

**PERENCANAAN ULANG SISTEM JARINGAN VENTILASI TAMBANG  
DENGAN PEMASANGAN *EXHAUSTING MAIN FAN SYSTEM*  
DI *TUNNEL I* DAN *II* TAMBANG BATUBARA BAWAH TANAH  
PT. ALLIED INDO COAL JAYA**

**SKRIPSI**

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Pertambangan Sebagai  
Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



**Oleh:**

**NURSYAMSU**

**BP/NIM. 2012/1202084**

**Konsentrasi : Tambang Umum**  
**Program Studi : S1 Teknik Pertambangan**  
**Jurusan : Teknik Pertambangan**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2016**

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING  
SKRIPSI**

Judul : Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Dengan Pemasangan *Exhausting Main Fan System* di Tunnel I dan II Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal jaya

Nama : Nursyamsu

NIM/BP : 1202084/2012

Program Studi : S-1 Teknik Pertambangan

Jurusan : Teknik Pertambangan

Fakultas : Teknik

Padang, Januari 2017

Disetujui Oleh:

Pembimbing I



Drs. Bambang Heriyadi, M.T

NIP. 19641114 198903 1 002

Pembimbing II



Yoszi M. Anaperta, S.T, M.T

NIP. 19790304 200801 2 010

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang



Drs. Raimon Kopa, M.T

NIP. 19580313 198303 1 001



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

Jl. Prof. Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131

Telephone: FT: (0751)7055644, 445118 Fax .7055644

Homepage: <http://pertambangan.ft.unp.ac.id> E-mail : [mining@ft.unp.ac.id](mailto:mining@ft.unp.ac.id)

D

**SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : NURSYAMSU  
NIM/TM : 1202084 / 2012  
Program Studi : S.1  
Jurusan : Teknik Pertambangan  
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan Judul :

” Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Tambang  
Dengan Pemasangan Exhausting Main Fan System  
di Tunnel I dan II Tambang Batubara Bawah Tanah  
PT. Allied Indo Coal Jaya

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,  
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

**Drs. Raimon Kopa, M.T.**  
NIP. 19580313 198303 1 001

Padang, ..... Januari 2017

yang membuat pernyataan,

NURSYAMSU



Management  
System  
ISO 9001:2008

[www.tuv.com](http://www.tuv.com)  
ID 9105046446

## **BIODATA**

### **I. DATA DIRI:**

Nama Lengkap : Nursyamsu  
NIM : 1202084  
Tempat / Tanggal Lahir : Talago Sariak / 28 Maret 1995  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Nama Bapak : Nusirman  
Nama Ibu : Asni  
Jumlah Bersaudara : 4 (Empat) Orang  
Alamat Tetap : Desa Talago Sariak, Kecamatan Pariaman  
Timur, Kota Pariaman



### **II. DATA PENDIDIKAN:**

Sekolah Dasar : SD Negeri 03 Talago Sariak  
Sekolah Menengah Pertama : SMP Negeri 1 Pariaman  
Sekolah menengah Atas : SMA Negeri 1 Pariaman  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang

### **III. PENELITIAN SKRIPSI :**

Nama Perusahaan : PT. Allied Indo Coal Jaya  
Alamat Perusahaan : Sawahlunto, Sumatera Barat  
Judul Skripsi : **Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Dengan Pemasangan *Exhausting Main Fan System* di Tunnel I dan II Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya**  
Tanggal Sidang : 20 Januari 2017

Padang, Januari 2017

(Nursyamsu)  
BP. 2012/1202084

## ABSTRAK

### **Nursyamsu : Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Dengan Pemasangan *Exhausting Main Fan System* di Tunnel I dan II Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya**

Sistem ventilasi pada tambang batubara bawah tanah di *tunnel* I dan *tunnel* II PT. Allied Indo Coal Jaya saat ini menggunakan sistem hembus dengan menggunakan 2 buah *Local Fan* 11 KW. Posisi *Local Fan* terletak pada masing-masing mulut terowongan untuk menyuplai kebutuhan udara pada *front* kerja *tail gate* dan *main gate* di *tunnel* I serta *front* kerja B1-J2 di *tunnel* II. Kuantitas udara masuk pada *front* kerja *tail gate* yaitu 1,331 m<sup>3</sup>/detik, pada *front* kerja *main gate* yaitu 1,065 m<sup>3</sup>/detik dan pada *front* kerja B1-J2 0,932 m<sup>3</sup>/detik. Kuantitas udara yang tersedia saat ini sudah mencukupi kebutuhan udara pada masing-masing *front* penambangan.

Permasalahan yang terjadi di lapangan saat ini yaitu tidak adanya sirkulasi udara masuk dan keluar di dalam *front* penambangan, udara bersih yang dihembuskan oleh *local fan* ke *front* penambangan bercampur dengan udara kotor serta debu yang cukup tinggi mengakibatkan para pekerja mengalami sesak nafas dan kepanasan saat bekerja. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, temperatur kerja di *front* penambangan saat ini cukup tinggi yaitu sebesar 27<sup>0</sup>C - 28,2<sup>0</sup>C dan kelembaban udara relatif yaitu sebesar 89%, sehingga efisiensi kerja menjadi rendah yaitu sebesar 78%. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan ulang sistem jaringan ventilasi menjadi sistem *overlap* (hisap-hembus) di *tunnel* 1 dan *tunnel* 2 dengan memasang *main fan* sistem hisap daya 75 KW sebagai upaya memperbaiki sirkulasi udara saat ini.

Dari hasil simulasi dan analisis *software* kazemaru debit udara keluar yang dihasilkan oleh *main fan* sistem hisap adalah sebesar 14,6 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan debit udara yang dihasilkan oleh *local fan* menjadi lebih besar yaitu 3,2 m<sup>3</sup>/s pada *front tail gate*, 3,0 m<sup>3</sup>/s pada *main gate* dan 3,7 m<sup>3</sup>/s pada *front* B1-J2 karena *local fan* yang ada saat ini dijadikan sebagai *fan* bantu (*auxiliary fan*) yang akan dipasang pada pintu masuk tiap-tiap *front* kerja untuk menghembuskan udara bersih ke *front* penambangan.. Dengan dipasangnya *main fan* ini dapat menghisap udara kotor dan debu dari tiap-tiap *front* penambangan sehingga mampu menciptakan sirkulasi udara yang lebih baik.

**Kata Kunci : debu, kuantitas udara, *main fan*, sirkulasi udara, temperatur**

## **ABSTRACT**

**Nursyamsu : Redesigning the Mine Ventilation Network Systems by Installation 'Exhausting Main Fan System' in Tunnel I and II of Underground Coal Mine PT. Allied Indo Coal Jaya**

*Ventilation systems in underground coal mine in 'tunnel I and II' of PT. Allied Indo Coal Jaya today use blowing system by activating 2 'Local Fans' 11 KW. The 'Local Fan' position located at each tunnel mouth to supply air at the work front of tail gate and main gate in the tunnel I and B1-J2 work front in tunnel II. The quantity of air entering in work front of tail gate is 1,331 m<sup>3</sup>/s, the main gate's is 1,065 m<sup>3</sup>/s and the B1-J2 work front's is 0.932 m<sup>3</sup>/s. The quantity of air that is available today is sufficient for the air at each of the mining front.*

*The problems that occurred in the field today is no circulation of intake air in and return air in front of mining, the clean air that is exhaled by a local fan to the front of mining mixed with dirty air and dust are quite high resulting in workers experiencing shortness of breath and heat while working. Based on the results of field measurements, the working temperature in the mining front is currently quite high at 27<sup>0</sup>C - 28,2<sup>0</sup>C and relative humidity is 89%, so that the working efficiency becomes low at 78%. Therefore, it is necessary to redesign the ventilation system into a system of overlapping networks (suction-blow) in the tunnel I and tunnel II by installing the main fan power 75 KW suction systems as an effort to improve the air circulation today.*

*From the results of simulation and analysis of 'kazemaru' software, the debit of out air which generated by main fan suction system is 14.6 m<sup>3</sup>/s. While the air discharge generated by local fan becomes larger, it is 3.2 m<sup>3</sup>/s on the front tail gate, 3.0 m<sup>3</sup>/s at the main gate and 3.7 m<sup>3</sup>/s on the B1-J2 front because the existing local fan is served as auxiliary fan that will be installed at the entrance of each front work to blow clean air into the mining front. With the installation of the main fan, it can suck the dirty air and dust from each front mining so as to create a circulation better air.*

**Keywords: Dust, air quantity, main fan, air circulation, temperature**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul :  
**”Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Dengan Pemasangan *Exhausting Main Fan System* di *Tunnel I dan II Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya*”.**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan kuliah pada Program Studi Strata-1 Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang (UNP).

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan dukungan secara moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Raimon Kopa, M.T selaku ketua jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Drs. Bambang Heriyadi, M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membantu dan memberikan saran, kritikan, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Ibu Yozsi Mingsi Anaperta, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dan memberikan saran, kritikan, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Seluruh dosen pengajar Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang.

6. Ibu Nilva Yanti A.md, selaku Kepala Teknik Tambang PT. Allied Indo Coal Jaya Sawahlunto sekaligus sebagai pembimbing penulis yang telah banyak membantu dan memberi masukan kepada penulis selama melakukan penelitian di perusahaan.
7. Bapak Basri Mulyadi, selaku Kepala Tambang Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya Sawahlunto.
8. Bapak Thomas, Bapak Zulman, Bapak Muziman, Bapak Mugik, Bang Eko dan Bang Afdal yang telah banyak membantu penulis selama di lapangan.
9. Seluruh staf dan karyawan PT. Allied Indo Coal Jaya Sawahlunto .yang telah banyak membantu penulis selama di lapangan.
10. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Akhir kata dengan kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang berharga bagi kita semua, khususnya bagi penulis sendiri. Mohon maaf atas segala kekurangan.

Padang, Desember 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Batasan Masalah .....	5
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Tujuan Penelitian .....	6
F. Manfaat Penelitian .....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
A. Tinjauan Umum Perusahaan .....	8
1. Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	8
2. Gambaran Umum Tambang Bawah tanah PT. AICJ.....	9
B. Dasar Teori .....	12
1. Pengendalian Kualitas Udara Tambang.....	18
2. Pengukuran Udara Tambang.....	22
3. Debu Tambang.....	25

4. Pengendalian Kuantitas Udara Tambang.....	27
5. Prinsip Pengaliran Udara dan Perhitungan <i>Head Loss</i> .....	32
6. Sistem Ventilasi.....	35
7. Penelitian Relevan.....	45
8. Pengenalan <i>Software</i> Kazemaru.....	49
9. Pengenalan Fungsi dan Tool <i>Software</i> Kazemaru.....	50
C. Kerangka Konseptual .....	54
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>57</b>
A. Desain Penelitian.....	57
B. Teknik Pengumpulan Data.....	59
C. Teknik Analisis Data.....	60
D. Diagram Alir Penelitian.....	63
E. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	64
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>65</b>
A. Evaluasi Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah.....	65
B. Data Hasil Penelitian.....	66
C. Analisis Data.....	72
D. Kondisi Jaringan Ventilasi Saat Ini.....	85
E. Efisiensi <i>Fan</i> .....	87
F. Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi.....	98
G. Simulasi dan <i>Design</i> Sistem Jaringan Ventilasi.....	104
H. Analisis Sistem Jaringan Ventilasi Dengan Kazemaru.....	110

I. Analisis Penerapan Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Terhadap Temperatur Efektif ( $T_e$ ) dan Efisiensi Kerja .....	111
J. Hasil Perbandingan Perencanaan Ulang Sistem Ventilasi Dengan Kondisi Sistem Ventilasi Aktual.....	120
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>123</b>
A. Kesimpulan.....	123
B. Saran.....	124
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>126</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>128</b>

## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel 1	Keperluan Oksigen untuk Pernafasan Manusia Berdasarkan Jenis Kegiatan .....	14
Tabel 2	Table Kelembaban Relatif.....	15
Tabel 3	Komposisi Udara Segar.....	18
Tabel 4	Pengaruh Kekurangan Oksigen.....	18
Tabel 5	Faktor Gesekan Pipa Lama dan Baru .....	35
Tabel 6	Karakteristik <i>Fan</i> Sentrifugal.....	40
Tabel 7	Karakteristik <i>Fan</i> Aksial.....	43
Tabel 8	Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian.....	64
Tabel 9	Spesifikasi <i>Local Fan</i> di <i>tunnel</i> I PT. AICJ.....	72
Tabel 10	Spesifikasi <i>Main Fan Exhaust System</i> .....	72
Tabel 11	Evaluasi Kebutuhan Udara Pada Tiap <i>Front</i> Kerja.....	73
Tabel 12	Temperatur Efektif, Kelembaban Udara dan Efisiensi Kerja Pada Masing-masing <i>Front</i> Kerja Penambangan.....	83
Tabel 13	Hasil Evaluasi Kualitas Udara Pada Masing-masing <i>Front</i> Kerja.....	83
Tabel 14	Faktor Gesekan Pada Pipa Lama dan Baru.....	88
Tabel 15	Nilai Jari-jari Tikungan ( $r$ ), Luas Permukaan <i>Duct</i> ( $A$ ), Sudut Tikungan, Diameter <i>Duct</i> ( $d$ ), dan Keliling <i>Duct</i> ( $O$ ).....	90
Tabel 16	Nilai <i>Shock Loss Factor</i> Untuk Tikungan $90^0$ .....	91
Tabel 17	Hasil Perkalian Nilai $k$ (Faktor Koreksi) Dengan Nilai	

	<i>Shock Loss Factor</i> Pada Tikungan 90 <sup>0</sup> .....	92
Tabel 18	Hasil Perhitungan Panjang Ekvivalen (Le) Pada Belokan Terowongan.....	93
Tabel 19	Hasil Perhitungan tekanan udara dari <i>fan</i> (P).....	95
Tabel 20	Hasil Pengolahan Data Untuk Membuat Simulasi dan <i>Design</i> Sistem Jaringan Ventilasi Dengan <i>Software</i> Kazemaru.....	104
Tabel 21	Perbandingan Analisis Perencanaan Ulang Sistem Ventilasi Dengan Memasang <i>Main Fan</i> Sistem Hisap Dengan Kondisi Sistem Ventilasi Aktual.....	121

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1	<i>Tunnel I</i> PT. AICJ..... 10
Gambar 2	Sistem Penyangga di PT. AICJ ..... 10
Gambar 3	<i>Local Fan</i> di PT. AICJ..... 12
Gambar 4	Grafik Temperatur Efektif ..... 16
Gambar 5	Hubungan Antara Efisiensi Kerja dan Temperatur Efektif ..... 17
Gambar 6	<i>Anemometer Digital</i> dan <i>Multi Gas Detector</i> ..... 23
Gambar 7	<i>Chart Shock Loss Factor</i> Untuk Tikungan 90 <sup>0</sup> ..... 34
Gambar 8	<i>Chart</i> Faktor Koreksi Untuk Tikungan Selain 90 <sup>0</sup> ..... 34
Gambar 9	<i>Exhaust System</i> ..... 37
Gambar 10	<i>Forcing System</i> ..... 38
Gambar 11	<i>Overlap System</i> ..... 39
Gambar 12	<i>Fan</i> Sentripugal..... 42
Gambar 13	<i>Fan</i> Aksial..... 44
Gambar 14	Desain Ventilasi Tambang Dengan Kazemaru..... 50
Gambar 15	Syarat-syarat Penggunaan Kazemaru ..... 52
Gambar 16	Kerangka Konseptual Penelitian..... 54
Gambar 17	Diagram Alir Peneltian..... 63
Gambar 18	Grafik Temperatur Efektif <i>Front Tail Gate</i> ..... 77
Gambar 19	Grafik Hubungan Temperatur Efektif Dengan Efisiensi Kerja. 78
Gambar 20	Grafik Temperatur Efektif <i>Front Main Gate</i> ..... 79
Gambar 21	Grafik Hubungan Temperatur Efektif Dengan Efisiensi Kerja. 80

Gambar 22	Grafik Temperatur Efektif <i>Front</i> B1-J2 .....	81
Gambar 23	Grafik Hubungan Temperatur Efektif Dengan Efisiensi Kerja.	82
Gambar 24	Peta <i>Layout</i> Penambahan dan Posisi <i>Local Fan</i> .....	87
Gambar 25	Pembagian Segmen Pada Belokan Saluran Udara.....	89
Gambar 26	<i>Chart Shock Loss Factor</i> .....	90
Gambar 27	Chart Faktor Koreksi Tikungan Dengan Sudut Selain 90 <sup>0</sup> .....	91
Gambar 28	Pembuatan Node Pada <i>Software Kazemaru</i> .....	106
Gambar 29	Pembuatan <i>Road</i> Pada <i>Software Kazemaru</i> .....	107
Gambar 30	Pembuatan <i>Fan</i> Pada <i>Software Kazemaru</i> .....	108
Gambar 31	Analisis Sistem Jaringan Ventilasi Dengan <i>Kazemaru</i> .....	109
Gambar 32	Tampilan 3D <i>Design</i> Sistem Jaringan Ventilasi Dengan Menggunakan <i>Software Kazemaru</i> .....	110
Gambar 33	Tampilan <i>Design</i> 2D Sistem Jaringan Ventilasi Dengan Memasang <i>Main Fan</i> Sistem Hisap .....	112
Gambar 34	Tampilan <i>Design</i> Sistem Jaringan Ventilasi Dengan Sistem Overlap (Hisap-Hembus).....	113
Gambar 35	Grafik Temperatur Efektif <i>Front Tail Gate</i> .....	115
Gambar 36	Grafik Temperatur Efektif <i>Front Tail Gate</i> .....	116
Gambar 37	Grafik Temperatur Efektif <i>Front Tail Gate</i> .....	117
Gambar 38	Grafik Hubungan Temperatur Efektif Dengan Efisiensi Kerja.	118
Gambar 39	Grafik Hubungan Temperatur Efektif Dengan Efisiensi Kerja.	119
Gambar 40	Grafik Hubungan Temperatur Efektif Dengan Efisiensi Kerja.	120

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara Pada <i>Front</i> Kerja <i>Tail Gate</i> Blok I <i>Tunnel</i> I.....	128
Lampiran 2. Pengukuran Luas Penampang Jalur Udara (Pipa Ventilasi).....	130
Lampiran 3. Hasil Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Udara <i>Front</i> Kerja <i>Tail Gate</i> Blok I <i>Tunnel</i> .....	131
Lampiran 4. Hasil Pengukuran Gas di <i>Front</i> Kerja <i>Tail Gate</i> Blok 1 <i>Tunnel</i> I.....	133
Lampiran 5. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara Pada <i>Front</i> Kerja <i>Main Gate</i> Blok I <i>Tunnel</i> I.....	135
Lampiran 6. Hasil Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Udara <i>Front</i> Kerja <i>Main Gate</i> Blok I <i>Tunnel</i> .....	137
Lampiran 7. Hasil Pengukuran Gas di <i>Front</i> Kerja <i>Main Gate</i> Blok 1 <i>Tunnel</i> I.....	139
Lampiran 8. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara Pada <i>Front</i> Kerja B1-J2 <i>Tunnel</i> II.....	141
Lampiran 9. Hasil Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Udara <i>Front</i> Kerja B1-J2 <i>Tunnel</i> II.....	143
Lampiran 10. Hasil Pengukuran Gas di <i>Front</i> Kerja B1-J2 <i>Tunnel</i> II.....	145
Lampiran 11. Pengukuran Dimensi dan Luas Penampang Terowongan.....	146
Lampiran 12. Sketsa Aliran Udara Pada Sistem Ventilasi Tambang PT.AICJ.	154
Lampiran 13. Tampilan 3D <i>Design</i> Perencanaan Ulang Sistem Ventilasi.....	155

Lampiran 14. Peta Geologi Kota Sawahlunto.....	156
Lampiran 15. Statigrafi Cekungan Ombilin Darah Penelitian.....	157
Lampiran 16. Peta IUP PT. Allied Indo Coal Jaya.....	158
Lampiran 17. Peta Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	159
Lampiran 18. Dokumentasi Lapangan.....	160
Lampiran 19. Peta <i>Layout</i> Tambang Bawah Tanah PT. AICJ.....	161
Lampiran 20. Kepmen 55.K/26/M.PE/1995.....	163
Lampiran 21. Struktur Organisasi PT.AICJ.....	164
Lampiran 22. Dokumentasi <i>Main Fan</i> .....	165
Lampiran 23. Tabel Panjang Ekuivalen Belokan Terowongan.....	166

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Sistem penambangan bawah tanah sangat berbeda dengan sistem penambangan terbuka. Salah satu aspek yang harus diperhatikan, yaitu *supply* udara bersih ke dalam tambang, karena sistem penambangan bawah tanah tidak bersentuhan langsung dengan udara bebas. Sehingga diperlukan *supply* udara bersih baik untuk pekerja maupun untuk peralatan mekanis melalui suatu sistem ventilasi tambang.

Sistem ventilasi tambang merupakan suatu usaha pengendalian terhadap pergerakan udara atau aliran udara tambang bawah tanah dengan parameter yang harus dipenuhi pada ventilasi adalah kuantitas, kualitas dan arah alirannya. Pada tambang bawah tanah sistem ventilasi sangat berperan penting untuk memenuhi kebutuhan pernafasan pekerja, menetralkan gas-gas beracun, mengurangi konsentrasi debu yang berada di dalam tambang dan untuk mengatur temperatur udara tambang sehingga dapat menciptakan kondisi kerja yang aman dan nyaman.

Ventilasi udara pada tambang bawah tanah merupakan hal yang sangat penting peranannya dalam mendukung segala aktivitas di dalam tambang bawah tanah sehingga sistem ventilasi yang kurang baik akan dapat meningkatkan temperatur efektif pada *front* kerja sehingga efisiensi kerja menjadi rendah yang disebabkan kurang nyamannya pekerja di dalam *front* penambangan, menurunkan produktivitas dan mungkin dapat

menimbulkan kecelakaan kerja. Salah satu penyebabnya adalah dikarenakan belum dikaji mengenai kinerja alat (efisiensi *fan*) yang digunakan dalam perencanaan sistem jaringan ventilasi sehingga kuantitas udara yang dialirkan tidak sesuai dengan kuantitas udara yang semestinya.

Saat ini PT. Allied Indo Coal Jaya melakukan penambangan batubara dengan cara tambang bawah tanah sistem *room and pillar* di *tunnel 1* dan *tunnel 2*. Melihat kondisi di lapangan yang ada saat ini sistem ventilasi yang digunakan di *tunnel 1* dan *tunnel 2* PT. Allied Indo Coal Jaya adalah sistem ventilasi hembus (*forcing*) menggunakan 2 unit *local fan* dengan daya 11 kW di *tunnel 1* untuk melayani 2 *front* kerja yaitu *front tail gate* dan *front main gate*. Sedangkan di *tunnel 2* menggunakan 1 unit *local fan* dengan daya 11 kW untuk melayani 2 *front* kerja yaitu *front B1-J1* dan *front B1-J2*. Permasalahan yang terjadi di lapangan saat ini adalah tidak adanya sirkulasi udara masuk dan udara keluar di dalam *front* penambangan, udara bersih yang dihembuskan oleh *local fan* ke *front* penambangan bercampur dengan udara kotor serta debu yang cukup tinggi mengakibatkan para pekerja mengalami sesak nafas dan kepanasan saat bekerja, serta lubang maju sedalam 207 meter di *tunnel 1* tidak mendapatkan *supply* udara sehingga sangat mengkhawatirkan adanya gas-gas berbahaya di dalam tambang ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  maupun debu batubara) yang tidak bisa keluar (menempel di dinding ataupun di atap terowongan). Dari pengamatan penulis di lapangan, para pekerja tidak menggunakan masker sehingga sangat beresiko mengancam kesehatannya karena

paparan debu yang cukup tinggi. Tingkat debu batubara yang tinggi sangat membahayakan kesehatan karena dapat menyebabkan pekerja terkena penyakit paru-paru hitam, paru-paru hitam merupakan penyakit pernafasan yang terjadi karena menghirup debu batubara dalam jangka panjang. Akibat terus menerus menghirup udara tercemar debu pekat itu, paru-paru pekerja akan terkontaminasi partikel batubara hingga kondisinya menghitam (Tugaswati, 2006). Selain penyakit paru-paru hitam, debu batubara juga menyebabkan berbagai penyakit lain seperti TBC, asma, dan kanker paru-paru (Qomariyatus, 2008).

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, temperatur kerja di *front* penambangan saat ini cukup tinggi yaitu sebesar  $27^{\circ}\text{C}$  -  $28,2^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara relatif yaitu sebesar 89%. Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban udara di lapangan telah melebihi nilai ambang batas yang diizinkan sesuai dengan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum Bagian Kedelapan Mengenai Ventilasi, dimana untuk temperatur efektif nilai ambang batasnya adalah  $18^{\circ}\text{C}$  -  $24^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara maksimal sebesar 85%.

Semakin majunya penambangan maka semakin panjang jalur udara (*airway*) yang akan mengakibatkan menurunnya kecepatan udara untuk sampai ke *front* kerja penambangan, sehingga perlu dievaluasi mengenai efisiensi kinerja *fan* untuk mengetahui sejauh mana jarak maksimum kemampuan *fan* dalam mengalirkan udara ke *front* penambangan. Pada

saat ini PT. Allied Indo Coal Jaya akan melakukan pemasangan *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) dengan daya 75 kW di *tunnel 1* dan *tunnel 2*, sebagai upaya memperbaiki sirkulasi udara saat ini.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini dilakukan untuk membuat suatu perencanaan sistem jaringan ventilasi yang optimal di *tunnel 1* dan *2* dengan mempertimbangkan efisiensi kinerja *fan* yang ada di lapangan saat ini. Sehingga penulis mengambil judul penelitian tentang **“Perencanaan Ulang Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Dengan Pemasangan *Main Fan Exhaust System* di *Tunnel I* dan *II* Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya”**

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. Tidak adanya sirkulasi udara bersih dan kotor di dalam *front* penambangan, udara bersih yang dihembuskan oleh *local fan* ke *front* penambangan bercampur dengan udara kotor serta debu yang cukup tinggi mengakibatkan para pekerja mengalami sesak nafas dan kepanasan saat bekerja di dalam *front* penambangan karena belum adanya sistem ventilasi tambang yang baik saat ini.
2. Lubang maju sedalam 207 meter di *tunnel 1* tidak mendapatkan *supply* udara sehingga sangat mengkhawatirkan adanya gas-gas berbahaya di dalam tambang ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  maupun debu batubara) yang tidak bisa keluar (menempel di dinding ataupun di atap terowongan).

3. Belum dikaji mengenai efisiensi kinerja dari *fan* yang digunakan di *tunnel 1* dan *tunnel 2* saat ini untuk mengetahui sejauh mana jarak maksimum kemampuan *fan* dalam mengalirkan udara ke *front* penambangan.
4. Belum ada kajian mengenai perencanaan sistem jaringan ventilasi tambang dengan pemasangan *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) untuk memperbaiki sistem ventilasi tambang yang ada saat ini di *tunnel 1* dan *tunnel 2* PT. Allied Indo Coal Jaya.

### C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pengukuran mengenai tingkat debu pada *front* penambangan tidak dilakukan karena keterbatasan alat di lapangan.
2. Analisis kuantitas dan kualitas udara untuk kebutuhan operasional penambangan batubara dan kajian efisiensi *fan* pada sistem ventilasi tambang hanya dilakukan di *front* kerja *tunnel 1* dan *tunnel 2* PT. AICJ
3. Perencanaan dan simulasi sistem jaringan ventilasi tambang dengan pemasangan *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) hanya dilakukan di *front* penambangan batubara *tunnel 1* dan *tunnel 2* PT. Allied Indo Coal Jaya.
4. Simulasi dan *design* sistem ventilasi tambang dengan *software* kazemaru tidak mempertimbangan kondisi terowongan secara aktual (terowongan dalam keadaan ideal).

#### **D. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah kuantitas dan kualitas udara pada *front tunnel* 1 dan *tunnel* 2 penambangan di PT. AICJ telah memenuhi standar yang telah diatur dalam Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum Bagian Kedelapan Mengenai Ventilasi?
2. Berapa efisiensi dari *fan* pada sistem ventilasi tambang di PT. Allied Indo Coal Jaya yang ada saat ini?
3. Bagaimana simulasi sistem jaringan ventilasi tambang dengan pemasangan *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) di penambangan batubara *tunnel* 1 dan *tunnel* 2?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan hasil evaluasi kuantitas dan kualitas udara pada *front* penambangan di PT. AICJ berdasarkan standar yang telah diatur dalam Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum Bagian Kedelapan Mengenai Ventilasi Tambang.
2. Memperoleh nilai efisiensi dari *fan tunnel* 1 dan *tunnel* 2 pada sistem ventilasi tambang di PT. Allied Indo Coal Jaya untuk menentukan jarak maksimum dorongan udara sesuai kapasitas udara yang

dibutuhkan sehingga dapat dioptimalkan penggunaan *fan* sesuai kondisi alat aktual di lapangan.

3. Mensimulasikan sistem jaringan ventilasi tambang dengan pemasangan *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) di *tunnel 1* dan *tunnel 2* pada penambangan batubara bawah tanah PT. Allied Indo Coal Jaya menggunakan *software kazemaru*

#### **F. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan bagi penulis dapat menambah wawasan dan pengetahuan yang diperoleh selama penelitian berlangsung dengan teori yang sudah diperoleh di perkuliahan. Secara teoretis, penelitian ini dapat menambah jumlah penelitian tentang perencanaan sistem jaringan ventilasi tambang. Secara praktis, penelitian ini dapat bermanfaat bagi: (1) untuk pembaca, dapat menambah pengetahuan dan wawasan tentang sistem ventilasi tambang, (2) untuk para peneliti yang lainnya dapat menjadikan penelitian ini sebagai bahan perbandingan dalam penelitian tentang sistem ventilasi tambang, dan (3) bagi perusahaan dapat memberikan masukan kepada PT. Allied Indo Coal Jaya mengenai perencanaan sistem jaringan ventilasi yang baik dengan pemasangan *main fan* sistem hisap sebagai upaya menciptakan sirkulasi udara yang baik di dalam *front* penambangan. Sehingga dapat menciptakan kondisi kerja yang aman dan nyaman bagi pekerja serta dapat meningkatkan efisiensi kerja yang berpengaruh pada peningkatan produksi.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Tinjauan Umum Perusahaan**

##### **1. Lokasi dan Kesampaian Daerah**

Secara administratif konsesi penambangan PT. Allied Indo Coal Jaya berada di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kotamadya Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, wilayah tersebut terletak di sebelah Timur Laut Kota Padang. Secara geografis Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT. AICJ terletak pada koordinat  $100^{\circ}46'48''$  BT -  $100^{\circ}48'47''$  BT dan  $0^{\circ}35'34''$  LS -  $0^{\circ}36'59''$  LS, dengan batas lokasi kegiatan sebagai berikut:

- a. Sebelah utara : Wilayah Desa Batu Tanjung dan Desa Tumpuak Tengah, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto
- b. Sebelah Timur : Wilayah Jorong Bukit Bua dan Koto Panjang Nagari V Koto, Kecamatan Koto VII, Kabupaten Sijunjung
- c. Sebelah Selatan :
  - 1) Wilayah Jorong Koto Panjang Nagari V Koto, Kecamatan Koto VII, Kabupaten Sijunjung.
  - 2) Wilayah Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto
- d. Sebelah Barat : Wilayah Desa Salak dan Desa Sijantang Koto, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto

Untuk mencapai Wilayah Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi PT. Allied Indo Coal Jaya dari Ibu Kota Provinsi Sumatera Barat (Padang) dapat ditempuh dengan menggunakan jalur Lintas Sumatera melalui Lubuk Selasih – Kota Solok – Kota Sawahlunto sejauh 90 km dengan waktu tempuh  $\pm$  3-4 jam dengan menggunakan kendaraan roda 4.

## **2. Gambaran Umum Tentang Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya**

Metode tambang bawah tanah yang digunakan pada tambang bawah tanah PT. AICJ adalah *Room & Pillar* dimana cadangan yang tidak diekstraksi dimanfaatkan sebagai penyangga atau disebut sebagai *pillar*, namun metode bisa saja berubah sesuai dengan keadaan material. Aktivitas penambangan yang dilakukan pada saat penulis melakukan penelitian adalah pekerjaan penggalian lubang bukan sebagai jalan masuk (kedalaman  $\pm$  250 m pada *tunnel* I dan  $\pm$  175 m pada *tunnel* II). Adapun tenaga kerja adalah 1 regu dengan 3 atau 4 orang untuk setiap *front* kerja.

### **a. Penyanggaan (*supporting*)**

Penyanggaan pada kegiatan tambang bawah tanah berfungsi untuk menjaga kestabilan penampang lubang bukaan yang telah digali, sehingga dapat melindungi pekerja dan peralatan tambang dari runtuh batuan. Pada kegiatan tambang bawah tanah khususnya pembuatan lubang maju PT AICJ menggunakan jenis penyangga baja *I-beam* sistem *Three piece sets*

Berikut ini gambar lubang bukaan dan penyanggaan pada *tunnel* 1 di PT. AICJ :



*sumber dokumentasi penulis 2016*

**Gambar 1. Tunnel 2 PT. AICJ**

Berikut ini gambar lubang bukaan dan penyanggaan pada *tunnel* 1 di PT. AICJ :



*Sumber dokumentasi penulis 2016*

**Gambar 2. Sistem Penyanggaan di PT. AICJ**

## b. Sistem Ventilasi Tambang

Suatu sistem ventilasi sangat penting untuk pekerjaan pembuatan lubang bukaan. Sistem ventilasi udara ini terdiri dari sebuah kipas di pintu masuk lubang (*portal*) atau *shaft*, dan sebuah saluran udara sampai di dekat permukaan kerja. Jumlah udara yang dibutuhkan akan bervariasi tergantung kondisi kerja dengan persyaratan utamanya adalah menjaga agar jumlah debu pada muka galian di bawah 200 partikel/cm<sup>3</sup>. Lubang bukaan harus secara tetap disuplai dengan udara segar untuk menyediakan udara bersih yang cukup untuk pekerja, untuk pendinginan lubang bukaan, dan pembuangan gas yang ada.

Saat ini sistem ventilasi pada tambang batubara bawah tanah PT. AICJ menggunakan sistem hembus, dimana udara segar dari luar terowongan dialirkan ke dalam terowongan melalui pipa ventilasi. Mesin angin dihidupkan minimal 30 menit sebelum kegiatan penambangan, hal ini bertujuan untuk menetralsir kandungan gas metan, selanjutnya dilakukan pengecekan kandungan gas.

Berikut ini gambar *local fan* yang terdapat di pintu masuk tunnel PT. AICJ :



*sumber dokumentasi penulis 2016*

**Gambar 3. Local Fan di PT. AICJ**

## **B. DASAR TEORI**

Ventilasi merupakan suatu usaha pengendalian terhadap pergerakan atau aliran udara tambang, termasuk didalamnya adalah jumlah, mutu dan arah alirannya. Secara teknis, ventilasi tambang harus merupakan pengaturan total baik dari segi ketersediaan udaranya maupun bukaan saluran udara dan peralatan pengaliran yang dibutuhkan. Pembagian udara segar kedalam tambang bawah tanah dimaksudkan untuk menciptakan ruang kerja yang aman dan nyaman. Adapun tujuan dari ventilasi tambang adalah :

- Menyediakan oksigen yang cukup untuk pernafasan dan proses-proses dalam tambang.
- Mengencerkan gas-gas beracun yang ada didalam tambang, sehingga tidak membahayakan bagi para pekerja.

- Mengurangi konsentrasi debu yang timbul akibat kegiatan yang dilakukan di dalam tambang.
- Menurunkan temperatur udara tambang, sehingga dapat dicapai lingkungan kerja yang aman dan nyaman.

## 1. Pengendalian Kualitas Udara Tambang

### a. Perhitungan Keperluan Udara Segar

Jenis kegiatan manusia dapat dibedakan atas (Hartman, 1982, “materi *Ventilasi Tambang*”, Balai Diklat TBT, 2002, halaman 3) :

- 1) Dalam keadaan istirahat
- 2) Dalam kegiatan kerja moderat, misalnya kerja kantor
- 3) Dalam kegiatan kerja keras, misalnya olahraga atau kerja tambang.

Laju pernafasan per menit didefinisikan sebagai banyaknya udara dihirup dan dihembuskan per satuan waktu satu menit. Pada manusia yang bekerja keras, angka bagi pernafasan ini (*respiratori quotient*) sama dengan satu, yang berarti bahwa jumlah CO<sub>2</sub> yang dihembuskan sama dengan jumlah O<sub>2</sub> yang dihirup pada pernafasannya. Gambaran mengenai keperluan oksigen pada pernafasan pada tiga jenis kegiatan manusia secara umum dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Keperluan Oksigen untuk Pernafasan Manusia Berdasarkan Jenis Kegiatan (Hartman, 1982)

Kegiatan Kerja	Laju Pernafasan Per Menit	Udara Terhirup Per Menit dalam $\text{in}^3/\text{menit}$ ( $10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ )	Oksigen Terkonsumsi cfm ( $10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$ )	Angka Bagi Pernafasan (respiratori quoient)
Istirahat	12 – 18	300-800 (0,82-2,18)	0,01 (0,47)	0,75
Kerja Moderat	30	2800-3600 (7,64-9,83)	0,07 (3,3)	0,9
Kerja Keras	40	6000 (16,4)	0,10 (4,7)	1,0

Sumber: Materi Ventilasi Tambang Balai Diklat TBT

Ada dua cara perhitungan untuk menentukan jumlah udara yang diperlukan perorang untuk pernafasan (Hartman,1982 “Materi Ventilasi Tambang”, Balai Diklat TBT, 2002, halaman 3), yaitu :

- 1) Atas dasar kebutuhan  $\text{O}_2$  minimum, yaitu 19,5 %

Pada pernafasan, jumlah oksigen akan berkurang sebanyak 0,1 cfm, sehingga akan dihasilkan persamaan untuk jumlah oksigen sebagai berikut :

$$0,21Q - 0,1 = 0,195Q$$

(kandungan oksigen) – (jumlah oksigen pernafasan) = (kandungan oksigen minimum untuk udara pernafasan).

- 2) Atas dasar kandungan  $\text{CO}_2$  maksimum, yaitu 0,5 %

$$0,0003Q - 0,1 = 0,005Q$$

(kandungan  $\text{CO}_2$  dalam udara normal) – (jumlah  $\text{CO}_2$  hasil pernafasan) = (kandungan  $\text{CO}_2$  maksimum dalam udara).

**b. Kelembaban Relatif Udara**

Kelembaban relatif udara merupakan bilangan yang dinyatakan dalam persen (%) yang menunjukkan perbandingan antara jumlah uap yang dikandung udara pada temperatur tertentu terhadap jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung pada temperatur yang sama. Pada dasarnya kandungan uap air dalam udara akan memiliki temperatur yang lebih hangat dibandingkan dengan uap air yang tercampur dalam udara dingin.

Menurut Joseph J Walsh (dalam Ari Febrianda Bafnis,2014: 20 ) dari buku yang berjudul “*The Physics and Chemistry of Mining and Mine Ventilation*”, Untuk menentukan kelembaban relatif (RH) dapat dilihat menggunakan tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Table Kelembaban Relatif (Rh)

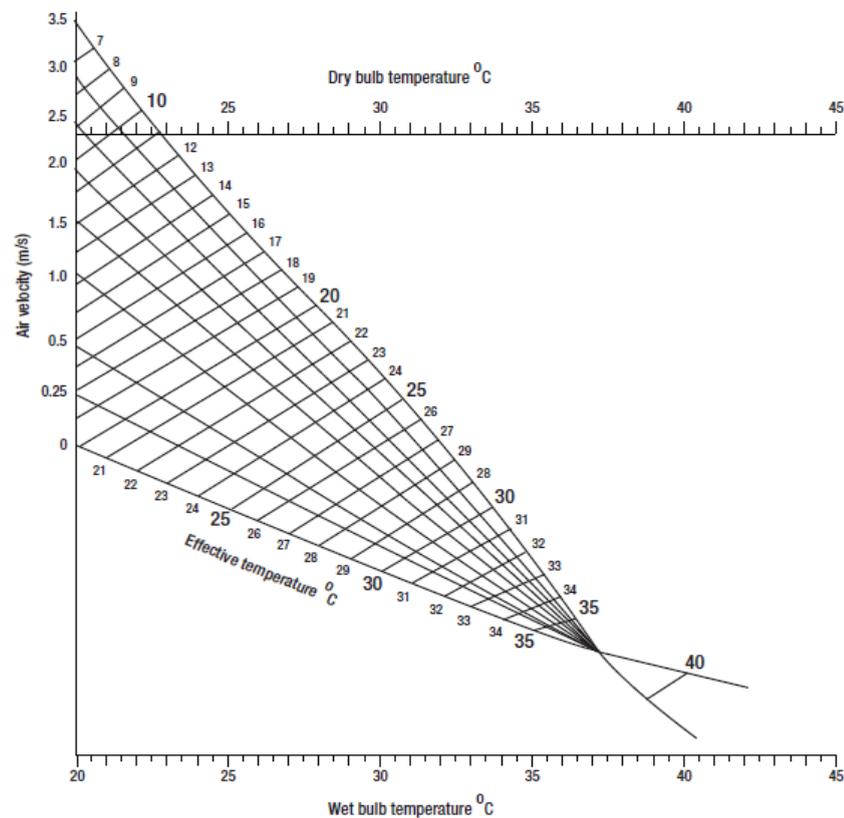
TABLE G RELATIVE HUMIDITY, PER CENT—FAHRENHEIT TEMPERATURES Pressure = 30.0 Inches																					
Dry- bulb Read- ing.	Difference between Dry and Wet Bulbs.																				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
20	92	85	77	70	2	55	48	40	33	26	19	12	5								
21	92	85	78	71	63	56	49	42	35	28	21	15	8	1							
22	93	86	78	71	65	58	51	44	37	31	24	17	11	4							
23	93	86	79	72	66	59	52	46	39	33	26	20	14	7	1						
24	93	87	80	73	67	60	54	47	41	35	29	22	16	10	4						
25	94	87	81	74	68	62	55	49	43	37	31	25	19	13	7	1					
26	94	87	81	75	69	63	57	51	45	39	33	27	21	16	10	4					
27	94	88	82	76	70	64	58	52	47	41	35	29	24	18	13	7	2				
28	94	88	82	76	71	65	59	54	48	43	37	32	26	21	15	10	5				
29	94	88	83	77	72	66	60	55	50	44	39	34	28	23	18	13	8	3			
30	94	89	83	78	73	67	62	56	51	46	41	36	31	26	21	16	11	6	1		
31	94	89	84	78	73	68	63	58	52	47	42	37	33	28	23	18	13	8	4		
32	95	89	84	79	74	69	64	59	54	49	44	39	35	30	25	20	16	11	7	2	
33	95	90	85	80	75	70	65	60	56	51	46	41	37	32	27	23	18	14	9	5	0
34	95	90	86	81	76	71	66	62	57	52	48	43	38	34	29	25	21	16	12	8	3
35	95	91	86	81	77	72	67	63	58	54	49	45	40	36	32	27	23	19	14	10	6
36	95	91	86	82	77	73	68	64	60	55	51	46	42	38	34	29	25	21	17	13	9
37	95	91	87	83	78	74	69	65	61	57	53	48	44	40	36	31	27	23	19	15	11
38	96	91	87	83	79	75	70	66	62	58	54	50	46	42	37	33	29	25	21	17	14
39	96	92	87	83	79	75	71	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	24	20	16
40	96	92	87	83	79	75	71	68	64	60	56	52	48	45	41	37	33	29	26	22	18
41	96	92	88	84	80	76	72	69	65	61	57	54	50	46	42	39	35	31	28	24	20
42	96	92	88	85	81	77	73	69	65	62	58	55	51	47	44	40	36	33	30	26	23
43	96	92	88	85	81	77	73	70	66	63	59	55	52	48	45	42	38	35	31	28	25
44	96	93	88	85	81	78	74	71	67	63	60	56	53	49	46	43	39	36	33	30	26

Sumber : *The Physics and Chemistry of Mining and Mine Ventilation*

### c. Temperatur Efektif

Perbedaan antara temperatur cembung kering dan cembung basah menyatakan faktor kenyamanan di dalam udara lembab. Agar seseorang dapat bekerja dengan nyaman di lingkungan udara dengan kelembaban relatif 80 % diperlukan perbedaan  $t_d - t_w$  sebesar  $5^{\circ}\text{F}$  ( $2,8^{\circ}\text{C}$ ).

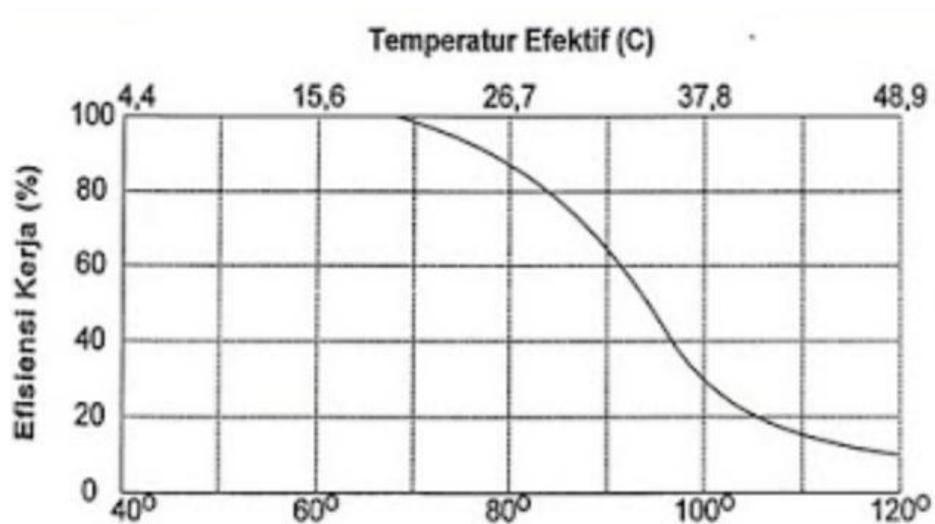
Dalam menduga temperatur efektif dari suatu kondisi  $t_d - t_w$  serta kecepatan aliran udara tertentu dapat menggunakan grafik berikut (*Prevention of Heat Illness in Mine*, halaman 13).



Sumber : *Prevention of Heat Illness in Mine*

**Gambar 4. Grafik Temperatur Efektif**

Efisiensi kerja seseorang bergantung langsung kepada temperatur ambient dan akan berkurang / menurun bila temperaturnya berada diluar rentan 68–72<sup>0</sup>F (20<sup>0</sup>C – 22,2<sup>0</sup>C). Hubungan antara efisiensi kerja dengan temperatur efektif dijelaskan pada grafik berikut :



Sumber : Materi Peranginan dan Ventilasi Tambang 2002, halaman 30

**Gambar 5. Hubungan Antara Efisiensi Kerja dan Temperatur Efektif**

#### d. Standar Kualitas Udara Tambang Bawah Tanah

Komposisi Udara segar normal yang dialirkan pada ventilasi tambang terdiri dari Nitrogen, Oksigen, Karbondioksida, Argon dan Gas-gas lain seperti terlihat pada tabel berikut (Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, Raja V. Ramani, Y. J. Wang, *Mine Ventilation and Air Conditioning*, 1997, halaman 12) :

Tabel 3. Komposisi Udara Segar (Hartman,1997)

Unsur	Persen Volume (%)	Persen Berat (%)
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	78,09	75,53
Oksigen (O <sub>2</sub> )	20,95	23,14
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	0,03	0,046
Argon (Ar) dll	0,93	1,284

Sumber : *Mine Ventilation and Air Conditioning*

#### 1) Kandungan Oksigen Dalam Udara

Dalam udara normal, kandungan oksigen adalah 21 % dan udara dianggap layak untuk suatu pernafasan apabila kandungan oksigen tidak boleh kurang dari 19,5 % (Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, Raja V. Ramani, Y. J. Wang, “*Mine Ventilation and Air Conditioning*”, 1997, halaman 31).

Kekurangan oksigen dalam udara yang digunakan bagi pernafasan akan berpengaruh terhadap keadaan fisiologi manusia, seperti diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Pengaruh Kekurangan Oksigen

Kandungan O <sub>2</sub> di Udara	Pengaruh
17%	• Laju pernafasan meningkat (ekuivalen dengan ketinggian 1600 m)
15%	• Terasa pusing, suara mendesing dalam telinga dan jantung berdetak cepat
13%	• Kehilangan Kesadaran
9%	• Pucat dan jatuh pingsan
7%	• Sangat membahayakan kehidupan
6%	• Kejang kejang dan kematian

Sumber: Materi perangan (ventilasi) tambang

## 2) Gas-Gas Pengotor

### a) Karbon Monoksida (CO)

Karbonmonoksida merupakan gas beracun yang sangat mematikan karena sifatnya yang kumulatif, Misalnya gas CO padakandungan 0,04 % dalam udara apabila terhirup selama satu jam baru memberikan sedikit perasaan tidak enak, namun dalam waktu 2 jam dapat menyebabkan rasa pusing dan setelah 3 jam akan menyebabkan pingsan/tidak sadarkan diri dan pada waktu lewat 5 jam dapat menyebabkan kematian. (*Sumber: Materi peranginan (ventilasi) tambang*)

### b) Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

Gas ini tidak berwarna dan tidak berbau dan tidak mendukung nyala api dan bukan gas racun. Dalam udara normal kandungan CO<sub>2</sub> adalah 0,03 %. Gas ini bersumber dari hasil pembakaran, hasil peledakan atau dari lapisan batuan dan dari hasil pernafasan manusia.

Pada kandungan CO<sub>2</sub> = 0,5% laju pernafasan manusia mulai meningkat. Pada kandungan CO<sub>2</sub> = 3% laju pernafasan menjadi dua kali lipat dari keadaan normal. Pada kandungan CO<sub>2</sub> = 5% laju pernafasan meningkat tiga kali lipat dan pada kandungan CO<sub>2</sub> = 10% manusia hanya dapat bertahan beberapa menit. (*Sumber: Materi peranginan (ventilasi) tambang*)

c) Methan ( $\text{CH}_4$ )

Gas methan merupakan gas yang selalu berada dalam tambang batubara dan sering merupakan sumber dari satu ledakan tambang. Apabila kandungan methan dalam udara tambang bawah tanah mencapai 1% maka seluruh hubungan mesin listrik harus dimatikan.

Menurut Kepmen 555, pengukuran gas methan harus dilakukan sekurang kurangnya pada :

- Masing-masing pada permukaan kerja dari setiap lokasi penggalian.
- Setiap penggalian lubang maju.
- Pada percabangan jalan aliran udara tempat keluar udara kotor dari lokasi kerja.
- Tempat yang jaraknya kurang dari 30 sentimeter kearah ambrukan atau bekas penggalian atau pada dinding penyangga alami dijalur jalan udara kotor.
- Tempat tertentu sepanjang jalan yang diperkirakan terakumulasi gas metana.
- Pada pipa monitor gas yang dipasang pada daerah yang telah ditutup kedap.

d) Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )

Gas ini tidak berwarna, merupakan gas racun dan dapat meledak, merupakan hasil dekomposisi dari senyawa belerang.

Gas  $H_2S$  mempunyai bau yang sangat jelas, namun kepekaan terhadap bau ini akan dapat rusak akibat reaksi gas  $H_2S$  terhadap gas penciuman. Pada kandungan  $H_2S = 0,01\%$  untuk selama waktu 15 menit, maka kepekaan manusia akan bau ini sudah akan hilang.

e) Sulfur Dioksida ( $SO_2$ )

Gas ini tidak berwarna dan tidak bisa terbakar. Merupakan gas racun yang terjadi apabila ada senyawa belerang yang terbakar.

f) Nitrogen Oksida ( $NO_x$ )

Gas ini sebenarnya merupakan gas yang inert, namun pada keadaan tertentu dapat terosidasi dan dapat menghasilkan gas yang sangat beracun. Terbentuknya dalam tambang bawah tanah sebagai hasil peledakan dan gas buang dari motor bakar. Harga ambang batasnya ditetapkan 5 ppm, baik untuk waktu terendah maupun untuk waktu 8 jam kerja.

**e. Pengendalian Gas Gas Tambang**

Beberapa cara pengendalian yang dapat dilakukan terhadap pengotor gas pada tambang bawah tanah (Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, Raja V. Ramani, Y. J. Wang, *Mine Ventilation and Air Conditioning*, 1997, halaman 8), yaitu :

- 1) Pencegahan (Prevention)
- 2) Pemindahan (removal)
- 3) Absorpsi (Absorption)

4) Isolasi (Isolation)

5) Pelarutan (Dilution)

Jumlah udara segar yang diperlukan untuk mengencerkan suatu masukan gas sampai nilai MAC dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, Raja V. Ramani, Y. J. Wang, *Mine Ventilation and Air Conditioning*) :

$$Q = (Q_g / (MAC) - B) - Q_g$$

Dimana :  $Q_g$  = masukan gas pengotor

$B$  = Konsentrasi gas dalam udara normal

## 2. Pengukuran Udara Tambang

Pada sistem ventilasi tambang peralatan ventilasi merupakan suatu hal yang sangat penting. Dengan semua jenis dari mesin penggerak yang merupakan suatu rangkaian komponen alat yang berfungsi untuk menekan secara memompa udara yang segar dan baik supaya mengalir pada lubang bawah tanah. Pada dasarnya peralatan ventilasi tambang meliputi *fan*, kompresor, *anemometer*, *duct*, manometer, *pitot tube*, *sling psychrometer*, regulator dan yang lainnya yang mendukung pada sistem ventilasi.

### a. Kecepatan Angin

Untuk mengukur kecepatan angin di dalam pit bawah tanah biasanya menggunakan anemometer. Ini adalah kincir angin yang sangat ringan dan gesekannya kecil, dimana baling-balingnya terbuat dari pelat aluminium dan membentuk sudut 42-44° terhadap arah poros.

Untuk mengukur kecepatan angin, alat ini diletakkan di dalam aliran udara untuk memutar baling-baling, dimana kecepatan angin atau jarak tempuh aliran udara per satuan waktu dapat diperoleh dari jumlah putaran dalam waktu tertentu. Daerah kemampuan ukurnya adalah 0,5 m/s-10 m/s.

Berikut ini gambar alat anemometer digital yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin :



*Sumber : Dokumentasi Penulis*

**Gambar 6. Anemometer digital dan multi gases detector**

#### **b. Jumlah Angin**

Jumlah angin adalah perkalian kecepatan angin rata-rata dan luas penampang. Pada umumnya, kecepatan angin terbesar terjadi di sekitar pusat penampang terowongan. Oleh karena itu, apabila

mengukur kecepatan angin dengan anemometer, maka anemometer digerakkan sepanjang penampang dengan kecepatan konstan untuk mengukur kecepatan angin rata-rata. Kemudian nilai tersebut dikalikan dengan luas penampang terowongan yang diukur untuk menghitung jumlah angin. Untuk mengukur banyaknya udara yang lewat pada suatu pengukur per detik dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = V \cdot A$$

Keterangan :

Q = Jumlah udara dalam ( $m^3/s$ )

V = Kecepatan udara ( $m/s$ )

A = Luas penampang ( $m^2$ )

### c. Penurunan Tekanan

Melakukan pengukuran penurunan tekanan yang terjadi karena mengalirnya udara di dalam lorong angin adalah hal yang sangat penting. Apabila pada 2 titik pengukuran di dalam lorong angin diletakkan tabung tekanan statis *Pitot* dan di tengah-tengahnya diletakkan tabung U, kemudian dihubungkan dengan pipa (misalnya pipa karet), maka perbedaan tekanan yang tampak pada tabung U adalah penurunan tekanan. Apabila 2 titik yang hendak diukur penurunan tekanannya berjarak jauh, selang jarak tersebut dibagi menjadi beberapa bagian, kemudian penurunan tekanannya diukur dan nilai penjumlahan untuk selang 2 titik tersebut boleh dianggap sebagai

penurunan tekanan. Pada waktu melakukan pengukuran mulai dari mulut pit udara masuk kemudian.

### 3. Debu tambang

Debu secara klasifikasi fisis termasuk dalam kategori *aerosol* yaitu hamburan partikel padat dan atau cair didalam medium gas/udara, dimana didalam tambang bawah tanah, debu ini dihasilkan oleh aktifitas penambangan seperti pemboran, peledakan, pemuatan, pengangkutan dan penumpahan bijih.

#### a. Klasifikasi Debu

Klasifikasi debu pada dasarnya dapat dibedakan menurut tingkat bahayanya terhadap fisik dan kemampuan ledakannya. Berikut ini klasifikasi debu berdasarkan tingkat bahayanya, yaitu :

##### 1) Debu fibrogenik

Merupakan debu yang berbahaya terhadap pernafasan, seperti silika (kuarsa dan *chert*), silikat (asbestos, talk, mika dan silimanit), *meal fumes* (asap logam), bijih timah, bijih besi, karborondum dan batubara (*anthrasit, bitumineous*).

##### 2) Debu karsiogenik

Contohnya kelompok radon, asbestos dan arsenik.

##### 3) Debu beracun

Merupakan debu yang mengandung racun yang berbahaya terhadap organ dan jaringan tubuh, seperti bijih berilium,

arsenik, timah hitam, uranium, radium, thorium, khromium, vanadium, air raksa, kadmium, antimoni, selenium, mangan, tungsten, nikel dan perak (khususnya oksida dan karbonat).

4) Debu radioaktif

Merupakan debu yang berbahaya karena radiasi sinar alpha dan sinar beta, seperti bijih uranium, radium dan thorium.

5) Debu yang dapat meledak (terbakar di udara)

Contohnya debu logam (magnesium, aluminium, seng, timah dan besi), batubara (*bituminous* dan *lignit*), bijih sulfida dan debu organik.

6) Debu pengganggu

Contohnya gypsum, gamping dan kaolin.

b. Faktor-faktor yang mempengaruhi bahaya debu bagi manusia antara lain:

1) Komposisi kimia dan mineralogi debu

Ditinjau dari tingkat bahaya yang dapat ditimbulkan, komposisi mineralogi lebih penting dibandingkan komposisi kimiawi dan fisiknya.

2) Konsentrasi

Yaitu banyaknya partikel debu yang dinyatakan dengan dua cara, yaitu :

- Atas dasar jumlah, satuannya adalah mppcf (*million of particles per cuft*) atau ppcc (*particles per cubic centimeter*).
- Atas dasar berat, satuannya adalah  $\text{mg/m}^3$

Faktor konsentrasi merupakan faktor terpenting kedua setelah komposisi. Secara umum debu dapat membahayakan paru-paru jika konsentrasi lebih besar dari  $0,5 \text{ mg/m}^3$ .

### 3) Ukuran partikel

Partikel debu yang berukuran lebih kecil dari 5 mikron berbahaya, karena luas permukaannya besar dengan demikian aktifitas kimianya pun besar. Selain itu debu halus tergolong debu yang dapat dihirup karena tersuspensi di udara.

### 4) Waktu kontak

Yaitu lamanya waktu yang dibutuhkan seseorang berhubungan dengan lingkungan yang mengandung debu.

### 5) Daya tahan tubuh perorangan

Faktor ketahanan individu terhadap bahaya debu sampai saat ini merupakan faktor yang belum dapat dikuantifikasi.

## 4. Pengendalian Kuantitas Udara Tambang

### a. Penentuan Kuantitas Udara Tambang

Kuantitas udara tambang dapat ditentukan dari persamaan persamaan berikut :

- 1) Berdasarkan kandungan oksigen yang diizinkan di udara tambang.

Menurut Hartman (1997) kuantitas udara ditentukan dengan persamaan :

$$a. Q - b = c. Q$$

keterangan :

a = persentasi oksigen pada udara bebas ( 20-21 %)

b = jumlah udara yang dibutuhkan oleh setiap orang untuk bernafas

c = Kadar oksigen minimum yang diizinkan pada udara tambang (19,5 %).

Q = Jumlah udara yang dialirkan untuk 1 orang pekerja (cfm)

- 2) Berdasarkan kandungan karbondioksida maksimum yang diizinkan.

Menurut Hartman (1997) kuantitas udara ditentukan dengan persamaan :

$$d. Q - e = f. Q$$

Keterangan :

d = persentasi CO<sub>2</sub> pada udara normal

e = jumlah CO<sub>2</sub> hasil pernafasan, merupakan jumlah O<sub>2</sub> yang dibutuhkan dikali dengan angka pernafasan.

f = persentasi kandungan CO<sub>2</sub> maksimum yang diizinkan pada udara tambang.

Q = jumlah udara yang harus dialirkan untuk 1 orang

- 3) Berdasarkan fungsinya untuk mengencerkan gas yang berbahaya di dalam tambang.

Menurut Hartman (1997) kuantitas udara dapat dihitung dari persamaan :

$$Q = \frac{Q_g}{NAB - B} - Q_g$$

Keterangan :

$Q_g$  = kuantitas gas yang diencerkan,  $m^3/detik$

$NAB$  = Nilai ambang batas gas tambang.

$B$  = Konsentrasi gas tersebut dalam udara bebas.

- 4) Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk tambang yang mengandung gas, kuantitas udara minimum yang diperlukan untuk pernafasan manusia sebesar  $0,1 m^3/dtk$ .
- 5) Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk setiap tenaga kuda apabila mesin dihidupkan, kuantitas udara yang diperlukan yaitu sebesar  $3 m^3/menit$ .

#### b. Evaluasi Kuantitas Udara Pada Sistem Ventilasi

- 1) Perhitungan Kuantitas Udara Pada Jalur Udara

Langkah langkah yang dilakukan dalam perhitungan kuantitas udara ini antara lain :

- a) Pengukuran kecepatan aliran udara

Dalam mengukur kecepatan angin di jalur udara atau terowongan dan pipa udara digunakan alat anemometer manual, anemometer digital dan stopwatch sebagai alat pengukur

waktu. Alat anemometer digital ini menggunakan satuan m/detik. Dengan menggunakan alat anemometer manual metode pengukuran yang digunakan adalah metode *continius traversing*, dilakukan dengan cara memindahkan atau menggeser anemometer pada kecepatan konstan 0,2 – 0,3 m/detik dengan posisi anemometer selalu tegak lurus sumbu aliran udara. Teknik pelaksanaan *traversing* ini adalah:

- Pertama sambungkan anemometer dengan tongkat, kemudian pegang tongkat pada ujungnya dan arahkan anemometer tegak lurus aliran udara.
- Stopwatch harus mulai menghitung waktu bersamaan dengan saat awal jarum anemometer bergerak dari nol.
- Gerakkan anemometer dengan kecepatan konstan 0,2–0,3 m/detik, tapi di lapangan ini diabaikan. Pengukuran dimulai dari sisi lubang dan diakhiri pada sisi lainnya dengan gerakan bergelombang naik turun dari dasar lubang hingga atap lubang dari sisi ke sisi lainnya.
- Setelah mencapai titik akhir pengukuran, secara bersamaan *stopwatch* dan anemometer dimatikan.
- Kecepatan aliran dapat dihitung dengan membagi hasil bacaan dari anemometer (m) dengan waktu yang diperlukan selama satu kali pengukuran.

Pengukuran menggunakan anemometer digital dapat dilakukan dengan cara alat diletakkan pada titik titik perwakilan pada suatu penampang (menghadap aliran udara), kemudian tunggu beberapa saat sampai angka yang terbaca pada alat konstan, setelah konstan catat dan itulah kecepatan udara pada titik tersebut.

b) Pengukuran luas jalur udara

Luas jalur udara ditentukan dari pengurangan luas terowongan dengan luas penghalang yang ada seperti belt conveyor dan pipa udara.

c) Perhitungan kuantitas udara

Kuantitas dihitung berdasarkan hasil kali antara kecepatan aliran udara dengan luas penampang yang dilawatinya.

$$Q = V \times A$$

Keterangan :

Q = Kuantitas udara, m<sup>3</sup>/detik

V = Kecepatan aliran udara tambang, m/detik

A = Luas penampang jalan udara tambang, m<sup>2</sup>

Perhitungan kuantitas udara di permukaan kerja yaitu berdasarkan kepada :

- (1) Berdasarkan kebutuhan udara minimal untuk pernafasan pekerja di *front* kerja.

Jika kebutuhan minimum untuk pernafasan sebesar 0,01 m<sup>3</sup>/detik/orang maka :

$$Q = \text{jumlah gilir orang/gilir} \times \text{m}^3/\text{detik/orang}$$

$$Q = \text{m}^3/\text{detik/gilir}.$$

(2) Berdasarkan jumlah tenaga kuda (*Horse Power*) peralatan yang beroperasi.

Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk setiap tenaga kuda apabila mesin dihidupkan, kuantitas udara yang diperlukan yaitu sebesar 3 m<sup>3</sup>/menit.

## 5. Prinsip Pengaliran Udara dan Perhitungan *Head Loss*

Pengendalian kuantitas udara berkaitan dengan beberapa masalah seperti perpindahan udara, arah aliran, dan jumlah aliran udara. Hal ini dilakukan untuk mengukur kuantitas udara tambang dan tekanan udara yang ada di dalam tambang.

Aliran udaraa pada tambang terjadi karena adanya perbedaan tekanan yang ditimbulkan antara dua titik dalam suatu sistem ventilasi. Secara hukum termodinamika, udara akan mengalir dari lokasi bertekanan tinggi ke lokasi bertekanan rendah.

Pada sistem ventilasi, terdapat beberapa perhitungan yang harus direncanakan sebelum mendesain sebuah sistem, diantaranya :

### a. *Head Loss* (Hl)

*Head Loss* yaitu jumlah *head* yang mengakibatkan menurunnya efisiensi dari sistem ventilasi tersebut. Menurut

McPherson (dalam Nasrullah, 2016:27) *Head Loss* terjadi karena adanya aliran udara akibat kecepatan ( $H_v$ ), gesekan ( $H_f$ ) dan tingkungan saluran/perubahan ukuran saluran ( $H_x$ ) yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Hl = Hf + Hx$$

$$Hs = \sum Hl$$

$$Hs = \sum (Hf + Hx)$$

Keterangan :

$H_s$  = *static head*, jumlah *head loss* disetiap saluran (Pa)

$H_f$  = *friction head*, akibat gesekan dengan permukaan saluran (Pa)

$H_x$  = *shock loss*, akibat belokan saluran (Pa)

$H_v$  = *velocity head*, *head* keluaran dari udara (Pa)

$H_l$  = *head loss*, *head* yang hilang (Pa)

Persamaan dari *head loss* dinyatakan sebagai berikut :

$$Hl = (R_{friction} + R_{shock}) \times Q^2$$

$$Hl = (K O (L + L_e) Q^2) / A^3 \text{ dimana } L_e = \frac{1,29 \times X \times A}{2 k \times O}$$

Keterangan :

$H_l$  = *head loss* (Pa)

$L_e$  = panjang ekuivalen pada tingkungan (ft)

$K$  = faktor gesekan saluran ( $\text{kg/m}^3$ )

$L$  = panjang saluran (m)

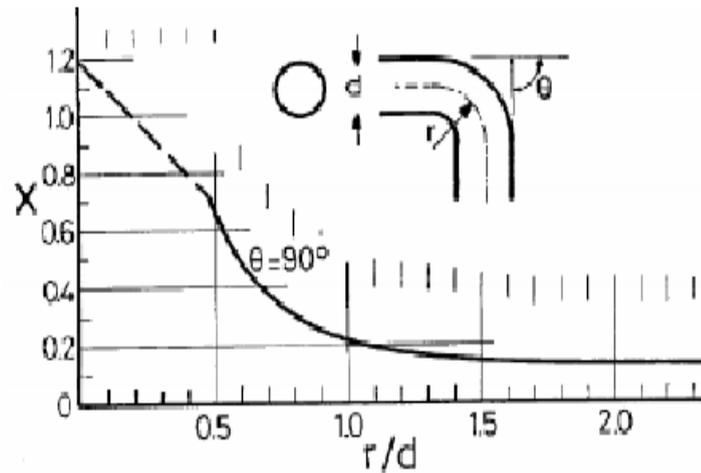
$O$  = keliling saluran (m)

$Q$  = debit udara ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

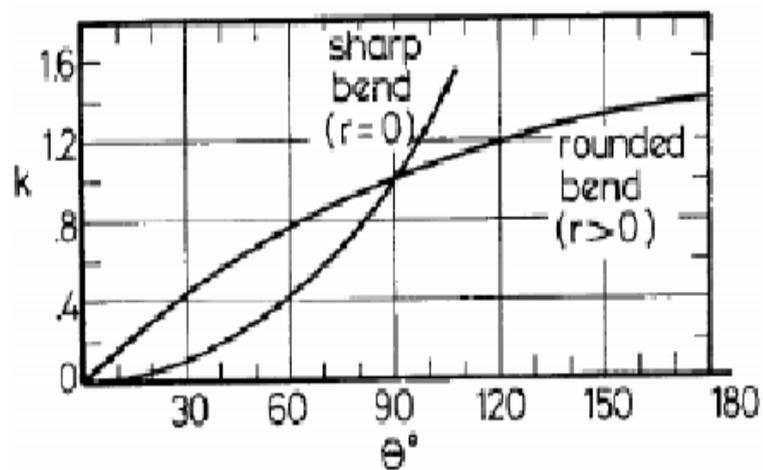
$A$  = luas penampang saluran ( $m^2$ )

$L$  = panjang saluran (m)

$X$  = *shock loss* faktor



**Gambar 7. Chart shock loss faktor untuk tikungan  $90^\circ$ , cross section lingkaran (McPherson 1993)**



**Gambar 8. Chart faktor koreksi untuk tikungan dengan sudut selain  $90^\circ$  (McPherson 1993)**

Tabel 5. Faktor Gesekan Pipa Lama dan Baru (McPherson,1993) :

Name	Friction Factor ( $Ns^2m^{-4}$ )	
	Good, New	Average, Used
Pipe or tubing		
Steel, woodm fiberglass (rigid)	0,0028	0,0037
Jute, canvas, plastics (flexibel)	0,0037	0,0046
Spiral type canvas	0,0042	0,0051

*Sumber : McPherson,1993*

## 6. Sistem Ventilasi

Secara umum sistem ventilasi dibagi menjadi 2 yaitu sistem ventilasi alami dan ventilasi mekanis (Sudarsono dan Wiyono 2003) :

### a. Ventilasi Alami

Ventilasi alami adalah suatu aliran udara yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dan tekanan dari udara pada dua titik yang berhubungan. Udara akan mengalir dari suatu titik dengan temperatur rendah ke titik yang mempunyai temperatur tinggi dan juga mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Suatu aliran udara ventilasi alami mempunyai sifat yang berubah arah dari waktu ke waktu, tergantung pada adanya perbedaan antara temperatur pada dua titik pada suatu saat. Pada suatu tambang, adanya perbedaan temperatur dapat diakibatkan oleh temperatur udara terlalu dingin atau terlalu panas diluar tambang atau juga sebagai akibat adanya peledakan yang juga merupakan sumber panas, arah aliran ventilasi dapat searah dengan ventilasi mekanis atau berlawanan arah dengan ventilasi mekanis dan dapat dirasakan

apabila ventilasi mekanis dihentikan. Kekurangan ventilasi alami diantaranya alirannya dapat berubah-ubah dan tidak stabil.

**b. Ventilasi Mekanis (*mechanical ventilation*)**

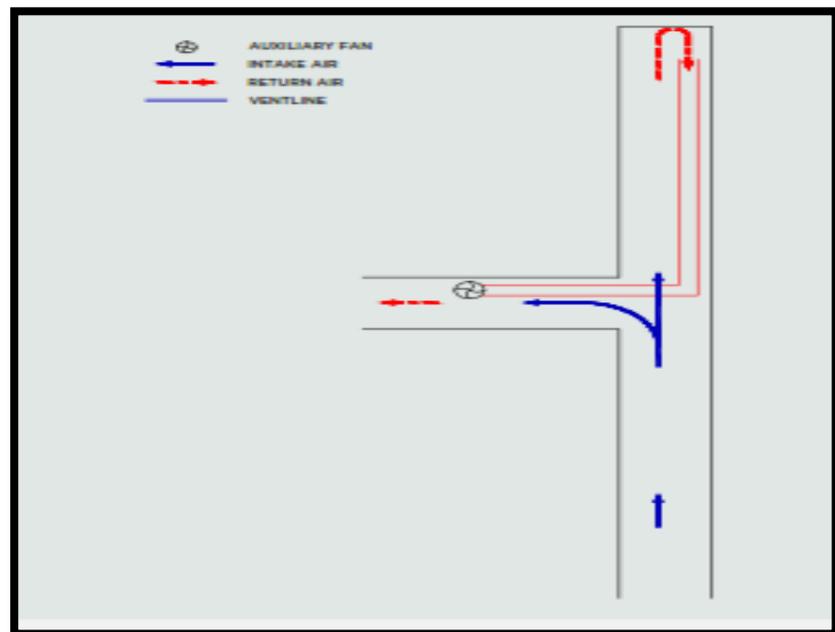
Ventilasi mekanis adalah jenis ventilasi dimana aliran udara masuk ke dalam tambang disebabkan oleh perbedaan tekanan yang ditimbulkan oleh alat mekanis. Yang dimaksud peralatan mekanis adalah semua jenis mesin penggerak yang digunakan untuk memompa dan menekan udara segar agar mengalir ke dalam lubang tambang bawah tanah. Yang paling penting dan umum digunakan adalah *fan*. *Fan* adalah pompa udara yang menimbulkan adanya perbedaan tekanan antara kedua sisinya, sehingga udara akan bergerak dari tempat yang tekanannya lebih tinggi ke tempat tekanan yang lebih rendah.

Jadi mesin angin (*fan*) adalah perubah energi dari mekanis ke fluida, dengan memasok tekanan untuk mengatasi kehilangan tekanan (*head losses*) dalam aliran udara. Pergerakan udara di tambang bawah tanah dibangkitkan dan diatur oleh pembangkit tekanan yang disebut *ventilator* atau mesin angin. Mesin angin yang memasok kebutuhan udara untuk seluruh tambang dinamakan mesin angin utama (*main fan*). Berdasarkan cara menimbulkan udaranya serta letak mesinnya, ventilasi mekanis dibedakan menjadi tiga metode (Worksafe New Zealand, 2014) yaitu :

### 1. Metode Hisap (*Exhaust System*)

Sistem *exhausting* akan memberikan hembusan udara yang berkebalikan dengan sistem *forcing*, yaitu bertekanan negatif. Tekanan negatif yang dimaksud disini adalah tekanan yang dihasilkan oleh proses penghisapan udara (tekanan rendah) untuk menyedot udara kotor keluar lubang tambang. Pada sistem *exhausting*, *fan* diletakkan dekat dengan front kerja, sehingga dapat memudahkan kerjanya dalam menghisap udara kotor maupun debu dari *front* kerja tersebut.

Berikut ini skema arah aliran udara pada sistem ventilasi metode hisap (*Exhaust System*) :

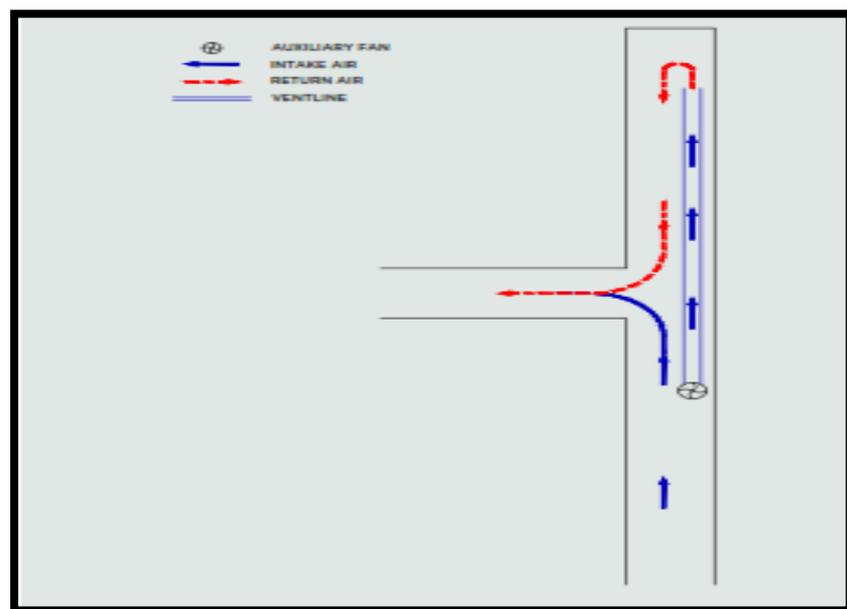


**Gambar 9. *Exhaust System* (Worksafe New Zealand,2014)**

## 2. Metode Hembus (*forcing system*)

Sistem *forcing* akan memberikan hembusan udara bertekanan positif ke *front* kerja. Tekanan positif berarti aliran udara mempunyai tekanan lebih besar dibandingkan udara di atmosfer. Pipa/saluran ventilasi ini menghubungkan *fan* dengan *front* kerja.

Berikut ini skema arah aliran udara pada sistem ventilasi metode hembus (*Forcing System*) :



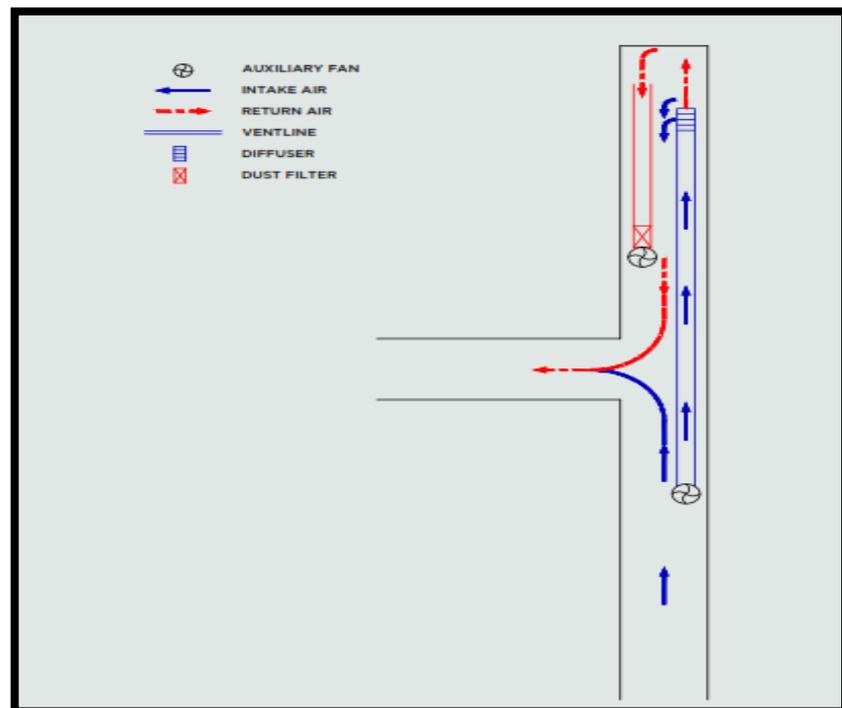
**Gambar 10. Forcing System (Worksafe New Zealand,2014)**

## 3. Metode Hisap Hembus (*overlap system*)

Sistem ini merupakan gabungan dari sistem exhausting dan forcing. Berbeda dengan kedua sistem diatas, sistem ini menggunakan 2 *fan* yang memiliki tuas berbeda satu sama lain. Ada dan yang bertugas menyuplai udara ke *front* (*intake fan*),

ada *fan* yang bertugas untuk menghisap udara dari front (*exhausting fan*). Tetapi *exhaust fan* dipasang lebih mundur (lebih jauh) dari *front* penambangan. Sedangkan *duct* akhir dari *intake* dipasang lebih dekat dengan *front* penambangan. Hal ini untuk mencegah agar udara yang disuplai langsung dihisap oleh *exhaust fan* sehingga udara akan memiliki waktu untuk bersirkulasi pada *front* penambangan.

Berikut ini skema arah aliran udara pada sistem ventilasi metode hisap-hembus (*Overlap System*) :



**Gambar 11. Overlap System (Worksafe New Zealand,2014)**

### c. Jenis – Jenis *Fan*

Terdapat dua jenis *fan*. *Fan* sentrifugal menggunakan impeler berputar untuk menggerakkan aliran udara. *Fan* aksial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu *fan*. (UNEP, 2006)

#### 1) *Fan* sentrifugal

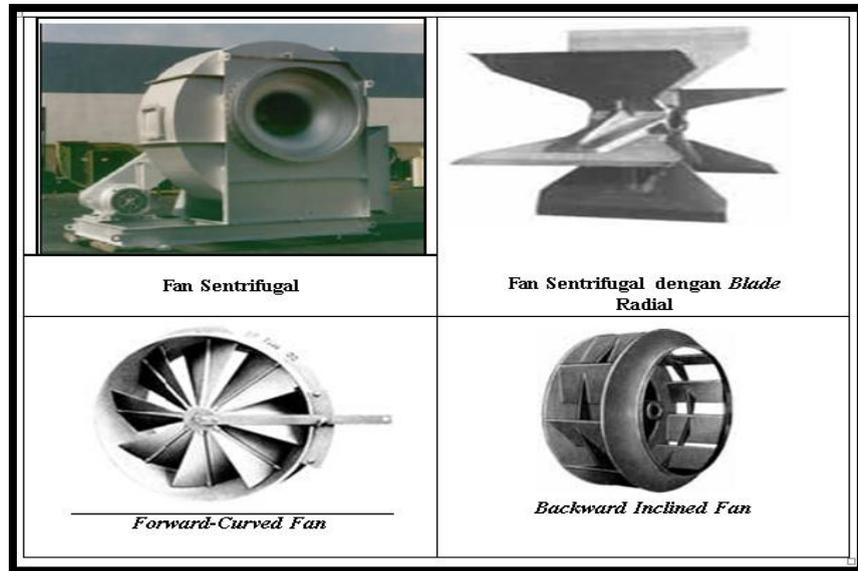
*Fan* sentrifugal meningkatkan kecepatan aliran udara dengan impeler berputar. Kecepatan meningkat sampai mencapai ujung *blades* dan kemudian diubah ke tekanan. *Fan* ini mampu menghasilkan tekanan tinggi yang cocok untuk kondisi operasi yang kasar, seperti sistim dengan suhu tinggi, aliran udara kotor atau lembab, dan *handling* bahan. *Fan* sentrifugal dikategorikan oleh bentuk *bladenya* sebagaimana diringkas dalam tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik Berbagai *Fan* Sentrifugal (UNEP,2006)

<b>Jenis fan dan Blade</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
Fan radial dengan <i>blades</i> datar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cocok untuk tekanan statis tinggi (sampai 1400 mmWC) dan suhu tinggi</li> <li>▪ Rancangannya sederhana sehingga dapat dipakai untuk unit penggunaan khusus</li> <li>▪ Dapat beroperasi pada aliran udara yang rendah tanpa masalah getaran</li> <li>▪ Sangat tahan lama</li> <li>▪ Efisiensinya mencapai 75% yang lebih besar yang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hanya cocok untuk laju aliran udara rendah sampai medium</li> </ul>

<p>Fan yang melengkung kedepan, dengan blade yang melengkung kedepan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dapat menggerakkan volum udara yang besar terhadap tekanan yang relatif rendah</li> <li>▪ Ukurannya relatif kecil</li> <li>▪ Tingkat kebisingannya rendah (disebabkan rendahnya kecepatan) dan sangat cocok untuk digunakan untuk pemanasan perumahan, ventilasi, dan penyejuk udara (HVAC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hanya cocok untuk layanan penggunaan yang bersih, bukan untuk layanan kasar dan bertekanan tinggi</li> <li>▪ Keluaran fan sulit untuk diatur secara tepat</li> <li>▪ Penggerak harus dipilih secara hati-hati untuk menghindarkan beban motor berlebih sebab kurva daya meningkat sejalan dengan aliran udara</li> <li>▪ Efisiensi energinya relatif rendah (55-65%)</li> </ul>
<p><i>Backward inclined fan</i>, dengan <i>blades</i> yang miring jauh dari arah perputaran: datar, lengkung,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dapat beroperasi dengan perubahan tekanan statis (asalkan bebannya tidak berlebih ke motor)</li> <li>▪ Cocok untuk sistim yang tidak menentu pada aliran udara tinggi</li> <li>▪ Fan dengan <i>blade</i> datar lebih kuat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tidak cocok untuk aliran udara yang kotor (karena bentuk fan mendukung terjadinya penumpukan debu)</li> <li>▪ Fan dengan <i>blades air-foil</i> kurang stabil</li> </ul>

Berikut ini adalah gambar dari *fan* tipe sentrifugal :



**Gambar 12. *Fan* Sentrifugal (UNEP,2006)**

## 2) *Fan* Aksial

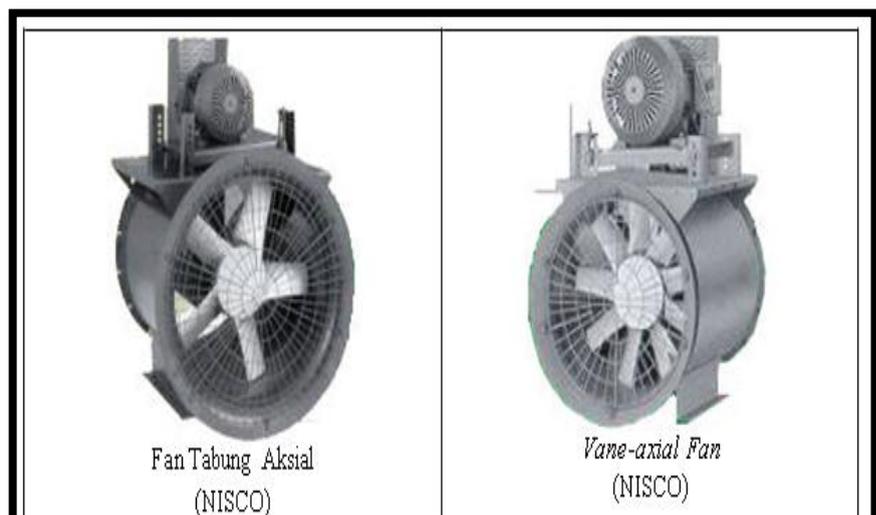
*Fan* aksial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu fan. Cara kerja *fan* seperti *impeler* pesawat terbang: *blades fan* menghasilkan pengangkatan aerodinamis yang menekan udara. *Fan* ini terkenal di industri karena murah, bentuknya yang kompak dan ringan. Jenis utama *fan* dengan aliran aksial diringkas dalam tabel 7 berikut ini :

Tabel 7. Karakteristik Berbagai *Fan* Aksial (UNEP,2006)

Jenis fan	Keuntungan	Kerugian
Fan propeller	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menghasilkan laju aliran udara yang tinggi pada tekanan rendah</li> <li>▪ Tidak membutuhkan saluran kerja yang luas (sebab tekanan yang dihasilkannya kecil)</li> <li>▪ Murah sebab konstruksinya yang sederhana</li> <li>▪ Mencapai efisiensi maksimum, hampir seperti aliran yang mengalir sendiri, dan sering digunakan pada ventilasi atap</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efisiensi energinya relatif rendah</li> <li>▪ Agak berisik</li> </ul>
<i>Fan</i> pipa aksial	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tekanan lebih tinggi dan efisiensi operasinya lebih baik daripada fan propeller</li> <li>▪ Cocok untuk tekanan menengah, penggunaan laju aliran udara yang tinggi, misahya pemasangan saluran HVAC</li> <li>▪ Dapat dengan cepat dipercepat sampai ke nilai kecepatan tertentu (karena putaran massanya rendah) dan menghasilkan aliran pada arah berlawanan, yang berguna dalam berbagai penggunaan ventilasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relatif mahal</li> <li>▪ Kebisingan aliran udara sedang</li> <li>▪ Efisiensi energinya relative rendah (65%)</li> </ul>

<p>Fan dengan baling-baling aksial</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cocok untuk penggunaan tekanan sedang sampai tinggi (sampai 500 mmWC), seperti <i>induced draft</i> untuk pembuangan boiler</li> <li>▪ Dapat dengan cepat dipercepat sampai ke nilai kecepatan tertentu (disebabkan putaran massanya yang rendah) dan menghasilkan aliran pada arah berlawanan, yang berguna dalam berbagai penggunaan ventilasi</li> <li>▪ Cocok untuk hubungan langsung ke as motor</li> <li>▪ Kebanyakan energinya efisien (mencapai 85% jika dilengkapi dengan fan <i>airfoil</i> dan jarak ruang yang kecil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relatif mahal dibanding fan impeler</li> </ul>
--	---	---

Berikut ini gambar dari tipe *fan* aksial :



**Gambar 13. *Fan* Aksial (UNEP,2006)**

## 7. Penelitian Relevan

Adapun penelitian yang relevan dengan judul penelitian yang penulis lakukan adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa teknik pertambangan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh yaitu Nasrullah dan Tadwin dengan judul **“Optimasi Penggunaan Fan Dalam Perencanaan Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Bawah Tanah X/C 1 Sill Drift Ciurug Level 600 PT. Aneka Tambang UPBE Pongkor (2016)”**. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah tentang sistem jaringan ventilasi yang kurang baik yang menyebabkan meningkatnya temperatur efektif pada front kerja yang berdampak pada penurunan efisiensi kerja. Salah satu penyebabnya adalah dikarenakan tidak adanya pertimbangan pada penurunan kinerja alat (efisiensi *fan*) yang digunakan dalam perencanaan sistem jaringan ventilasi, sehingga kuantitas udara yang dialirkan tidak lagi sesuai dengan kuantitas udara yang dibutuhkan pada *front* kerja *Cross Cut* (X/C) 1 *Sill Drift* tambang Ciurug Level 600 PT. Antam UPBE Pongkor. Penerapan sistem jaringan ventilasi pada *front* kerja *Cross Cut* (X/C) 1 *Sill Drift* mengutamakan *force system* dengan menggunakan 3 unit fan 37 kW dan *exhaust* 1 unit 37 kW. Kondisi ini menyebabkan udara yang dialirkan keluar lebih sedikit dibandingkan udara yang didorong masuk sehingga terjadi resirkulasi udara masuk pada *front* kerja.

- b. Penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa teknik pertambangan Universitas Negeri Padang yaitu Ari Ferbrianda Bafnis dengan judul **“Analisis Sistem Ventilasi Tambang untuk Kebutuhan Operasional Penambangan pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT. Bukit Asam – UPO (2014)”**. Penelitian yang dilakukan mengkaji tentang kebocoran udara yang terjadi pada sistem ventilasi yang ada pada tambang bawah tanah PT. BA UPO. Sistem ventilasi pada tambang bawah tanah PT. BA UPO menggunakan sistem hisap, dimana kebocoran dapat dilihat dari perbedaan jumlah udara masuk dengan udara keluar. Kuantitas udara keluar sebesar  $35,56 \text{ m}^3/\text{s}$  sedangkan udara masuk  $35,07 \text{ m}^3/\text{s}$ , ini disebabkan adanya kebocoran udara pada *main fan*. Penelitian ini juga mengkaji tentang kebutuhan jumlah udara pada tiap-tiap front kerja, hasilnya adalah kuantitas udara minimal yang harus dialirkan yaitu pada *front J6C* sebesar  $2,17 \text{ m}^3/\text{detik}$ , *front J9C* sebesar  $2,50 \text{ m}^3/\text{detik}$ , *front J11C* sebesar  $2,50 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan *front Dosco* sebesar  $2,17 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Sedangkan Kuantitas udara yang tersedia pada *front J6C* sebesar  $4,02 \text{ m}^3/\text{detik}$ , *front J9C* sebesar  $3,17 \text{ m}^3/\text{detik}$ , *front J11C* sebesar  $2,94 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan *front Dosco* sebesar  $3,15 \text{ m}^3/\text{detik}$ .
- c. Penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa teknik pertambangan Universitas Islam Bandung yaitu Nurul Janah dengan judul **“Kajian Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Emas Blok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang, Provinsi**

**Banten (2014)**". Penelitian ini mengkaji mengenai kondisi sistem jaringan ventilasi tambang pada PT. CSD dimana saat ini menggunakan 2 unit *exhausting main fan* yang terpasang pada masing-masing blok Cibitung dan blok Cikoneng. Dari kedua unit *main fan* dapat menghasilkan udara bersih sebesar  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  melalui portal Cikoneng pada elevasi 1160 m.dpl yang kemudian didistribusikan ke blok Cibitung dan Cikoneng dengan perbandingan 60% dan 40%. Dengan pembagian yang tidakimbang tersebut timbul permasalahan dimana pada blok Cikoneng kebutuhan udara di *Decline* Cikoneng tidak terpenuhi. Penyebabnya adalah udara bersih yang masuk pada Xcut-2 terlalu banyak yakni  $31,44 \text{ m}^3/\text{s}$  yang seharusnya hanya  $26,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Selain hal tersebut berkurangnya aliran udara disebabkan banyaknya *losses* akibat besarnya nilai tahanan dan *head loss* pada *airways*. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan tindakan perbaikan terhadap sistem jaringan ventilasi di *Decline* Cikoneng. Untuk di *Decline* Cikoneng lokasi pemasangan *Booster Fan* 2 unit 55 KW dipindahkan untuk memperkecil tahanan dan *head loss* agar udara bersih tidak banyak yang *losses*. Setelah dilakukan simulasi perbaikan pada sistem jaringan ventilasi didapatkan hasil sebagai berikut banyaknya aliran udara yang mampu dihisap *booster fan* 2 unit 55 KW meningkat dari  $27,62 \text{ m}^3/\text{s}$  menjadi  $31,89 \text{ m}^3/\text{s}$ .

d. *International Journal of Engineering and Technology* July 2013, dengan judul penelitian “**Modelling of Okaba Underground Coal Mine Ventilation System**” yang dilakukan oleh J.M Akande dan Onifade Moshood dari University Of Technology Akure, Ondo State, Nigeria. Mereka membuat suatu perencanaan *design* sistem jaringan ventilasi di Okaba Coal dimana menggunakan 1 unit *main fan* dan 4 unit *booster fan*. Dalam membuat perencanaan sistem jaringan ventilasi pada tambang bawah tanah metode *long wall* harus memperhitungkan kondisi geologi, cadangan batubara, faktor keamanan pekerja dan *recovery* batubara. Penelitian ini mengkaji mengenai kapasitas ventilasi yang ada untuk mengetahui tekanan udara yang dapat dihasilkan, pengukuran diameter *duct*, panjang jalur udara, dimensi terowongan, jumlah pekerja, peralatan diesel yang digunakan dan kandungan gas pengotor serta target produksi. Parameter lainnya seperti *head loss* dan tahanan *duct* dari sistem ventilasi dihitung dengan menggunakan rumus Atkinson, dimana nanti akan didapatkan perhitungan mengenai total tekanan, dan daya dari *fan*. Hasil dari penelitian ini adalah suatu perencanaan sistem jaringan ventilasi yang lebih baik dan detail dari sebelumnya dengan memperhitungkan parameter-parameter dalam sistem ventilasi tambang.

## 8. Pengenalan *Software Kazemaru*

Sistem analisa ventilasi udara Kazemaru adalah sistem komprehensif yang telah dikembangkan agar pekerjaan analisa jaringan ventilasi udara. Sistem ini telah diterapkan di semua tambang utama di Jepang yang memiliki karakter sebagai berikut :

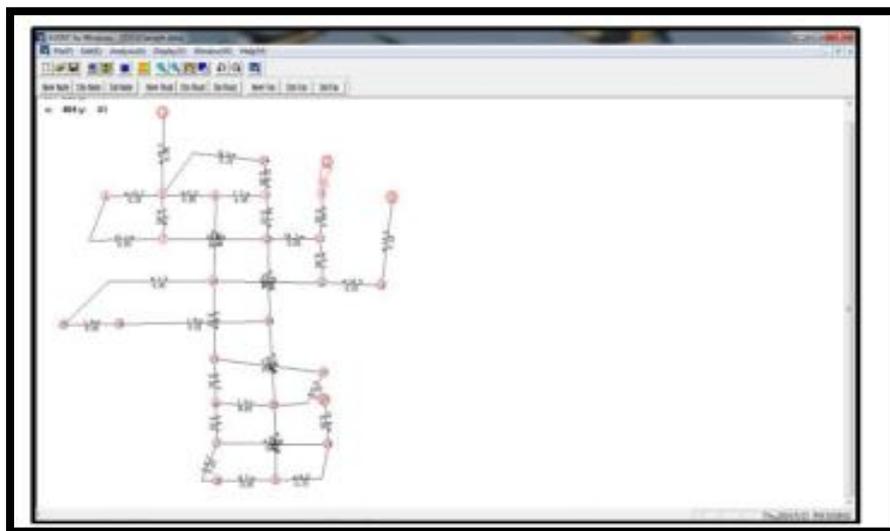
- a. Sistem yang dikembangkan untuk dipergunakan pada komputer/PC (minimal Pentium 233 Mhz) pengoperasiannya mudah
- b. Pembuatan perubahan data dapat dilakukan sembari melihat gambar jaringan ventilasi udara yang ditampilkan pada monitor. Program secara konstan melakukan pengecekan sehingga kesalahan pengisian dapat dicegah.
- c. Titik maksimum dari jaringan ventilasi udara yang dapat dilakukan analisa adalah 1.000 titik, jumlah lorong maksimum 2.000 buah lorong.
- d. Lama waktu perhitungan untuk jaringan ventilasi udara yang memiliki sekitar 1000 titik dan 200 buah lorong, pada umumnya membutuhkan waktu kurang dari 2 menit.
- e. Selain dari tahanan udara, sistem ini dapat mempertimbangkan tekanan ventilasi udara alami grafik karakteristik *fan*, lorong dengan volume udara tetap, dan seperti halnya pintu angin, dapat juga dipertimbangkan tahanan udara yang berbeda berdasarkan arah dari ventilasi udara.

- f. Dapat menampilkan gambar distribusi volume udara, tekanan udara melalui *monitor*, *plotter* atau *printer*.
- g. Memiliki fungsi sebagai data *base*, sehingga memungkinkan untuk melakukan pengecekan data, perbandingan hasil, dan pencarian data. Selain itu, dapat melakukan perhitungan tahanan ventilasi udara dengan berdasarkan jenis data, panjang lorong, luas lorong, dan koefisien gesek.

## 9. Pengenalan dan Fungsi Tool

Program KAZEMARU pada dasarnya adalah pekerjaan mengedit data jaringan ventilasi dengan cara grafis yang interaktif atau pekerjaan menganalisis jaringan ventilasi pada saat distribusi aliran udara normal dan pada saat terjadi kebakaran.

Berikut ini adalah gambar desain ventilasi tambang dengan *software* kazemaru :



Sumber: Program Kazemaru, 2014

**Gambar 14. Desain Ventilasi Tambang Dengan Kazemaru**

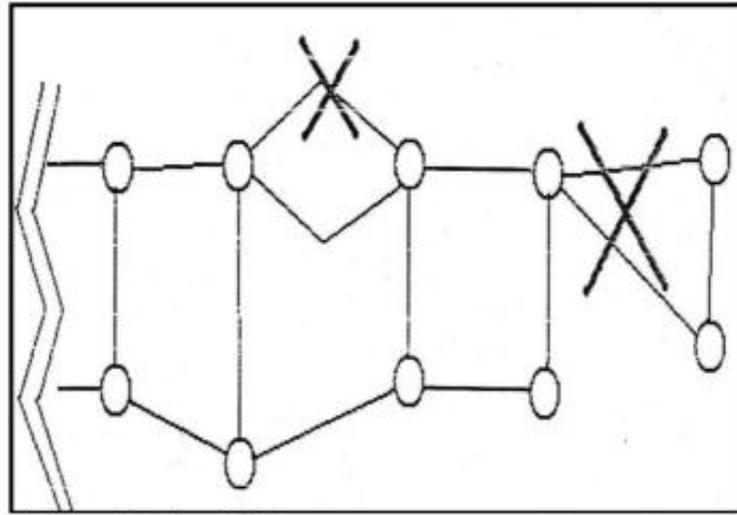
Menu yang tampak pada halaman sebelumnya akan timbul pada *display* ketika program KAZEMARU Avwine.exe diaktifkan dari menu. Batasan sistem (nilai-nilai batas ini dapat jauh lebih besar jika dibutuhkan).

<i>Node</i>	: 800
Nomor <i>node</i>	: 1000
Jalan-jalan	: 1000
Mesin angin	: 50
<i>Node-node/</i> titik-titik dipermukaan	: 50
Nomor lokasi-lokasi jalan	: 1000

Syarat-syarat yang dibutuhkan dalam *software* kazemaru :

- a. Banyaknya jalan-jalan yang dihubungkan dengan sebuah node/titik dibawah tanah harus lebih dari 2.
- b. Banyaknya jalan-jalan yang dihubungkan dengan sebuah node permukaan atau node mesin angin harus lebih dari 1.
- c. Elevasi node dari 2 sisi mesin angin harus sama.
- d. Tidak boleh membuat jalan yang kedua ujungnya pada node yang sama.
- e. Tidak boleh membuat rangkaian jalan yang kedua ujungnya pada titik/node yang sama dan tidak memiliki jalan ke node yang lain.
- f. Pemasangan dua node harus terhubung dengan hanya satu jalan.

Berikut ini adalah sketsa syarat-syarat penggunaan *software kazemaru*



Sumber: tutorial kazemaru

**Gambar 15. Syarat-syarat Penggunaan Kazemaru**

Berikut ini adalah istilah yang biasa dipakai pada program ini :

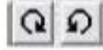
- a. *Road* : Lorong ventilasi tempat aliran udara.
- b. (*Branch, airway*) : Ditentukan oleh nomor-nomor dikedua ujungnya yang ditunjukkan sebagai garis antara 2 lingkaran
- c. *Node* : Persimpangan jalan atau bagian jalan yang dipermukaan.
- d. *Underground node* : Ditunjukkan dengan lingkaran tunggal
- e. *Surface node* : Ditunjukkan dengan lingkaran garis
- f. *Fan* : Ditunjukkan dengan lingkaran ganda dengan segitiga.

Menu-menu utama pada *tool bar* adalah sebagai berikut:

- a. *file* : Membuka atau menyimpan *file-file*, *print*, keluar sistem dan lain-lain.
- b. *edit* : Membuat, mengubah, dan menghapus *node-node*, jalan tambang, dan kipas angin / mesin angin.

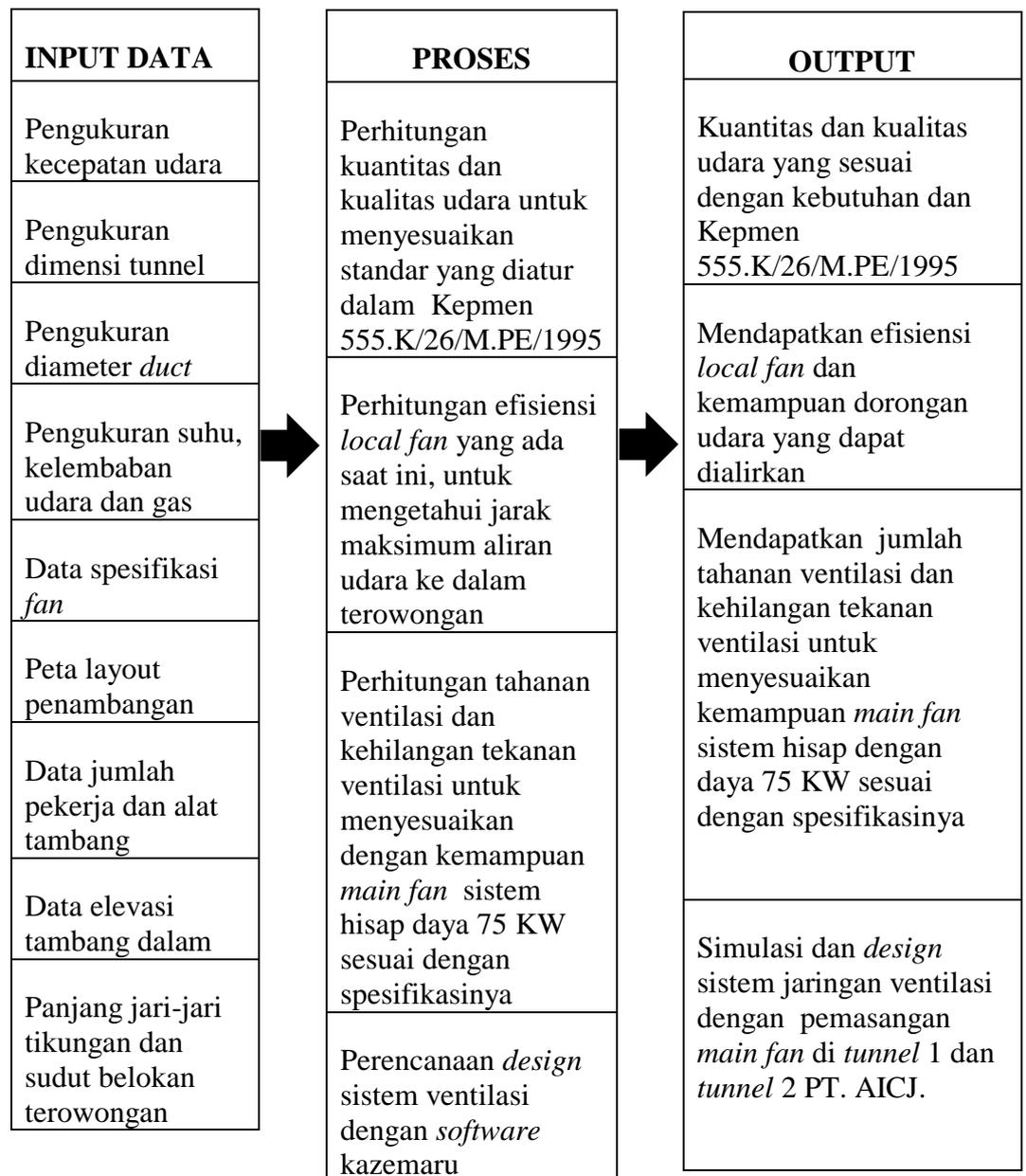
- c. *analysis* : Menghitung distribusi-distribusi aliran udara.
- d. *display* : Merubah *settingan* dari ukuran *figure* (gambar) ukuran tulisan, warna garis dan data tampilan.

Berikut ini adalah menu untuk mengedit data yang sudah dibuat pada program Kazemaru ini:

- |   |   |
|---|---|
|    | Membuat data jaringan baru  |
|    | Membuka data jaringan   |
|    | Menyimpan data jaringan   |
|   | Mencetak/ <i>print</i>  |
|  | Anakusa distribusi udara dalam kondisi mesin angin akan nampak ketika tombol ( <i>display data</i> ) ditandai                             |
|  | Parameter fungsinya untuk merubah parameter yang dibutuhkan untuk proses analisa.   |
|  | <i>Update</i> fungsinya untuk menggambar kembali <i>figure</i> jaringan, perintah ini digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan baru. |
|  | <i>Display setting</i> fungsinya untuk mengubah ukuran gambar, ukuran huruf, sudut tampilan dan data hasil perhitungan.                   |
|  | <i>Fit to window</i> fungsinya untuk memilih ukuran gambar secara otomatis untuk window yang aktif  |
|  | <i>Zoom in</i> fungsinya untuk mengubah ukuran gambar menjadi 200%-50%  |
|  | <i>Zoom out</i> fungsinya untuk mengubah ukuran gambar menjadi 200%-50%   |
|  | <i>L/R turn</i> fungsinya untuk menggambar searah/berlawanan jarum jam sebesar 45 <sup>0</sup> setiap penekanan tombol                    |
|  | <i>Zoom in with</i> fungsinya untuk menampilkan ukuran gambar dengan mouse dengan tekanan <i>drag mouse</i>                               |

### C. Kerangka Konseptual

Dari uraian latar belakang dan tujuan masalah dari penelitian ini maka dapat dibuat kerangka konseptual seperti yang digambarkan dibawah ini :



Gambar 16. Kerangka Konseptual Penelitian

Berikut penjelasan mengenai kerangka konseptual di atas :

## 1. Input Data

Proses pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian yang mencakup data primer dan data sekunder :

### a. Data Primer

Merupakan data yang diambil langsung oleh penulis saat di lapangan yaitu : pengukuran kecepatan udara, pengukuran dimensi terowongan ( $A$ ), pengukuran diameter *duct*, kelembaban udara, temperatur dan gas, panjang jari-jari tikungan dan sudut belokan terowongan..

### b. Data Sekunder

Merupakan data yang didapatkan dari perusahaan yaitu : peta *layout* penambangan, jumlah pekerja dan alat, peta *layout* penambangan, data spesifikasi *fan*, dan data elevasi tambang dalam.

## 2. Proses

Setelah didapatkan data primer dan data sekunder, tahapan selanjutnya adalah proses pengolahan data yaitu meliputi :

- a. Perhitungan kuantitas dan kualitas udara untuk menyesuaikan dengan kebutuhan udara di dalam tambang dan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995.
- b. Perhitungan efisiensi kinerja *local fan* yang ada saat ini, untuk mengetahui jarak maksimum aliran udara ke dalam terowongan.

- c. Perhitungan *Head Total* terowongan untuk menyesuaikan dengan spesifikasi *main fan* yang akan diterapkan di lapangan.
  - d. Perencanaan *design* sistem ventilasi dengan *software* kazemaru.
3. Output penelitian

Output penelitian yang dilakukan meliputi :

- a. Kuantitas dan kualitas udara yang sesuai dengan kebutuhan dan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995
- b. Mendapatkan efisiensi *local fan* dan kemampuan dorongan udara yang dapat dialirkan
- c. Mendapatkan *Head Total* terowongan dan kesesuaian kemampuan *main fan* yang akan diterapkan untuk menghisap udara kotor dan debu keluar dari *tunnel*.
- d. Perencanaan, simulasi dan *design* sistem jaringan ventilasi dengan pemasangan *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) untuk memperbaiki sistem ventilasi yang ada saat ini dengan menggunakan *software* kazemaru.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

1. Kuantitas udara yang tersedia pada *front tail gate* sebesar 1,331 m<sup>3</sup>/s sedangkan kebutuhan udara sebesar 0,65 m<sup>3</sup>/s, pada *front main gate* kuantitas udara yang tersedia sebesar 1,065 m<sup>3</sup>/s sedangkan kebutuhan udara sebesar 0,8 m<sup>3</sup>/s, dan *front* B1-J2 sebesar 0,932 m<sup>3</sup>/detik sedangkan kebutuhan udara sebesar 0,8 m<sup>3</sup>/s (debit udara yang tersedia sudah mencukupi kebutuhan udara untuk pernafasan pekerja dan alat yang beroperasi). Sedangkan kualitas udara pada *front tail gate* memiliki temperatur efektif rata rata sebesar 27<sup>0</sup>C, kelembaban relatif sebesar 87% dan efisiensi kerja sebesar 82,5%. Pada *front main gate* memiliki temperatur efektif rata rata sebesar 27,9<sup>0</sup>C, kelembaban relatif sebesar 88,8% dan efisiensi kerja sebesar 81%. Pada *front* B1-J2 memiliki temperatur efektif rata-rata sebesar 28,2<sup>0</sup>C, kelembaban relatif sebesar 89% dan efisiensi kerja sebesar 78%. Untuk kandungan gas-gas pada *front* penambangan sudah dalam keadaan baik. Kualitas udara pada *front* penambangan masih diatas nilai ambang batas yang diizinkan oleh Kepmen 555.K/26/M.PE/1995, dimana untuk temperatur efektif nilai ambang batasnya adalah 18<sup>0</sup>C-24<sup>0</sup>C dan nilai ambang batas kelembaban relatif adalah 85%.
2. Efisiensi *local fan* dengan daya 11 KW pada *front tail gate* sebesar 58,428 % dan jarak maksimum aliran udara yang dapat dicapai oleh *fan* dalam keadaan tekanan penuh adalah sejauh 576,718 meter. Pada

*front main gate* efisiensi *local fan* dengan daya 11 KW sebesar 44,285%, dan jarak maksimum aliran udara yang dapat dicapai oleh *fan* dalam keadaan tekanan penuh adalah sejauh 679,951 meter. Sedangkan Efisiensi *local fan* dengan daya 11 KW pada *front* B1-J2 sebesar 19,925% dan jarak maksimum aliran udara yang dapat dicapai oleh *fan* dalam keadaan tekanan penuh adalah sejauh 401,805 meter.

3. Berdasarkan simulasi menggunakan *software* kazemaru debit udara keluar yang dihasilkan oleh *main fan* sistem hisap (*exhaust system*) dengan daya 75 KW yang akan dipasang adalah sebesar 14,6 m<sup>3</sup>/detik. *Main fan* ini mampu menghisap udara kotor dan debu untuk keluar dari tiap-tiap *front* penambangan sehingga dapat mengatasi permasalahan resirkulasi udara dan tingginya tingkat debu yang terjadi di lapangan saat ini. Sedangkan hasil untuk simulasi pemasangan *local fan* pada masing-masing *front* penambangan, debit udara hembus (masuk) yang dihasilkan *fan* dengan daya 11 KW dalam keadaan tekanan penuh yaitu sebesar 3,2 m<sup>3</sup>/detik pada *front tail gate*, 3,1 m<sup>3</sup>/detik pada *front main gate* dan 3,8 m<sup>3</sup>/detik pada *front* B1-J2. Sehingga dengan semakin majunya penambangan maka dengan debit udara yang tersedia kebutuhan udara untuk operasional penambangan batubara akan tetap terpenuhi.

## **B. Saran**

1. Perlu dilakukan penempatan dan perawatan yang baik pada saluran udara (*duct*), supaya udara yang di salurkan dapat sampai ke *front*

kerja dengan sempurna. Karena penulis melihat di lapangan banyak kebocoran pada *duct* yang di akibatkan oleh:

- Gesekan dari lori yang lewat saat pengangkutan batu bara maupun tiang penyangga.
  - Pemasangan pipa ventilasi yang kurang di perhatikan,(pada saat pemasangan pipa ventilasi tidak lurus , tidak ketat, maka terjadi perlipatan ataupun kerutan yang dapat mengakibatkan pipa ventilasi mengalami kebocoran)
2. Perlunya dilakukan pemasangan *main fan* daya 75 KW dengan menggunakan sistem hisap (*exhaust system*) di *tunnel* I dan *tunnel* II untuk mengatasi permasalahan yang terjadi di lapangan saat ini. *Local fan* daya 11 KW yang ada di *tunnel* I dan *tunnel* II dengan sistem hembus yang ada di lapangan saat ini dapat dijadikan sebagai *fan* bantu (*auxiliary fan*) untuk menghembuskan udara bersih (*intake*) ke tiap-tiap *front* penambangan, sehingga debit udara yang dapat dialirkan menjadi lebih besar sehingga kebutuhan udara akan tetap terpenuhi seiring semakin majunya penambangan batubara.
  3. Perlu dilakukan pemasangan pintu angin pada jalur *cross cut* 1 untuk mengatasi sirkulasi udara balik. Dan pemasangan pintu juga dilakukan pada pintu masuk *tunnel* II agar udara keluar mengalir lebih lancar melalui jalur terowongan *main fan*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akande J.M dan Onifade Moshood. 2013. *Modelling of Okaba Underground Coal Mine Ventilation System*. Departemen of Mining Engineering The Federal University of Technology Akure. Ondo State : Nigeria.
- Febrianda Bafnis Ari. 2014. *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Batubara Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT Bukit Asam-UPO*. Skripsi. Universitas Negeri Padang.
- Heriyadi Bambang. 2002. *Materi Ajar Peranginan Ventilasi Tambang*, BDTBT : Sawahlunto.
- Hartman L. Howard. 1997. *Mine Ventilation and Air Conditioning Third Edition*. United States of America.
- Janah Nurul. 2014. *Kajian Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Emas Blok Cikonen PT Cibaliung Sumberdaya*. Universitas Islam Bandung, Bandung.
- J. Walsh Joseph. 1915. *The Physics and Chemistry of Mining and Mine Ventilation*. D Van Nostrand Company. New York.
- Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi NOMOR : 555.K/26/M.PE/1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum.
- McPherson, M. 1993. *Subsurfaces Ventilation and Enviroment Engineering*. Chapman and Hall. USA
- Michelle Wempen Jessica. 2012. *Characterization of Air Recirculation In Multiple Fan Ventilation System*. Departemen of Mining Engineering The University of Utah.
- Nasrullah dan Tadwin. 2016. *Optimasi Penggunaan Fan Dalam Perencanaan Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Bawah X/C 1 Sill Drift Ciurug Level 600 PT. Aneka Tambang UBPE Pongkor*. Skripsi Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Nuhnaradita Saleh Mohamad 2015. *Kajian Perencanaan Sistem Ventilasi Tambang Emas Bawah Tanah Blok Cikoenng Dan Cibitung PT Cibaliung Sumberdaya Kabupaten Pandeglang Provinsi Banten*. Institut Teknologi Bandung : Bandung.
- Occupational Healt in Mines Committe.1981.*Prevention of Heat Illness in Mines*.Health and Safety Executive.