pengukuran personal dan pengukuran area menunjukkan hasil yang berbeda dengan konsentrasi silika personal, yang cenderung lebih besar dari debu area, hal ini dikarenakan data silika area yang terbatas untuk lokasi pekerja serta pekerja yang di sampling memiliki wilayah kerja yang luas. Pengendalian silika dalam pengendalian partikulat dengan berbagai metode untuk memperkecil paparan bagi pekerja sudah di pasang di semua tambang, salah satunya dengan sitem ventilasi di berbagai daerah. Lokasi sampling area untuk tambang Z berada di area *intake* yang mungkin menyebabkan konsentrasi silika menjadi sangat rendah hingga tidak terdeteksi. Perbandingan antara konsentrasi paparan silika

hasil pengukuran personal dan area, belum bisa menggambarkan konsentrasi silika di tambang Z secara jelas. Paparan debu silika di tambang Z sebelum tahun 2016 tidak bisa di dapatkan sehingga perbandingan sebenarnya tidak dapat dilanjutkan.

Pada kasus di tambang D, menunjukkan konsentrasi silika tertinggi, daerah yang terdeteksi silika di tambang D antara lain daerah *Loading Point* dan *Panel* yang merupakan area produksi dimana peledakan, pengangkutan, dan pemindahan batuan dilakukan. Dengan perbedaan jumlah data yang cukup besar, perbandingan konsentrasi untuk paparan silika berdasarkan pengukuran *area* dan *personal* masih belum bisa mewakili kondisi paling sebenarnya di lapangan.

Dari data di atas dapat diketahui bahwa rata-rata konsentrasi silika di dalam tambang bawah tanah masih dalam batas aman dan sesuai standar. Konsentrasi rata-rata tingkat paparan konsentrasi silika ke pekerja berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam Per Menakertrans nomor 13 tahun 2011 sebesar $0,05 \text{ mg/m}^3$ untuk silika dalam bentuk kristal.

Secara keseluruhan perbandingan antara konsentrasi paparan debu dan silika serta perbandingannya dengan hasil pengukuran area dapat di lihat di gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.8 Perbandingan Konsentrasi Debu dan Silika

Berdasarkan Gambar 4.8, konsentrasi silika jauh lebih rendah di bandingkan dengan konsentrasi debu secara keseluruhan konsentrasi debu dan silika tertinggi berada di tambang G, sedangkan konsentrasi debu dan silika terendah berada di tambang Z. hal ini sesuai dengan jenis pekerjaan yang sedang dijalankan di tambang G dan Z. tambang G sedang dalam masa pengembangan yang memiliki pekerjaan paling banyak dan sistem pengendalian udara yang belum terpasang secara keceluruhan. Tambang Z sendiri merupakan tambang yang sangat active beroperasi dengan puncak produksi berada di tahun 2013 dan akan segera berakhir masa kerjanya karena keberadaan batuan lumpur yang berbahaya bagi pekerja. Pada pengukuran tahun 2016 - 2017, sampling tambang Z hanya di lakukan di area intake saja sehingga memungkinkan konsentrasi silika menjadi nol sehingga tidak bisa menggambarkan secara jelas konsentrasi silika di dalam tambang Z.

4.2.3 Manajemen Pengendalian Partikulat di TBT PT. X

Pencegahan atau penanggulangan pencemaran udara perlu dilakukan untuk mempekecil risiko kesehatan akibat kerja. Pengendalian pencemaran debu dan partikulat lain di tambang bawah tanah PT. X di lakukan melalui tiga (3) langkah pengendalian, yaitu pengendalian partikulat menggunakan kontrol administrasi, dan kontrol keteknikan seperti pemasangan sistem ventilasi tambang, serta peraturan penggunaan alat dan mesin. Manajemen pengendalian debu tambang di PT. X dilakukan dengan kerja sama dari beberapa departemen terkait dan selalu di laporkan setiap bulan atau tahun. Manajemen pengendalian partikulat di TBT PT. X antara lain:

a. Administrasi

Pengendalian pencemaran di udara di dalam tambang bawah tanah dalam hal administrasi di PT. X sendiri ada beragam macamnya, misalnya sosialisasi hasil pengujian udara kepada para pekerja, penentuan wilayah wajib penggunaan alat pelindung diri, *cek up* kesehatan setiap tahun dan adanya peraturan seperti kewajiban untuk melakukan penyiraman saat

mucking dan pembatasan kendaraan yang masuk ke dalam tambang bawah tanah.

b. Ventilasi Tambang

Ventilasi berfungsi untuk mengalirkan udara segar ke dalam tambang bawah tanah yang berada ratusan bahkan ribuan meter dibawah tanah dengan kualitas dan kuantitas yang cukup untuk membuat wilayah kerja yang aman untuk bekerja bagi manusia dan alat serta dapat menyuplai udara untuk mendilusi kontaminan di dalam tanah hingga konsentrasi yang aman. Peran ventilasi yaitu mendilusi konsentrasi partikulat di dalam tambang serta memindahkan posisi (*displacement*) partikulat dari pekerja tambang.

Pembangunan ventilasi di dasarkan pada jumlah orang, mesin yang beroperasi dan jumlah kegiatan pada suatu tempat. Di PT. X ke empat tambang yang aktif saat ini sudah memiliki sistem ventilasi masing-masing yang di rencanakan tiap tahun dan dilaporkan perkembangannya tiap bulan.

Kebutuhan udara tiap pekerja yang dialirkan oleh sistem ventilasi berdasarkan Peraturan Kementrian Energi dan Pertambangan (1995) yaitu sebesar $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ sedangkan aliran air minimum untuk mendilusi gas diesel sebesar $0.080 \text{ m}^3/\text{s}/\text{kW-rated}$, untuk panel atau segmen di dalam tambang, kuantitas udara minimalnya yaitu $16.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Kebutuhan udara ini dialirkan dalam sebuah sistem yang rumit dalam tambang bawah tanah PT. X yang sudah sangat luas.

Sistem ventilasi pada dasarnya adalah kombinasi dari jalur terowongan dan pipa, mesin angin (*fan*), dan peralatan pembersih udara (*filter*). Udara yang dimasukkan ke daerah kerja di tambang melalui jalur terowongan dan pipa, dari bukaan alam dan shaft menuju area kerja tambang. Debu, gas, panas, atau unsur polutan lainnya kemudian dikeluarkan dari daerah kerja melalui exhaust. Fasilitas pendukung keberadaan ventilasi adalah adanya lokasi intake dan exhaust. Sistem ventilasi yang diterapkan di PT. X seperti dengan ventilasi umum atau

ventilasi utama yang mengalirkan udara dari luar tambang menuju wilayah yang membutuhkan dengan menggunakan prinsip tekanan.

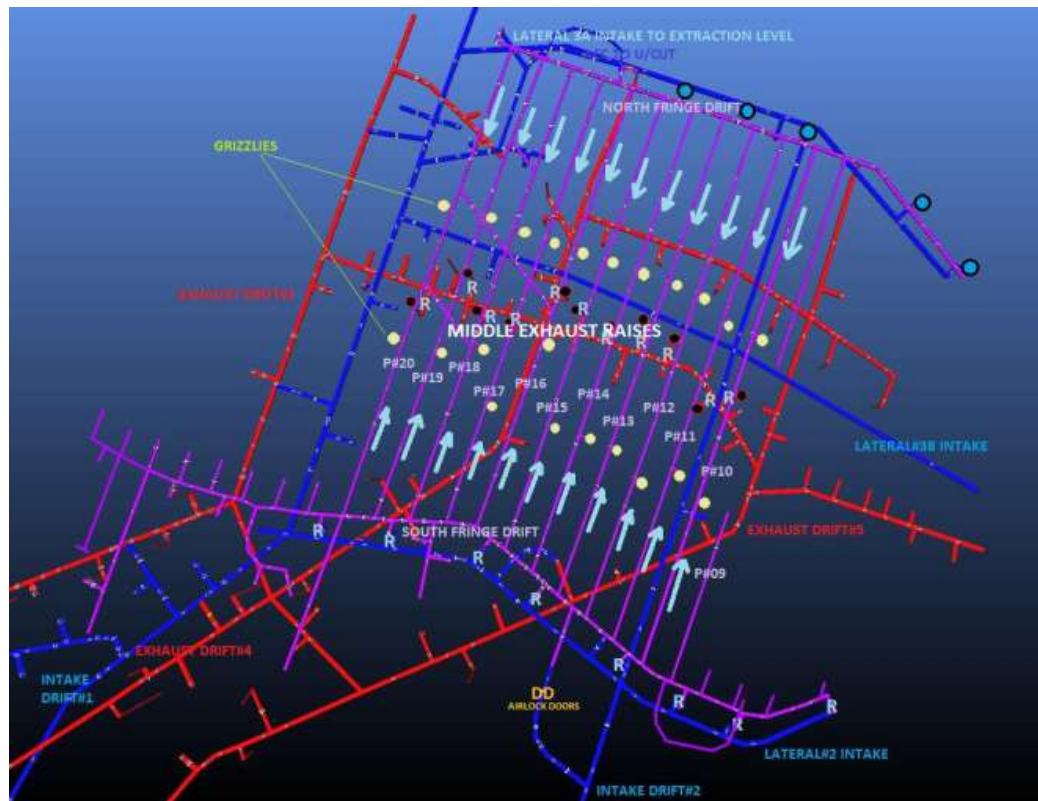
Sistem ventilasi selain merupakan kebutuhan dalam pelaksanaan kegiatan tambang bawah tanah, juga berperan sebagai pengendali pencemaran dalam hal rekayasa keteknikan untuk kualitas udara. Sistem ventilasi yang baik harus bisa memenuhi kebutuhan udara yang diperlukan oleh mesin dan pekerja di dalam tambang.

Secara umum, sistem ventilasi di PT. X bergantung pada sistem ventilasi utama, yang menggabungkan metode ventilasi alami dan mekanis. Aliran udara akan bergerak sejalan dengan terowongan sampai mencapai area kerja yang membutuhkan udara. Sistem ventilasi di PT. X menggunakan prinsip tekanan, dimana udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Pada tambang D sistem ventilasi utama menggerakkan udara melalui jalur:

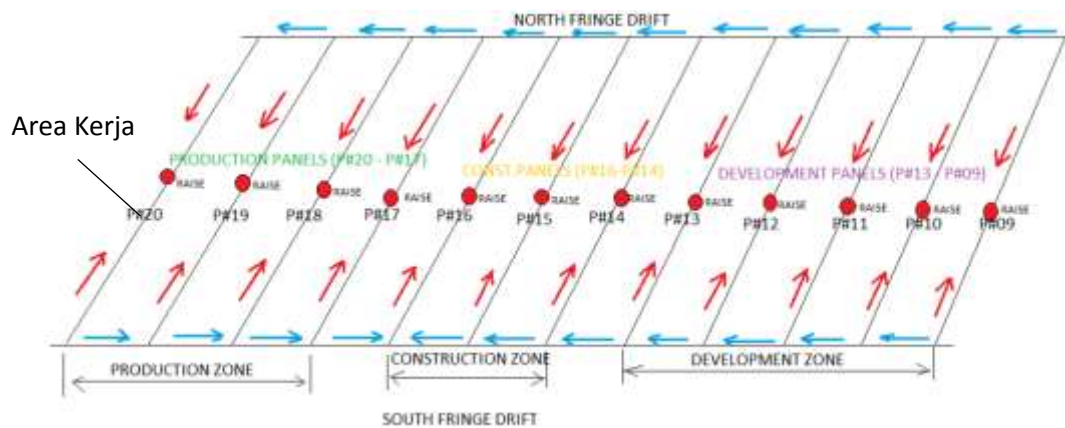
Portal intake udara di Z -> jalur naik primer intake -> level intake -> daerah kerja-> exhaust level -> jalur naik primer exhaust -> kipas exhaust utama -> portal exhaust

Sistem ventilasi akan mengalirkan udara ke setiap level/lantai tambang yang terdiri dari puluhan level. Jalur intake utama dan exhaust utama biasanya memiliki level tersendiri di dalam tambang, setiap lantai akan di lengkapi oleh lubang bukaan keatas (*raise*) yang berfungsi sebagai jalan untuk mengalirkan udara yang telah kotor ke daerah exhaust. Semua tambang bawah tanah di PT. X menggunakan prinsip jalur ventilasi utama seperti yang di terapkan di tambang D, namun dengan desain yang berbeda khususnya seperti daerah intake, level terowongan intake dan exhaust, serta jumlah mesin angin yang di jalankan untuk menyalurkan udara ke dalam tambang.

Untuk lebih detail mengenai sistem ventilasi yang di gunakan di tambang bawah tanah PT. X, sistem ventilasi yang di terapkan di area produksi PT. X, salah satunya dapat di lihat di Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.9 Peta Sistem Ventilasi di Area Ekstraksi di Tambang D



Gambar 4.10 Ilustrasi Sistem Ventilasi di Area Ekstraksi Tambang D Berdasarkan Area Perkembangan

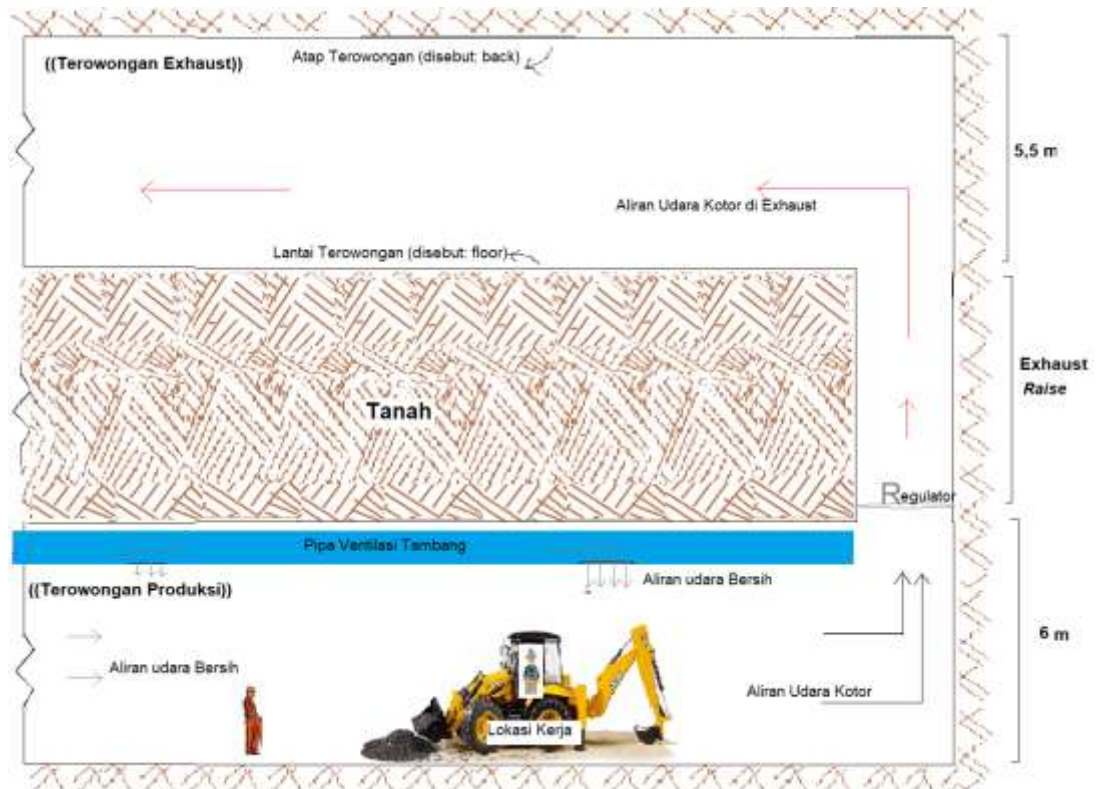
Gambar 4.9 menunjukkan tampak atas sistem ventilasi yang di terapkan di area ekstraksi tambang D, terowongan berwarna biru menandakan bagian dari sistem yang merupakan terowongan intake udara

sedangkan terowongan berwarna merah merupakan terowongan yang menjadi lokasi udara Exhaust, titik hitam merah merupakan *raise* (terowongan ke atas) yang di lengkapi dengan regulator yang akan mengalirkan udara dari daerah ekstraksi ke level exhaust. Untuk memisahkan udara bersih dan kotor di dalam tambang serta untuk mengatur kecepatan udara, di pasang juga pintu ventilasi (*vent door*) pada sistem ventilasi umum di tambang D yang ditandakan dengan huruf DD di Gambar 4.9 yang merupakan desain ventilasi aktual yang di terapkan di tambang D.

Gambar 4.10 merupakan penyederhanaan sistem ventilasi utama pada Gambar 4.9 tambang D yang sedang dalam masa perkembangan sehingga perencanaan ventilasi didasarkan dari tahap perkembangannya. Udara dalam intake masuk melalui dua jalur, jalur intake selatan dan jalur intake utara menuju daerah kerja di area tengah yang berupa panel dimana batuan hasil peledakan di ambil. Setiap tahap pengembangan tambang yang di bagi menjadi daerah produksi, daerah konstruksi dan daerah dalam pengembangan (Gambar 4.10) memiliki kegiatan manusia dan mesin di dalamnya sehingga udara di alirkan secara merata ke masing-masing panel. Setelah udara bercampur dan mendilusi polutan di area panel, udara kotor akan bergerak menuju level terowongan exhaust melalui *raise* yang di pasang pada setiap panel.

Selain ventilasi utama, di beberapa wilayah kerja dengan potensi konsentrasi debu tinggi dan daerah buntu yang biasanya merupakan terowongan yang akan di kembangkan, di pasang ventilasi bantu (*Auxiliary Ventilation*) yang akan mengalirkan udara secara mekanik ke area pengembangan atau area dengan jumlah pekerjaan besar serta area buntu tersebut yang kemungkinan masih di lewati oleh pekerja dan mesin.

Semua tambang di TBT PT. X memiliki sistem ventilasi bantu. Gambar 4.11 berikut menggambarkan tentang ventilasi tambahan bersamaan dengan aliran udara yang berasal dari ventilasi utama yang di pasang di tambang B:



Gambar 4.11 Ilustrasi Tampak Samping Ventilasi Bantu di Area Produksi Tambang B

Gambar 4.11 menunjukkan ilustrasi penggunaan pipa ventilasi bantu untuk area kerja produksi di tambang B. Karena sistem tambanya yang berupa *stopping*, galian baru di buat setiap harinya sehingga di perlukan ventilasi bantu berupa pipa yang akan mengalirkan udara ke berbagai daerah terowongan yang membutuhkan. Sumber debu berasal dari kegiatan peledakan di area *stope*, proses pengerukan di batuan dan pengangkutan batuan oleh truk *Load Hauling Dump* (LHD), lalu lintas kendaraan loader dan Backhoe. Prinsip dari ventilasi bantu yaitu untuk mengalirkan udara atau menambahkan volume udara ke lokasi yang dirasa membutuhkan lebih banyak udara di banding udara yang telah tersedia sebelumnya pada sistem ventilasi utama.

Tambang bawah tanah PT. X merupakan kumpulan terowongan yang berbentuk lantai-lantai sesuai rencana yang di sebut sebagai level. Level produksi di tambang B PT. X berada di level 2540L sampai 2600L,

dan area pengembangan berada di level setelah 2600L. Level exhaust di tambang B berada di level 3020, semua udara kotor hasil dilusi akan di alirkan ke level terowongan ini melalui lubang bukaan yang di sebut *raise exhaust* dari setiap level.

Sistem ventilasi mekanik untuk memompa dan menekan udara untuk masuk ke dalam tambang menggunakan alat seperti menggunakan *fan*, *Auxiliary fan*, *duct vent* dan *vent bag*. Selain mendilusi partikulat sistem ventilasi juga memindahkan lokasi partikulat dari area kerja. Metode *ducting* merupakan metode *displacement* partikulat yang bekerja dengan sistem seperti vacum, sistem ini di terapkan di tambang Z. Sistem *ducting* sering di lengkapi filter di ujung pipa untuk menyaring udara dari dalam tambang kemudian akan di alirkan lagi ke daerah tambang yang memerlukan udara. Sistem *ducting* memerlukan biaya yang besar sehingga sistem ventilasi ini hanya di terapkan di wilayah tambang Z.

Berdasarkan hasil laporan ventilasi tambang Z pada bulan februari 2017 menunjukan bahwa jumlah aliran udara berdasarkan area di dalam tambang Z sebesar $1804 \text{ m}^3/\text{s}$ melebihi rencananya sebesar $1412 \text{ m}^3/\text{s}$ yang di hitung berdasarkan kebutuhan udara dari alat dan pekerja tiap area kerja. Konsentrasi gas dalam tambang seperti oksigen (O_2) berkisar antara 19,5% sampai 20,9%, konsentasi CO berkisar antara 0 ppm sampai 6 ppm di beberapa lokasi panel dan haulage yang padat kendaraan, konsentrasi gas-gas lain seperti H_2S , SO_2 , NO_2 dan CO_2 berada pada konsentrasi 0 ppm di semua lokasi .

c. Penggunaan Alat dan Mesin

Pengendalian pencemaran partikulat dilakukan dengan beberapa metode dengan penggunaan alat di dalam tambang bawah tanah. Untuk proses pengambilan batuan di lakukan penyiraman manual ke batuan sebelum di angkut, untuk jalan jalan yang ada di dalam tambang dilakukan penyiraman rutin selain karena kondisi tambang yang sudah cukup basah dari aliran air alami dari dalam batuan di tambang bawah tanah. Selain itu di

beberapa lokasi di install *water sprayer* dan *dust collector* untuk mengurangi konsentrasi debu di beberapa area kerja di semua tambang.

Pengendalian partikulat yang ketat di tambang bawah tanah PT. X membuat konsentrasi partikulat seperti debu dan silika di dalam tambang tanah menjadi kecil. Hasil observasi di dalam tambang bawah tanah menunjukkan keadaan udara yang bersih dan jelas di awal shift pekerjaan namun akan menjadi terlihat berdebu saat shift berakhir. Berdasarkan peraturan dari Kep MenKes no. 1405 tahun 2002 tentang persyaratan kesehatan lingkungan kerja perkantoran dan industri, nilai ambang batas untuk kecepatan angin sebesar 0,15 m/s dan kelembapan sebesar 65%. Kecepatan angin di dalam tambang bawah tanah beragam dari 0 m/s sampai 1,5 m/s dengan kelembapan udara berkisar antara 58,3% sampai 75,6%. Kelembapan udara yang rendah dapat menyebabkan konsentrasi debu tinggi di udara dan kecepatan angina di bawah 0,2 m/s dapat menyebabkan partikel debu tidak terdispersi dengan sempurna (NIOSH dalam Rinda dkk, 2016). Dengan kecepatan angin rata-rata di dalam tambang bawah tanah PT. X berkisar antara 0,4 – 0,8 m/s membuat dispersi partikulat bahkan yang mengandung silika di dalam tambang berjalan dengan baik sehingga paparan silika ke pekerja juga cenderung lebih rendah.

4.2.4 Analisis Hubungan Variabel Paparan dengan Lama Kerja dan Umur

Untuk mengetahui hubungan silika dengan karakteristik pekerja, dilakukan uji hubungan antar variabel. Uji hubungan atau uji asosiasi merupakan analisis untuk mengetahui apakah antara kedua variabel terdapat hubungan yang signifikan. Alat uji asosiasi yaitu korelasi dan regresi.

Pada penelitian ini, digunakan uji korelasi karena yang ingin diketahui yaitu hubungan antara umur dan lama kerja pekerja tambang bawah tanah berpengaruh terhadap konsentrasi paparan debu dan silika ke pekerja tambang bawah tanah. uji korelasi Spermán dan Kendall di pilih untuk analisis data kuantitatif data dalam penelitian ini, selain itu uji korelasi Spermán dan Kendall dapat digunakan untuk pengukuran korelasi pada statistik non parametrik. Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

H_0 : Tidak terdapat hubungan antara konsentrasi debu dan silika pada pekerja tambang dengan lama kerja dan umur

H_a : Terdapat hubungan antara konsentrasi debu dan silika pada pekerja tambang dengan lama kerja dan umur

Hasil uji korelasi Spermman dan Kendall dapat dilihat di Tabel 4.23 berikut:

Tabel 4.23 Analisis Korelasi Spermman dan Kendall

| Variabel | Variabel | Nilai Korelasi | Sig | Keterangan |
|--------------------|------------------|----------------|-------|---------------------------|
| Konsentrasi Silika | Konsentrasi Debu | 0,181 | 0,068 | Korelasi Tidak Signifikan |
| | Lama Kerja | 0,222 | 0,024 | Korelasi Lemah |
| | Umur | -0,036 | 0,717 | Korelasi Tidak Signifikan |
| Konsentrasi Debu | Lama Kerja | -0,002 | 0,987 | Korelasi Tidak Signifikan |
| | Umur | -0,257 | 0,009 | Korelasi Lemah |

Konsentrasi silika dalam Tabel 4.23 diatas menggunakan data konsentrasi paparan kumulatif, dimana jumlah paparan hasil sampling di kalikan dengan lama kerja. Paparan kumulatif untuk silika dapat dilihat di Tabel 4.24 dan hasil analisis korelasi dengan SPSS dapat dilihat di lampiran 2.

Berdasarkan tabel 4.23 diatas, dapat diketahui bahwa paparan silika memiliki hubungan dengan lama kerja yang dapat dilihat dari nilai probabilitas (*Sig. 2 tailed*) sebesar $0,024 < 0,05$. Sedangkan untuk variabel lainnya, yaitu konsentrasi debu dan umur tidak memiliki hubungan dengan konsentrasi silika. Paparan debu memiliki hubungan negatif dengan umur, terbukti dengan nilai probabilitas sebesar $0,009 < 0,05$, sedangkan untuk variabel lainya seperti konsentrasi debu dan lama kerja tidak memiliki hubungan dengan konsentrasi debu.

Hubungan yang terbentuk antara konsentrasi silika dengan lama kerja bernilai positif dan lemah (0,222), yang artinya semakin lama seorang bekerja di tambang bawah tanah PT X, tidak terlalu berpengaruh terhadap konsentrasi paparan silika yang diterima. Sedangkan hubungan yang terbentuk antara konsentrasi debu dengan umur bernilai negatif dan lemah (-,257), hal ini menandakan paparan debu tinggi dialami oleh pekerja yang lebih muda.

Dengan demikian, berdasarkan kesimpulan di atas, diperlukan kajian lebih lanjut tentang pengaruh paparan silika kepada pekerja di PT.X berdasarkan konsentrasi paparan yang diterima. Salah satu analisis yang dapat dilakukan yaitu analisis risiko relatif (RR) penyakit silikosis pada pekerja tambang bawah tanah PT. X. silikosis dipilih karena merupakan penyakit paling umum yang mungkin dialami oleh pekerja industri yang memiliki kontak dengan silika (Chen dkk, 2001; Mannetje dkk, 2002; Azari dkk, 2010). Sifat penyakit silikosis sendiri yaitu akut, sehingga penyakit akan timbul setelah berpuluh tahun paparan atau bahkan setelah pekerja tidak bekerja lagi.

4.2.5 Analisis Risiko Relatif Silikosis Pekerja Tambang Bawah Tanah.

Resiko merupakan kemungkinan terjadinya sesuatu yang akan memiliki dampak terhadap terhadap tujuan. Tujuan dalam penelitian kali ini adalah pekerja di dalam tambang bawah tanah PT. X. manajemen risiko mencakup 5 tahap untuk melakukan penilai resiko, antara lain identifikasi isu; identifikasi bahaya; analisis risiko; evaluasi risiko dan pengendalian risiko. Analisis risiko relatif berhubungan dengan analisis risiko terjadinya peristiwa tertentu dalam hal ini silikosis pada sekelompok pekerja terhadap kelompok pekerja yang lain di dalam tambang bawah tanah.

Analisis risiko terhadap paparan silika di dalam tambang bawah tanah perlu di lakukan karena silika sudah masuk dalam kategori 1 (satu) penyebab kanker berdasarkan IARC, hal ini menandakan bahwa silika dapat menyebabkan kanker dan sudah terbukti. Penelitian tentang analisis risiko terhadap pekerja terpapar silika di Indonesia saat ini masih sangat sedikit, dengan data paparan yang juga terbatas. Salah satu penelitian tentang silika, dilakukan oleh Kresna Wibawa (2008) dalam tesisnya menyatakan bahwa risiko kesehatan paparan debu silika menunjukkan presentasi penurunan FEV¹ pekerja di industri tempa dan cor seiring dengan meningkatnya dosis debu silika ter inhalasi. Analisis *Hazard Index* (HI) oleh Rinda andhita (2016) terhadap konsentrasi silika ter inhalasi di pekerja pandai besi memaparkan bahwa IH kristal silika bergantung pada konsentrasi paparan selama bekerja dan masa kerja.

Analisis risiko melibatkan adanya *hazard* (bahaya) berupa fisik, kimia, mikrobiologi, dan psikologi serta adanya subjek paparan berupa subjek individu ataupun populasi. Langkah-langkah dalam penilaian risiko seperti yang di jelaskan di atas mencakup 5 tahap yaitu: identifikasi isu, identifikasi bahaya, analisis dosis dan respon, penilaian risiko terhadap populasi dan karakterisasi risiko. Identifikasi bahaya dalam analisis ini adalah adanya keberadaan silika di dalam partikulat tambang yang dapat menyebabkan penyakit silicosis kepada pekerja yang terpapar. Dalam penelitian ini, tahap analisis dosis-respon serta penilaian risiko di ambil dari hasil penelitian sebelumnya, yaitu penelitian Mannetje dkk (2002) sehingga penelitian ini langsung ke tahap karakterisasi risiko akibat paparan silika di dalam tambang bawah tanah.

Penentuan nilai risiko relatif silikosis pekerja tambang bawah tanah di analisis menggunakan model Mannetje dkk. (2002) yang telah melakukan penelitian tentang silikosis menggunakan 6 cohort. Perhitungan paparan silika di lakukan dengan mengalikan konsentrasi paparan silika dengan lama kerja tiap pekerja. Misalnya untuk paparan ke operator jumbo drill dengan konsentrasi paparan debu sebesar $0,00485 \text{ mg/m}^3$ dan lama kerja 8 tahun maka paparan kumulatifnya adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{Konsentrasi Paparan } (Ci) \times \text{lama kerja } (Ti) \\ &= 0,00485 \text{ mg/m}^3 \times 8 \text{ tahun} \\ &= 0,1164 \text{ mg/m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Salah satu faktor terpenting dalam berkembangnya silikosis adalah *dose exposure* atau konsentrasi paparan debu *respirable* mengandung kristal silika (Azari, 2010), selain itu W Chen (2001) menyatakan adanya hubungan yang kuat antara risiko silikosis dengan paparan kumulatif dari silika selama bekerja. Pada penelitian ini, digunakan 103 sampel data paparan kumulatif silika dengan memasukan data sampel yang memiliki konsentrasi silika 0 (nol) untuk menghitung risiko relatif kematian akibat silikosis bagi pekerja di TBT PT. X. Jumlah sampel yang memiliki konsentrasi paparan kumulatif silika di atas konsentrasi 0 (nol) disajikan di dalam tabel 4.24 berikut:

Tabel 4.24 Konsentrasi Paparan Kumulatif Silika

| No | TBT | Area kerja | Personal | Konsentrasi Silika (mg/m ³) | Lama Kerja (Tahun) | Umur (Tahun) | Tahun Total Bekerja (Tahun) | Paparan Kumulatif Silika (mg/m ³ -Tahun) |
|----|-----|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1 | B | Persimpangan nomor 44 | Jumbo Drill Operator 740099 | 0,00485 | 8 | 49 | 24 | 0,1164 |
| 2 | B | Persimpangan nomor 45 | Helper Jumbo Drill 740099 | 0,0031 | 7 | 37 | 35 | 0,1085 |
| 3 | D | Lokasi Intake udara | Operator LHD 71-0915 | 0,001 | 5 | 29 | 41 | 0,0410 |
| 4 | D | Jalan Akses | Operator Jumbo No 74-0128 | 0,00157 | 3 | 45 | 23 | 0,0361 |
| 5 | D | Jalan Akses | Off sider Jumbo No 74-0128 | 0,0016 | 2 | 32 | 35 | 0,0560 |
| 6 | D | Lokasi Produksi | Off sider Jumbo No 74-0091 | 0,0005 | 6 | 43 | 28 | 0,0140 |
| 7 | D | Exhaust | Operator Jumbo 74-0099 | 0,00229 | 6 | 34 | 37 | 0,0847 |
| 8 | D | Lokasi Produksi | Operator Backhoe | 0,0036 | 6 | 31 | 40 | 0,1440 |
| 9 | G | Area umum | Operator Loader 71-0689 | 0,00371 | 6 | 33 | 38 | 0,1410 |
| 10 | G | Level Drainase dan Konveyor | Operator Loader R1700 71-0902 | 0,00229 | 6 | 40 | 31 | 0,0710 |
| 11 | G | Level Drainase dan Konveyor | Operator Grader 067 | 0,00116 | 6 | 38 | 33 | 0,0383 |
| 12 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Operator Jackleg Drill | 0,00593 | 25 | 39 | 51 | 0,3024 |
| 13 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Rigger #1 | 0,00469 | 10 | 49 | 26 | 0,1219 |
| 14 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Rigger #2 | 0,0033 | 6 | 28 | 43 | 0,1419 |
| 15 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Rigger #3 | 0,00357 | 18 | 37 | 46 | 0,1642 |
| 16 | G | Lokasi Penghancuran Batuan | Civil # 1 | 0,00378 | 6 | 31 | 40 | 0,1512 |
| 17 | Z | Lokasi Transfer Batuan | Chute operator #1 | 0,0018 | 5 | 38 | 32 | 0,0576 |
| 18 | Z | Lokasi Transfer Batuan | Chute operator #2 | 0,00245 | 2 | 25 | 42 | 0,1029 |
| 19 | Z | Lokasi Transfer Batuan | Chute operator #3 | 0,00123 | 6 | 34 | 37 | 0,0455 |
| 20 | Z | Ventilasi | Millwright #1 | 0,00704 | 6 | 30 | 41 | 0,2886 |
| 21 | Z | Ventilasi | Millwright #2 | 0,00548 | 6 | 33 | 38 | 0,2082 |
| 22 | Z | Ventilasi | Millwright #3 | 0,00618 | 9 | 48 | 26 | 0,1607 |

Rata-rata pekerja di dalam tambang bawah tanah PT. X bekerja 6 hari dalam seminggu dengan jumlah jam kerja 12 jam perhari dengan jam kerja efektif selama 8 jam. Berdasarkan datayang di dapatkan dari laporan sampling debu oleh departemen IH PT. X terdapat 103 pekerja yang telah di sampling selama periode 1 Januari 2016 – 31 Januaari 2017. Dari 103 data yang akan di analisis risikonya menggunakan tabel dari Mannetje dkk (2002), terdapat 81 sampel pekerja yang tidak terdeteksi terpapar silika atau memiliki paparan 0 mg/m³ dan 22 data pekerja yang terdeteksi terpapar silika dengan konsentrasi paparan di atas nol milligram per meter kubik (paparan > 0 mg/m³) yang disajikan dalam tabel 4.24.

Setelah kumulatif paparan silika diketahui, dilakukan analisis risiko relatif silikosis pekerja berdasarkan tabel Mannetje dkk (2002). Hasil analisis berdasarkan data di TBT PT. X dapat di liat di dalam tabel 4.25 berikut:

Tabel 4.25 Hasil Analisis Risiko Kematian Akibat Silikosis Terhadap Pekerja TBT PT. X

| Paparan Kumulatif (mg/m ³ /tahun) | Risiko Relatif Kematian Akibat Silikosis per Seribu Orang Terpapar | Jumlah Pekerja Terpaparan di Tambang Bawah Tanah (n / %) | |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------|
| 0,0 - 0,99 | 1 | 103 | 100% |
| 0,99 - 1,97 | 3,39 | 0 | 0% |
| 1,97 - 2,87 | 6,22 | 0 | 0% |
| 2,87 - 4,33 | 9,4 | 0 | 0% |
| 4,33 - 7,12 | 13,69 | 0 | 0% |
| 7,12 - 9,58 | 22,64 | 0 | 0% |
| 9,58 - 13,21 | 23,97 | 0 | 0% |
| 13,21 - 15,89 | 40,25 | 0 | 0% |
| 15,89 - 28,1 | 25,11 | 0 | 0% |
| >28,1 | 63,63 | 0 | 0% |

Berdasarkan tabel 4.25 diatas, konsentrasi paparan silika di dalam tambang bawah tanah PT X berada di rentan 0,0 – 0,99 mg/m³/tahun paparan dengan paparan tertinggi sebesar 0,302 mg/m³/tahun dari operator jackleg drill, dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya ada 1 (satu) orang yang berisiko memiliki silikosis tiap 1000 (seribu) pekerja di dalam tambang bawah tanah PT.X. rendahnya tingkat paparan silika ke pekerja membuat risiko relatif kejadian

silikosis di pekerja tambang bawah tanah PT X menjadi rendah juga, hal ini dikarenakan data paparan sampel pada penelitian ini menggunakan data laporan yang didapatkan dengan *sampling personal*. *Sampling personal* di PT. X bertujuan untuk melihat ada tidaknya kebocoran pada respirator dan alat bantu pernapasan lain di tambang bawah tanah PT. X. *Sampling personal* yang menjadi sumber data penelitian ini mengacu pada NIOAH *Manual Analytical Methods* (NMAM)7500 dengan filter 5- μ m PVC. Rendahnya tingkat konsentrasi silika pada tambang bawah tanah sudah di jelaskan di atas, yaitu karena susunan batuan di tambang bawah tanah PT. X yang lebih sedikit kandungan silikanya di bandingkan dengan tambang permukaan sertamanajemen pengendalian partikulat yang berhubungan dengan pengendalian risiko untuk memperkecil tingkat risiko/bahaya di dalam tambang bawah tanah.

Untuk memperkecil risiko dapat dilakukan dengan cara mengurangi bahaya yang akan di terima pekerja. Padahierarki pengendalian bahaya yang berarti prioritas dalam pemilihan dan pelaksanaan pengendalian yang berhubungan dengan bahaya di tempat kerja. Hierarki pengendalian bahaya di dasarkan pada banyak standar salah satunya dalam OHSAS 18001:2007 sebagai manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di seluruh dunia. Beberapa kelompok kontrol untuk menghilangkan atau mengurangi bahaya berdasarkan daerah kerja di tambang bawah tanah PT. X antara lain:

1. Eliminasi penyebab bahaya, dalam hal ini eliminasi partikulat. Pengendalian dengan cara eliminasi tidak mungkin dilakukan di tambang bawah tanah, karena partikulat terbentuk dari kegiatan produksi, lalu lintas dan penghancuran yang tidak mungkin di hentikan di dalam tambang bawah tanah.
2. Substitusi atau mengganti alat, bahan atau sistem untuk mengurangi bahaya, di area kerja seperti tambang bawah tanah, bahan utama yang akan ditambang berupa batuan yang merupakan sumber partikulat sehingga tidak mungkin dilakukan substitusi bahan untuk mengurangi paparan debu dan silika. Alat atau sistem yang di gunakan dalam pertambangan bawah tanah sudah disesuaikan dengan kondisi tambang bawah tanah yang

memiliki ruang terbatas, sehingga pengendalian dengan cara substitusi untuk bahaya silika tidak dapat dilakukan.

3. Kontrol teknik (Perancangan teknik), di tambang bawah tanah PT. X, sebagian besar pengendalian pencemaran partikulat di lakukan menggunakan perancangan keteknikan, seperti perancangan sistem ventilasi untuk mendilusi dan memindahkan partikulat, pemasangan *dust collector* di lokasi berdebu seperti daerah *crusher*, penerapan sistem *close cabin* untuk pengemudi truck pengangkut batuan, penyiraman jalan berkala serta penggunaan *water spray* dengan penambahan *koagulan* untuk menangkap partikulat.



Gambar 4.12 *Ducting* Ventilasi di Tambang Z

Gambar 4.12 merupakan sistem ventilasi mekanik untuk memompa dan menekan udara untuk masuk ke dalam tambang menggunakan alat *duct*. Metode *ducting* merupakan metode *displacement* partikulat yang bekerja dengan sistem seperti *vacum* di tambang Z. Sistem *ducting* sering di lengkapi filter di ujung pipa untuk menyaring udara dari dalam tambang kemudian akan di alirkan lagi ke daerah tambang yang memerlukan udara. Lebih lengkap tentang system ventilasi terdapat pada bagian 4.2.3 tentang manajemen pengendalian partikulat. Udara pada sistem ventilasi dialirkan

dengan mempelajari mekanika fluida, dimana udara juga dikategorikan sebagai fluida.



Gambar 4.13 *Vent Bag* di Area Produksi Tambang B

4. Kontrol administrasi pada pengendalian risiko di tambang bawah tanah dilakukan dengan berbagai cara seperti sosialisasi hasil sampling, kewajiban melakukan pertemuan keamanan (*safety meeting*) sebelum memulai bekerja, penerapan peraturan terkait penggunaan alat pelindung diri selama di dalam tambang bawah tanah, penerapan peraturan tentang kewajiban untuk melakukan penyiraman sebelum melakukan *mucking*.
5. Alat Pelindung Diri (APD). Setiap pekerja yang akan masuk kedalam tambang bawah tanah diwajibkan untuk menggunakan respirator dengan filter partikulat. Respirator standard yang di pakai pekerja tambang bawah tanah PT. X sendiri adalah *Half face respirator* 3M dengan filter partikulat P100 yang akan menjamin efisiensi sebesar 99,97% partikulat. Untuk jenis pekerjaan dengan jenis paparan berbeda seperti paparan *fume* pada pekerja *weilder* atau pengelas, filter akan di ganti sesuai jenis paparannya.



Gambar 4.14 Penggunaan Respirator saat Bekerja

Manajemen risiko yang baik akan memperkecil jumlah risiko bagi para pekerja. Pembatasan jumlah paparan silika yang dilakukan oleh PT.X dengan berbagai cara pengendalian membuat konsentrasi paparan partikulat seperti silika dari sumber partikulat ke pekerja juga menjadi rendah, sehingga risiko relative untuk silicosis bagi pekerja tambang PT. X menjadi rendah pula. Monitoring berkala melalui sampling rutin juga dilakukan di PT. X untuk menjamin kualitas udara sesuai standar di berbagai lokasi dan tidak adanya kenaikan konsentrasi partikulat dengan berubahnya kegiatan di suatu area kerja.

Berdasarkan nilai ambang batas yang di tetapkan oleh Pemerintah dalam Per Menakertras Nomor 13 tahun 2011, batas paparan silika selama sehari bekerja yaitu $0,05 \text{ mg/m}^3$ yang jika di estimasikan paparan kumulatifnya menjadi $2,25 \text{ mg/m}^3/\text{tahun}$ Analisa risiko relatif silikosisnya berada pada angka $6/1000$, atau 6 orang berisiko dari 1000 orang yang terpapar silika (Normohammadi, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa risiko relatif kematian silikosis di PT. X $1/1000$ pekerja jauh lebih rendah dari risiko relatif kematian silikosis berdasarkan peraturan yang ditetapkan oleh pemerintah.

Hasil dari analisis paparan silikosis untuk 103 pekerja yang bekerja di TBT PT. X menunjukan hasil yang sangat rendah karena adanya analisis risiko berkala dan pengendalian risiko yang baik untuk mencegah paparan silika yang tinggi kepada pekerja di dalam tambang bawah tanah.

Hasil penelitian ini hanya merupakan perkiraan dari risiko sebenarnya dari silikosis bagi pekerja yang terpapar silika di PT.X dan belum bisa menggambarkan keseluruhan kondisi pekerja di dalam tambang bawah tanah. Analisis pada penelitian ini menggunakan data sekunder dari departemen terkait PT. X sehingga kevalidan data perlu di tinjau kembali. Manajemen kualitas udara yang baik serta peraturan yang ketat tentang penggunaan alat pelindung diri (APD) untuk sistem pernapasan selama bekerja akan sangat mengurangi risiko kejadian silikosis di dalam tambang bawah tanah PT. X.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapat di pembahasan diatas, kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tingkat konsentrasi paparan debu dan silika di tambang bawah tanah tidak dipengaruhi oleh perbedaan lokasi tambang yang terbagi atas tambang B, D, G dan Z, sedangkan area kerja yaitu area produksi, *haulage*, jalan dan umum, fasilitas tambang dan ventilasi, menunjukkan adanya perbedaan tingkat konsentrasi paparan debu, namun tidak berpengaruh pada konsentrasi paparan silika.
2. Korelasi antara konsentrasi silika bernilai positif dan lemah dengan lama kerja yang berarti semakin lama kerja paparan terhadap silika akan semakin besar, sementara korelasi konsentrasi debu bernilai negatif dan lemah dengan umur yang menunjukkan pekerja muda mendominasi pekerjaan yang berisiko debu di dalam tambang bawah tanah.
3. Tingkat risiko relatif silikosis untuk pekerja akibat paparan debu silika di tambang bawah tanah PT. X sebesar 1/1000 pekerja yang terpapar.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu di lakukan monitoring secara berkala di semua area yang memiliki aktifitas penghasil debu tinggi didalam tambang bawah tanah.
2. Analisis risiko relatif karena paparan silika bagi pekerja di Indonesia masih sangat jarang dilakukan, sehingga diperlukan penelitian lebih banyak lagi bagi semua kegiatan industri di Indonesia.

3. Diperlukan lagi analisis lebih lanjut mengenai risiko relatif pekerja yang terpapar silika seperti kondisi kesehatan paru dan risiko kematian kanker seumur hidup pekerja.
4. Perlu data yang lebih lengkap seperti kondisi kesehatan awal pekerja dan kebiasaan pekerja untuk melakukan analisis risiko.
5. Perlu dilakukan pemeriksaan kesehatan bagi pekerja tambang bawah tanah bahkan setelah tidak aktif bekerja karena sifat penyakit seperti silikosis yang biasanya kronik.
6. Perlu dilakukan penegasan tentang penggunaan APD untuk pekerja yang mungkin terpapar debu ter inhalasi terutama yang mengandung silika.

DAFTAR PUSTAKA

- Azari MR, Rokni M, Salehpour S, Mehrabi Y, Jafari MJ, Moaddeli AN, Movahedi M, Ramezankhani A, Hatami H, Mosavion MA, Ramazani B. 2009. **Risk Assessment of Workers Exposed to Crystalline Silica Aerosol in East Zone of Tehran.** *Tanaffos* Vol 8 2009 p: 43-50
- De Klerk NH, Musk AW. 1998. **Silica compensated silicosis, and lung cancer in Western Australian goldminers.** *Occup Environ Medicine* Vol 55 1998 p: 243-248
- EITI. 2013. Laporan EITI Indonesia Tahun 2012-2013. www.eiti.ekon.go.id. (2/12/ 2017)
- Emanuele C, Gerald J, Arthur M, Steven M. 2014. **Analysis of the Silica Percent in Airborne Respirable Mine Dust Samples from U.S. Operations.** ASTM. US Department of Health and Human Service, Center for Disease Control and Prevention, NIOSH : United States of America
- Guidline. 2005, **Management of Diesel Emissions in Western Australia Mining Operation**, MIAC, government of western Australia department of mines and petroleum resource safety
- Hasan,Iqbal. 2010. **Pokok Pokok Materi Statistik 2 (Statistik Inferensif).** PT Bumi Aksara: Jakarata (ISBN 979-526-778-7)
- Hedlun U, Jonsson H, Eriksson K, Jarvholm B. 2008. **Exposure-Response of Silicosis Mortality in Swedish Iron Ore Miners.***Annals of Occupational Hygiene* Vol 52 2008 p: 3-7
- Indonesianto, Yanto. 2001. **Persiapan Pembukaan Tambang Bawah Tanah (underground minning development).** Tambang Umum UPN “V” Yogyakarta: Yogyakarta

- Kiky AY, Ardan. 2015. **Hubungan Paparan Debu dan Lama Paparan dengan Gangguan Faal Paru Pekerja Overhaul Power Plant.***The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health* Vol 4 2015 p:155-166
- LA. Cox Jr, D.R. Van Orden, R.J Lee, S.M Arlauckas, R.A Kautz, A.L Warzel, K.F Bailey, A.K Ranpuria. 2015. **How reliable are crystalline silica dust concentration measurements?**. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* Vol 73 2015 p: 126 - 136
- Mannetje A, Steenland K, Attfield M, Boffetta P, Checkoway H, DeKlerk N, Koskela RS. 2002. **Exposure-response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts.** *Occup Environ Medicine.* Vol 59 2002 p:723-728
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). 2002. **NIOSH Hazzard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica** (DHHS (NIOSH) Publication No. 2002-129).
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). 1998. **NIOSH NMAM 0600 for PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, RESPIRABLE.** NIOSH
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). 2003. **NIOSH NMAM 7500 for SILICA, CRYSTALLINE, by XRD (filter redeposition).** NIOSH
- Normohammadi M, Kakooei H, Omidi L, Yari D, 2016. **Risk Assessment of Exposure to Silica Dust in Building Demolition Sites.** *Safety and Health at Work* Vol 7 2016 p:251-255
- NTP. 2005. **Report on Carcinogen, Eleventh Edition. Silica. Crystalline (Respirable Size).** U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program
- Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi. 2011. **PERMEN 13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja.** Jakarta

- Regia RA, Oginawati K. 2016. **Analisis Konsentrasi Kristal Silika Terinhalasi di Lingkungan Kerja Pandai Besi Desa Mekarmaju, Kabupaten Bandung**. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II*. 19 p ktpber 2016: Padang
- Rice F, Park R, Stayner L, Smith R, Gilbert S, Checkoway H. 2001. **Crystalline silica exposure and lung cancer mortality in diatomaceous earth industry workers: a quantitative risk assessment**. *Occup Environ Medicine* Vol 58 2001 p:38-45
- Ritohardoyo,Su. 2011. **Statistik Terapan (Cara Membaca dan Interpretasi Data)**. Bahan Ajar Program Studi Geografi Pascasarjana UGM : Yogyakarta
- Santoso,Singgih. 2012. **Panduan Lengkap SPSS versi 20**. PT Gramedia : Jakarta (ISBN 978-602-00-1840-9)
- Steenland Kyle. 2005. **One Agent, Many Diseases: Exposure-Response Data and Comparative Risk of Different Outcomes Following Silica Exposure**. *American Journal of Industrial Medicine* Vol 48 2005 p:16-23
- Yuewei Liu, Kyle S, Yi Rong, Eva H, Xiji H, Hai Z, Tingming S, Tangchun W, Weihong C. 2013. **Exposure-Response Analysis and Risk Assessment for Lung Cancer in Relationship to Silica Exposure: A 44-Year Cohort Study of 34,018 Workers**. *Jurnal Am J Epidemiol* Vol 9 2013 p: 1424 – 1433
- W Chen, Zhuang Z, Attfield MD, Chen BT, Gao P, Harrison JC, Fu C, Chen J-Q, Wallace WE. 2001. **Exposure to Silica and Silicosis Among Tin Miners in China: Exposure-Response Analyses and Risk Assessment**. *Occup Environ Mwd* Vol 58 2001 p: 31-37