

**EVALUASI DAN ANALISIS KUALITAS DAN KUANTITAS UDARA
PADA TEROWONGAN *LUBANG JAPAN* DI KOTA BUKITTINGGI**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pertambangan*



Oleh :

TEDDI TRIANDANA

16137106

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK PERTAMBANGAN

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

PADANG

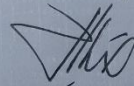
2018

**PERSETUJUAN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR**

Judul : Evaluasi dan Analisis Kualitas dan Kuantitas Udara Pada Terowongan *Lubang Jepang* di Kota Bukittinggi
Nama : Teddi Triandana
NIM/TM : 16137106/2016
Program Studi : S1 Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : Teknik


Padang, November 2018

Disetujui Oleh :
Pembimbing



Dr. Bambang Herivadi, M.T
NIP. 19641114 198903 1 002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang



Dr. Raimon Kopa, M.T
19580313 198303 1 001

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Nama : Teddi Triandana

NIM : 16137106

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan Tugas Akhir di depan Tim Penguji
Program Studi S1 Teknik Pertambangan
Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang
dengan judul

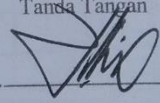
**Evaluasi dan Analisis Kualitas dan Kuantitas Udara Pada Terowongan
Lubang Jepang di Kota Bukittinggi**

Padang, November 2018

Tim Penguji

Tanda Tangan

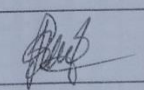
1. Ketua : Drs. Bambang Heriyadi, M.T

1. 

2. Sekretaris : Drs. Yunasril, M.Si

2. _____

3. Anggota : Drs. Raimon Kopa, M.T

3. 



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

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : TEDDI TRIANDANA
NIM/TM : 16137106 / 2016
Program Studi : S1 T. Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : FT UNP

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

” Evaluasi dan Analisis Kualitas dan Kuantitas Ubara pada
Terowongan Lubang Jampang di Kota Bukittinggi

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.

Padang, November 2018

yang membuat pernyataan,

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

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



BIODATA



I. Data Diri

Nama Lengkap : **Teddi Triandana**
No. BP : 2016/16137106
Tempat / Tanggal lahir : Bukittinggi, 11 Agustus 1993
Jenis Kelamin : Laki – laki
Nama Ayah : SYAIFUL BAHRI
Nama Ibu : NURMIATI
Jumlah Bersaudara : 3 (Bersaudara)
Alamat tetap : Jl. H. Abd Manan, Kampuang
Tengah, Jorong Pakan
Sinayan, Nagari Kamang Mudiak,
Kec. Kamang Magek, Kab. Agam

II. Data Pendidikan

Sekolah Dasar : SD Islam Al – Islah Bukittinggi
Sekolah Lanjutan Pertama : SMP N 6 Bukittinggi
Sekolah Lanjutan Kedua : SMA N 1 IV. Angkek
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang

III. Proyek Akhir

Tempat Penelitian : Taman Panorama dan *Lubang Jepang*
Kota Bukittinggi
Jadwal Penelitian : Juni – Juli 2018
Topik Studi Kasus : Evaluasi dan Analisa Kualitas dan Kuantitas
Udara pada Terowongan *Lubang Jepang* di
Kota Bukittinggi

Padang, November 2018

TEDDI TRIANDANA
16137106/2016

RINGKASAN

Teddi Triandana : Evaluasi dan Analisis Kualitas dan Kuantitas Udara pada Terowongan *Lubang Jepang* di Kota Bukittinggi

Lubang Jepang merupakan suatu terowongan kuno yang dibangun pada periode penjajahan Jepang di Indonesia. Namun berubah fungsi setelah Indonesia merdeka dan resmi dikelola menjadi kawasan wisata pada tahun 1984. Sebagai salah satu tujuan wisata di kota Bukittinggi, terowongan *Lubang Jepang* memiliki jumlah kunjungan wisatawan dengan peningkatan yang cukup besar setiap tahunnya.

Terowongan merupakan ruang yang memiliki keterbatasan dalam kualitas dan kuantitas sirkulasi udara yang ada di dalamnya. Dalam proses pertukaran udara bersih terdapat nilai ambang batas seperti ketetapan Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995 yang mengatur batasan kualitas dan kuantitas udara dalam terowongan. Maka dibutuhkan analisa yang menghubungkan kualitas dan kuantitas udara aktual dengan NAB demi memenuhi kebutuhan udara segar bagi pengunjung di dalam terowongan *Lubang Jepang*.

Berdasarkan nilai ambang batas (NAB) Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 di Titik 2 hingga Titik 11 pada waktu dan kondisi cuaca tertentu, persentase kelembaban tidak memenuhi standar serta temperatur efektif di Titik 9 berada di bawah standar dengan suhu terendah adalah 16,85°C di waktu pagi. Sementara itu kandungan gas (O₂ dan CO₂) di semua lokasi terowongan *Lubang Jepang* berada dalam keadaan aman dan memenuhi standar. Berdasarkan perbandingan debit masuk–keluar udara aktual dengan kebutuhan pernapasan orang per-detik menurut nilai ambang batas (NAB) Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 didapat kunjungan maksimal adalah 398 orang dalam satuan periode kunjungan. Namun terdapat penurunan kapasitas pada saat hujan dengan batasan 196 orang. Setelah dilakukan evaluasi penggunaan udara saat penelitian ini dilakukan, udara yang tersedia mencukupi kebutuhan udara pengunjung yang ada.

Kata kunci : kuantitas udara, suhu, sirkulasi udara, terowongan, NAB

ABSTRACT

Teddi Triandana : *Evaluationing and Analysing Air Quality and Quantity in Lubang Japang Tunnel at Bukittinggi City*

Lubang Japang is an ancient tunnel that build during Japanesse's colonizing in Indonesia. However it refuctioned after Indonesian Independency and officially became tourist area at 1984. Known as a tourist destination in Bukittinggi, Lubang Japang tunnel has excalation amount of visitors yearly.

Tunnel has the limitation amount and quality of circulated air in it. There are range borders such as determinations of Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995 that organizing air quality and quantity in the tunnel for circulationing process. Then the analysis between air quality and quantity in tunnel and range borders to satisfy the requirment of fresh air for visitor is needed.

Base on range borders of Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995 in point 2 to point 11 at certain time and weather terms have percentage of humidities below the mark along with point 9 that has the lowest effective temperature in 16,85%. Meanwhile the gas contents (O₂ dan CO₂) of all locations in Lubang Japang tunnel are safe and up to standard. So by the comparison between current air circulation's debit and respiration requirment per-second based on Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995 known that the maximum of visitors are 398 persons periodically, yet amount of visitors are down to 196 persons while puoring rain. Then the result of air usage evaluation for visitor at the moment is fulfilled.

Key words : air quantity, temperature, air circulation, tunnel, range border

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil aa'lamin, puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang tiada henti memberi rahmat dan karuniaNya, yang salah satunya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan ini penulis susun dari hasil Penelitian yang penulis lakukan di Lokasi Taman Panorama *Lubang Japang* yang dimulai dari tanggal 25 Juni 2018 sampai 31 Juli 2018.

Sehubungan dengan selesainya penulisan Tugas Akhir ini penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terimakasih kepada semua pihak terkait yang telah memberi bantuan langsung dan tidak langsung kepada penulis dalam rangka penulisan ini dan mereka yang berharga tersebut diantaranya adalah:

1. Allah SWT yang tiada hentinya memberi rahmat dan hidayah kepada penulis dan kita semua, tiada tempat berlindung dan meminta, hanya kepada-Nya Allah Alla 'Ajalla.
2. Orang tua penulis, dua orang istimewa dalam hati dan hidup penulis yang melalui doa dan dukungan mereka penulis menyandarkan lelah dan cinta dengan tujuan menjadi kebanggaan mereka. Hanya doa dan kebaikan yang dapat penulis harap dan mintakan kepada Allah SWT atas cinta mereka kepada penulis.

3. Saudara dan saudari penulis yang bahkan dalam kesibukannya masing – masing selalu menyempatkan waktu dan tenaga untuk memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. H. Bambang Heriyadi, MT pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia membimbing penulis dengan tabah dan semangat hingga selesainya Tugas Akhir ini. Terimakasih sekali lagi kepada Bapak.
5. Ibu Yoszi Mingsi Anaperta, ST, MT selaku pembimbing akademis yang dipercayai oleh Jurusan Teknik Pertambangan FT UNP yang penulis hormati dan selalu memberi arahan kepada penulis.
6. Bapak Drs. Raimon Kopa, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
7. Teman – teman lainnya yang telah memberikan semangat dan inspirasi kepada penulis pada masa penulisan.
8. Seluruh karyawan dan mitra kerja Dinas Pariwisata Pemuda dan Olahraga Kota Bukittinggi atas keramahan dan berbagi ilmu serta cerita juga kebersamaannya, semoga kita berjumpa lagi di waktu yang akan datang.
9. Seluruh mahasiswa UNP terutama Teknik Pertambangan, kita berbagi kampus dan ilmu bersama selama beberapa tahun. Semoga sukses di jalan masing – masing.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan–kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu apabila terdapat berbagai kesalahan dan kekurangan dalam penulisan ini, penulis

mengharapkan saran dan kritikan yang membangun dan berguna untuk masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat kiranya bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Padang, November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN UJIAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iv
BIODATA	v
RINGKASAN	vi
<i>ABSTRAK</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Terowongan	7
B. Teori Dasar.....	13
C. Penelitian Relevan.....	37
D. Kerangka Konseptual.....	40

BAB III METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian.....	43
B. Teknik Pengumpulan Data.....	43
C. Teknik Analisis Data.....	44
D. Diagram Alur Penelitian	44
E. Jadwal dan Lokasi Penelitian	46

BAB IV PEMBAHASAN

A. Data Penelitian	47
B. Analisis Data	57
C. Pembahasan.....	69

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	70
B. Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Lay Out</i> Terowongan <i>Lubang Jepang</i>	9
2. Grafik Iklim Bukittinggi	11
3. Grafik Suhu Bukittinggi	12
4. Kondisi Ventilasi Alami	15
5. Ventilasi Alami pada <i>Vertical Shaft</i>	16
6. Hukum Kirchhoff 1	17
7. Pergerakan Udara.....	19
8. Pola pergerakan udara dari (A) laminar ke (B) terpisah ke (C) turbulen	19
9. Faktor yang memengaruhi pergerakan atau aliran udara	20
10. Hubungan efisiensi kerja dan temperatur efektif	21
11. <i>Nomograph Temperature Effective</i> (Mc Elroy dalam Hartman)	22
12. Hubungan antara Konsentrasi Rata-Rata Debu dan Lamanya Waktu Berhubungan terhadap Gejala ' <i>Pneumoconiosis</i>	29
13. Kerangka Konseptual Penelitian.....	41
14. Alur Penelitian	45
15. Titik-titik Penelitian.....	46
16. Proses Pengambilan Data	48
17. Denah 3D Terowongan <i>Lubang Jepang</i>	50
18. Aliran Udara terowongan <i>Lubang Jepang</i> (kondisi Cerah – Mendung dan Hujan)	55

19. Aliran Udara terowongan <i>Lubang Jepang</i> (kondisi Paska Hujan – Lengang).....	56
20. <i>Plotting Effective Temperature</i> Titik 1	58
21. <i>Plotting</i> Efisiensi Kerja Titik 1	59
22. <i>Plotting Effective Temperature</i> Titik 1 (waktu dan cuaca).....	59
23. <i>Plotting</i> Efisiensi Kerja Titik 1 (waktu dan cuaca).....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Iklim Bukittinggi.....	12
2. <i>Respiratori Quotient</i>	23
3. Pengaruh kekurangan O ₂	24
4. Koefisien Gesek Jalur Udara.....	27
5. Pengaruh Kuantitas Udara Berdasarkan Persentase.....	29
6. Gas-gas pada tambang bawah tanah.....	30
7. Komposisi Udara Segar.....	31
8. Klasifikasi Kecepatan Angin.....	34
9. Efek Kecepatan Angin pada Manusia	34
10. Suhu Berdasarkan Satuannya	36
11. Jadwal Pengambilan Data	46
12. Elevasi dan kandungan O ₂ serta CO ₂ di dalam terowongan <i>Lubang Jepang</i>	49
13. Luas Penampang	51
14. Data velocity udara – dimensi penampang – debit udara titik 1	52
15. Data velocity udara – dimensi penampang – debit udara titik 2 hingga titik 11	53
16. Data jumlah kunjungan TPLJ Kota Bukittinggi	54
17. Aliran Udara terowongan <i>Lubang Jepang</i>	57
18. Nilai <i>Effective Temperature</i> Titik 1 (waktu dan cuaca).....	60

19. Rekap Data Kualitas Udara Titik 1 (waktu dan cuaca).....	60
20. Evaluasi Kualitas Udara dengan NAB Kepmen 555K	61
21. Rekap Data Kualitas Udara Titik 2 hingga Titik 6	62
22. Rekap Data Kualitas Udara Titik 7 hingga Titik 11	64
23. Kuantitas Udara saat Cerah.....	66
24. Kuantitas Udara saat Mendung	67
25. Kuantitas Udara saat Hujan.....	67
26. Kuantitas Udara saat Lembang (pagi hari).....	68
27. Kuantitas Udara saat Lembang (sore hari)	68
28. Penggunaan Udara Terowongan <i>Lubang Jepang</i>	69
29. Evaluasi Penggunaan Udara Terowongan <i>Lubang Jepang</i>	70

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Rekap Kunjungan Wisatawan Tahun 2013 S/D 2017
- Lampiran 2. Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera
- Lampiran 3. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 1 (Jenjang Masuk)
- Lampiran 4. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 2 (Pintu Tri Arga)
- Lampiran 5. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 3 (Persimpangan Tri Arga)
- Lampiran 6. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 4 (Ujung Barak Militer)
- Lampiran 7. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 5 (Pintu Angin)
- Lampiran 8. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 6 (Pintu III)
- Lampiran 9. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 7 (Pintu Penyergapan)
- Lampiran 10. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 8 (Penjara/Dapur)
- Lampiran 11. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 9 (Pintu Pelarian)
- Lampiran 12. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 10 (Titik Pusat)
- Lampiran 13. Kualitas dan Kuantitas Udara Titik 11 (Ventilasi Kiri)
- Lampiran 14. Standar kebutuhan udara untuk tujuan berbeda
- Lampiran 15. Proses Pengambilan Data
- Lampiran 16. Te – EK Titik 1 (Jenjang Masuk)
- Lampiran 17. Te – EK Titik 2 (Pintu Tri Arga)
- Lampiran 18. Te – EK Titik 3 (Persimpangan Tri Arga)
- Lampiran 19. Te – EK Titik 4 (Ujung Barak Militer)
- Lampiran 20. Te – EK Titik 5 (Pintu Angin)
- Lampiran 21. Te – EK Titik 6 (Pintu III)
- Lampiran 22. Te – EK Titik 7 (Pintu Penyergapan)

Lampiran 23. Te – EK Titik 8 (Penjara/Dapur)

Lampiran 24. Te – EK Titik 9 (Pintu Pelarian)

Lampiran 25. Te – EK Titik 10 (Titik Pusat)

Lampiran 26. Te – EK Titik 11 (Ventilasi Kiri)

Lampiran 27. Dimensi Penampang

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Udara bersih merupakan unsur kehidupan yang dianugerahkan oleh Tuhan YME kepada manusia untuk bernafas. Udara bisa berubah menjadi tidak layak digunakan untuk bernafas dikarenakan berbagai hal yang mengakibatkan udara menjadi terkena polusi maupun jumlahnya yang terbatas.

Manusia bernafas membutuhkan oksigen (O_2) dan mengeluarkan karbondioksida (CO_2) serta uap air sebagai sisa pernafasan. Kebutuhan akan udara bersih atau udara segar menjadi hal yang tidak bisa dihindarkan dalam aktivitas harian, baik itu di dalam ruangan maupun ruangan terbatas dan kedap udara. Oleh karena itu, ventilasi dibutuhkan dalam proses mengalirkan udara masuk dan keluar ruangan.

Ruang terbatas dan kedap udara memiliki kuantitas udara segar yang jumlahnya terbatas. Salah satu contohnya adalah terowongan bawah tanah. Berdasarkan jumlah dan kadungannya, udara di dalam terowongan bawah tanah memiliki nilai ambang batas yang harus dipenuhi.

Pada terowongan, ventilasi memiliki peran penting dalam menjaga sirkulasi udara bagi individu dan peralatan yang berada di dalamnya dari polusi udara dan fluktuasi suhu udara. Apabila terjadi polusi udara pada lokasi tersebut akan mengakibatkan sakit, gangguan kesehatan dan ketidak nyamanan dalam beraktivitas.

Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995 pada bagian ke delapan tentang ventilasi pasal 369 ayat 1 dijelaskan bahwa KTT yang dalam kasus ini adalah otoritas berwenang; “harus menjamin tersedianya aliran udara bersih yang cukup untuk semua tempat kerja dengan ketentuan volume oksigennya tidak kurang dari 19,5 persen dan volume karbon dioksidanya tidak lebih dari 0,5 persen;” dan pasal 370 ayat 1 yang berbunyi; “Temperatur udara di dalam tambang bawah tanah harus dipertahankan antara 18 derajat celcius sampai dengan 24 derajat Celcius dengan kelembaban relatif maksimum 85 persen.”. Dengan ketetapan tersebut diharapkan tercapainya kualitas dan kuantitas udara yang memenuhi standar di dalam terowongan.

Lubang Jepang merupakan salah satu terowongan kuno yang dibangun pada periode penjajahan Jepang di Indonesia (1942–1945) oleh pekerja yang disebut romusa. Namun berubah fungsi setelah Indonesia merdeka dan resmi dikelola menjadi kawasan wisata pada tahun 1984.

Dikenal sebagai kota wisata, kota Bukittinggi dengan berbagai kawasan wisatanya selalu menarik kunjungan wisatawan mancanegara begitupun wisatawan lokal setiap tahunnya. Hal tersebut dibuktikan dengan meningkatnya kunjungan wisata di Taman Panorama dan *Lubang Jepang* (TPLJ) beberapa tahun ke belakang ini (lihat lampiran 1).

Sebagai suatu terowongan bawah tanah, *Lubang Jepang* memiliki keterbatasan dalam kapasitas kunjungan yang berhubungan dengan kebutuhan udara segar untuk pernapasan. Praktisnya, kebutuhan udara segar berbanding lurus dengan meningkatnya kunjungan yang memasuki terowongan. Ditambah

dengan belum ditemukannya keberadaan ventilasi mekanis yang siap digunakan dalam mengantisipasi terjadinya pencemaran dan kekurangan udara segar di dalam terowongan *Lubang Jepang*.

Secara teoritis dibutuhkan evaluasi dan kajian terhadap kualitas dan kuantitas udara segar demi memenuhi kebutuhan udara di dalam terowongan *Lubang Jepang*. Dengan latar belakang tersebut maka penulis tertarik untuk mengangkat judul “Evaluasi dan Analisis Kualitas dan Kuantitas Udara pada Terowongan *Lubang Jepang* di Kota Bukittinggi” sebagai judul penelitian ini.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latarbelakang masalah yang telah dijabarkan di atas maka dapat diidentifikasi permasalahan yang terdapat pada lokasi terowongan *Lubang Jepang*. Hasil dari pengamatan awal dan analisa singkat tersebut tertuang dalam poin–poin sebagai berikut

1. Terjadi peningkatan jumlah orang yang berkunjung ke dalam terowongan *Lubang Jepang* (Lampiran 1).
2. Kualitas dan kuantitas udara pada terowongan *Lubang Jepang* belum terdeteksi dan dipetakan secara mendetil (seperti kandungan oksigen, karbondioksida, suhu udara dan kelembaban udara).
3. Belum adanya ventilasi mekanis yang siap digunakan apabila terjadi keadaan darurat pada terowongan *Lubang Jepang*.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latarbelakang di atas, maka masalah yang muncul dari studi kasus ini dibatasi pada

1. Lokasi penelitian dilakukan di dalam terowongan *Lubang Jepang* Kota Bukittinggi.
2. Pemetaan kualitas dan kuantitas udara dibatasi pada kandungan oksigen, karbondioksida, suhu dan kelembaban udara.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah di atas maka penulis merumuskan permasalahannya sebagai berikut

1. Bagaimanakah kualitas dan kuantitas udara segar (seperti kandungan oksigen, karbondioksida, suhu udara dan kelembaban udara) di dalam terowongan *Lubang Jepang* apabila dihubungkan dengan waktu dan kondisi cuaca?
2. Apakah sirkulasi udara di terowongan *Lubang Jepang* saat ini telah memenuhi nilai ambang batas (NAB) yang ditetapkan berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995?
3. Berapakah angka kunjungan maksimal yang dapat memasuki terowongan *Lubang Jepang* dengan keadaan ventilasi saat ini?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bermaksud untuk mengkaji hasil pemetaan di lapangan dengan tujuan utama sebagai berikut

1. Mendapatkan data kualitas dan kuantitas udara aktual yang beredar pada terowongan *Lubang Jepang* berdasarkan waktu dan kondisi cuaca aktual.

2. Mendapatkan kualitas dan kuantitas udara aktual terowongan *Lubang Jampang* yang memenuhi nilai ambang batas berdasarkan ketetapan Kepmen 555.K/26/M.P.E/1995.
3. Mengungkapkan data kunjungan maksimal di dalam terowongan *Lubang Jampang* berdasarkan penggunaan ventilasi saat ini.

F. Manfaat Penelitian

Ilmu yang bermanfaat adalah ilmu yang disebarluaskan untuk kepentingan pengetahuan dan bermanfaat serta *aplicable* pada setiap lapisan lahan terapan dan ilmu pengetahuan itu sendiri.

Besar harapan penulis, penelitian ini dapat dimanfaatkan sedemikian rupa berdasarkan kebutuhannya yang akan memberi khasanah tersendiri dalam kehidupan, baik itu pada ilmu pengetahuan maupun ilmu terapan yang akan memberi pandangan dan acuan dalam pendidikan serta membantu, apabila dibutuhkan pada penerapan ventilasi pada dunia pertambangan maupun lingkungan penerapan terkait.

1. Bagi Peneliti

- a. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program strata satu dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Pertambangan pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- b. Sebagai sarana menambah wawasan dan pengalaman khusus dalam mengungkap, mengkaji, dan menganalisis serta menjawab dinamika ventilasi pada terowongan berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995.

2. Bagi Pengelola Terowongan *Lubang Jepang*

Menjadi dokumen dan sumber informasi pihak terkait dalam mengelola kualitas dan kuantitas udara segar pada terowongan *Lubang Jepang* kota Bukittinggi. Selanjutnya dengan perencanaan ventilasi dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam penerapan ventilasi alami dan mekanis yang berbasis pada Kepmen 555.K/26/M.PE/1995.

3. Bagi Pembaca (Akademis)

- a. Sebagai sumbangan terhadap ilmu pengetahuan mengenai ventilasi.
- b. Sebagai salah satu contoh penerapan perencanaan ventilasi tambang bawah tanah pada konstruksi terowongan multifungsi yang didasarkan kepada Kepmen 555.K/26/M.PE/1995.
- c. Sebagai masukan praktis pada pihak terkait dalam mengelola kualitas dan kuantitas udara segar pada lokasi terkait.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Apabila diambil *range* maksimal-minimal, secara umum kualitas dan kuantitas udara rata-rata terowongan *Lubang Jepang* adalah; 6,5415 m³ hingga 13,271 m³ debit udara per-detiknya; 17,85%, hingga 22,5% temperatur efektif; 77,1052% hingga 94,6% kelembaban, 20,8% hingga 20,9% kandungan O₂ dan 0% kandungan CO₂ serta 95% hingga 100% efisiensi kerja.
2. Apabila data kualitas dan kuantitas udara dihubungkan dengan nilai ambang batas (NAB) Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 terdapat angka Rh yang melebihi batas di Titik 1 hingga Titik 11 pada waktu dan kondisi cuaca tertentu. Selain persentase Rh, temperatur efektif di Titik 9 juga memiliki angka di bawah standar dengan suhu terendah adalah 16,85°C saat pagi. Sementara itu kandungan gas (O₂ dan CO₂) di semua lokasi terowongan *Lubang Jepang* berada dalam keadaan aman dan memenuhi standar.
3. Berdasarkan perbandingan debit masuk-keluar udara aktual dengan kebutuhan pernapasan orang per-detik menurut nilai ambang batas (NAB) Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 maka didapat kunjungan maksimal adalah 398 orang dalam satuan periode kunjungan. Namun terdapat penurunan kapasitas pada saat hujan dengan batasan 196 orang. Setelah dilakukan

evaluasi penggunaan udara saat penelitian ini dilakukan, udara yang tersedia mencukupi kebutuhan udara pengunjung yang ada.

B. Saran

1. Dengan hasil kajian kualitas dan kuantitas udara di atas, diharapkan otoritas berwenang untuk mempersiapkan dan mempertimbangkan penggunaan ventilasi mekanis di beberapa lokasi untuk mengantisipasi fluktuasi udara segar di dalam terowongan maupun apabila saat terjadi keadaan darurat. Seperti terlihat pada data di atas persentase kelembaban udara memiliki angka yang melebihi nilai ambang batas dan juga angka temperatur efektif yang terlalu rendah di Titik 9.
2. Dibutuhkan kajian lebih lanjut untuk menentukan angka kunjungan ke dalam terowongan *Lubang Jepang* yang lebih relevan sesuai kajian yang valid terhadap batasan kunjungan sebagai bahan edukasi pada pengunjung terhadap ketersediaan udara segar per/individu.
3. Saat ini terowongan *Lubang Jepang* memiliki 5 (lima) *fan* yang terpasang di antara pintu masuk dan titik pusat terowongan (berdimensi 20 x 30 cm setiap perangkatnya) yang setelah dilakukan kajian membutuhkan tambahan ventilasi mekanis lainnya untuk menghindari terjadinya kekurangan udara segar di saat suatu situasi darurat terjadi. Seperti di beberapa titik pengambilan data jumlah tampungan maksimum dalam satu periode kunjungan berada di bawah di bawah 100 orang, direkomendasikan menggunakan ventilasi tambahan (mekanis).

4. Otoritas berwenang dalam hal ini Dinas Pariwisata Pemuda dan Olahraga Kota Bukittinggi diharapkan ke depannya memasukkan agenda tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja menjadi studi dan terapan yang prioritas dan utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, P. Darius. 2014. *Aplikasi Pengukuran Ventilasi Alami*. Sawahlunto: Balai Diklat Tambang Bawah Tanah.
- Arif, M., Latar. 2013. *Modul -4 Sistim Ventilasi Pengenceran Udara*. Jakarta: Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat FIIK – Unes.
- ASHRAE. 2001. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Canada: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bridges, H.S. 2014. *Ventilation in Underground Mines and Tunnels*. New Zealand: WorkSafe New Zealand
- Government, Australian. 2016. *Buku Pegangan Kesehatan dan Keselamatan Masyarakat*. Australia: Commonwealth Copyright Administration
- Heriyadi, Bambang. 2002. *Peranginan (Ventilasi) Tambang*. Sawahlunto: BDTBT
- Hartman, H.L., Ramani R.V., Mutmansky, J.Y., 1997. *Mine Ventilation and Air Conditioning / Third Edition*. Canada: John Wiley & Son, Inc.
- Karyono, H.T. 2007. *Dari Kenyamanan Termis Hingga Pemanasan Bumi : Suatu Tinjauan Arsitektur Dan Energi*. Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- Kopa, Raimon. 2011. *Buku Panduan Penulisan Proyek Akhir/Skripsi*. Padang : Program Studi Teknik Pertambangan FT – UNP.
- McGraw-Hill. 1993. *Handbook of Air Conditioning And Refrigeration / Second Edition*. United Stated of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Saepulloh, Achmad. 2008. *Praktek Tambang Bawah Tanah*. Sawahlunto: Balai Diklat Tambang Bawah Tanah.
- Sudarsono. Wiyono, Bagus. 2003. *Ventilasi Tambang*. Yogyakarta: UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Sudjana, I.B. 1995. *KEPMEN 555.K/MPE/1995*. Jakarta: Kementrian Pertambangan dan Energi Negara Kesatuan Republik Indonesia
- Tuhari. *Kenyamanan Termal*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.