

ANALISIS KUALITAS DAN KUANTITAS UDARA PADA SISTEM VENTILASI TAMBANG BAWAH TANAH KENCANA DI PT. NUSA HALMAHERA MINERALS

Article history

Iksan Muksin Adam, Nurany, Anas Abdul Latif, George Belly Sahetapy
Universitas Khairun, Ternate, Indonesia

*Corresponding author
iksanmnadam@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

In the underground mining method, a good ventilation system is important, ventilation is an effort to control the quality and quantity of air in the airflow in underground mining. Measurements are made quantitatively in the field in the form of Psychrometric data, opening hole area, Velocity, and Vent duct Pressure. Air quality and quantity in the Kencana underground mine are studied by calculating the value of Thermal Work Limit, incoming and outgoing air discharge, and energy loss (head loss) on the secondary fan. Based on the results of data processing obtained, there are 7 fronts in the acclimatization zone which are in the value range 140-219, and 2 fronts in the buffer zone which are in the value range 116-139, 2 fronts are in the buffer zone because the winning speed to the face is low. The results of air discharge data processing in actual and simulated conditions obtained air in the exhaust path is greater than the air in the fresh air path, this is due to a leak in the vent door that limits the fresh air and exhaust paths. The results of Vent duct pressure data processing on 4 fronts obtained there are many changes in trajectories and leaks and the distance from the motor fan to the face is far away in actual terms this causes the air to arrive at the face to also decrease, the actual and theoretical results when compared will experience differences because, in theory, the Vent duct path is straight the results are in theory on the KNF SB14B SILL front with a distance of 400 m and in actual conditions is 309 m, the air that should arrive at the face, in theory, is 35.21 m³/s but in actual conditions is 15.05 m³/s. at front K1 SB07B UC01 Theory 400 m and 35.21 m³/s, actual 320 m and 13.66 m³/s, front KL SB10A UC03 Theory 400 m and 26.72 m³/s, actual 382 m and 13.66 m³/s and front K2 SB09H UC01 Theory 350 m and 28.62 m³/s, actual 331 m and 12.16 m³/s.

Keywords: Ventilation, Psychrometry, Air Discharge, Vent duct, Head Loss

Abstrak

Dalam metode tambang bawah tanah penting adanya sistem ventilasi yang baik, ventilasi merupakan upaya pengontrolan terhadap kualitas dan kuantitas udara pada aliran udara di penambangan bawah tanah. Pengukuran dilakukan secara kuantitatif di lapangan berupa data Psikometri, luas lubang bukaan, velocity, dan Pressure Vent duct. Kualitas dan kuantitas udara di tambang bawah tanah kencana dikaji dengan memperhitungkan nilai Thermal Work Limit, debit udara yang masuk dan keluar serta kehilangan energi (head loss) pada secondary fan. Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh, ada 7 front yang berada pada zona aklimatisasi yang berada pada rentang nilai 140 – 219 dan 2 front yang berada pada zona buffer yang berada pada rentang nilai 116 – 139, 2 front berada pada zona buffer dikarenakan win speed yang sampai ke face rendah. Hasil pengolahan data debit udara secara kondisi aktual dan simulasi diperoleh udara di jalur exhaust lebih besar dibandingkan dengan udara di jalur fresh air, hal ini dikarenakan adanya kebocoran pada vent door yang membatasi antara jalur fresh air dan exhaust. Hasil pengolahan data pressure Vent duct pada 4 front diperoleh adanya banyak perubahan lintasan dan kebocoran serta jarak motor fan ke face yang jauh secara aktual hal ini menyebabkan udara yang sampai di face juga berkurang, hasil secara aktual dan teori jika dikomparasikan akan mengalami perbedaan karena secara teori jalur Vent duct lurus hasilnya yaitu pada teori di front KNF SB14B SILL dengan jarak 400 m dan pada kondisi aktual adalah 309 m, udara yang seharusnya sampai di face secara teori adalah 35.21 m³/s namun pada kondisi aktual adalah 15.05 m³/s. pada front K1 SB07B UC01 Teori 400 m dan 35.21 m³/s, aktual 320 m dan 13.66 m³/s, front KL SB10A UC03 Teori 400 m dan 26.72 m³/s, aktual 382 m dan 13.66 m³/s dan front K2 SB09H UC01 Teori 350 m dan 28.62 m³/s, aktual 331 m dan 12.16 m³/s.

Kata kunci: Ventilasi, Psikometri, Debit Udara, Vent duct, Head Loss



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

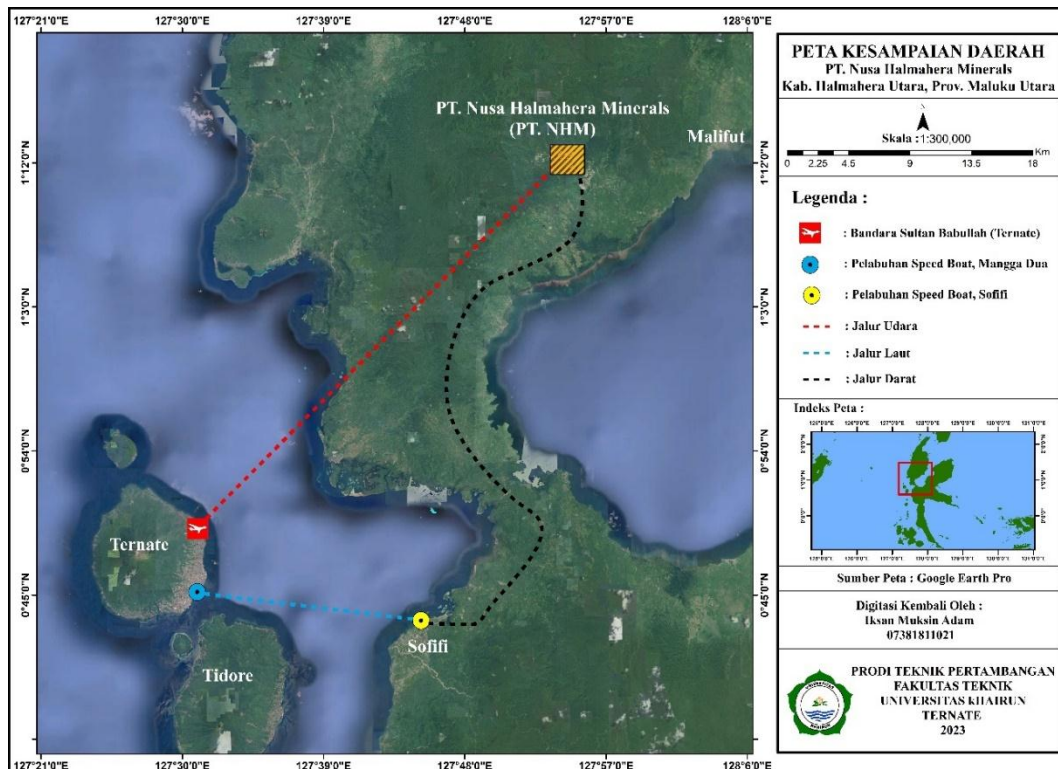
1. PENDAHULUAN

PT. Nusa Halmahera Minerals (PT. NHM) adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam penambangan emas bawah tanah, ventilasi tambang merupakan suatu proses pengendalian terhadap pergerakan udara atau aliran udara tambang termasuk di dalamnya adalah jumlah, mutu dan arah alirannya [1]. Tujuan utama dari ventilasi tambang adalah menyediakan udara segar dengan kuantitas dan kualitas yang cukup baik, kemudian mengalirkan serta membagi udara segar tersebut ke dalam tambang sehingga tercipta kondisi kerja yang aman dan nyaman baik bagi para pekerja tambang maupun proses penambangan [1]. Pada prinsipnya dalam sistem ventilasi tambang, jumlah udara masuk sama dengan jumlah udara keluar [2].

Dalam metode tambang bawah tanah penting adanya sistem ventilasi yang baik, ventilasi merupakan upaya pengontrolan terhadap kualitas dan kuantitas udara tambang [3]. Pengendalian kualitas udara tambang bertujuan untuk pengendalian terhadap gas-gas yang berbahaya maupun debu-debu tambang serta pengaturan temperatur dan kelembaban udara tambang [1]. Sedangkan pengendalian kuantitas udara bertujuan untuk mengatur jumlah udara bersih yang mengalir ke dalam tambang sehingga udara yang dialirkan tersebut mencukupi sesuai jumlah yang dibutuhkan [3]. Apabila tidak ada sistem ventilasi yang baik dalam tambang bawah tanah maka kemungkinan besar para pekerja akan susah bernafas, dan yang terburuk bisa menyebabkan kematian. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kualitas dan kuantitas udara sistem ventilasi Tambang Bawah Tanah Kencana di PT. Nusa Halmahera Minerals pada *front* KNF SB14 SILL, KL SB14D SILL, KL SB10A UC03, K2S SB13B UC01, K2 SB09H UC01, K2 SB07H UC03, K2 SB07H UC01, K1 SB07E SILL dan K1 SB07B UC01.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada lokasi penambangan emas bawah tanah PT. Nusa Halmahera Minerals, Site Kencana, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif yaitu dengan pengamatan langsung dan melakukan pengukuran kualitas dan kuantitas udara seperti luas bukaan, psikometri tambang, debit udara, dan kehilangan energi / *head loss* serta menentukan temperatur efektif pada jaringan ventilasi di PT. Nusa Halmahera Minerals (PT. NHM) sesuai dengan regulasi yang berlaku [4].

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data mengenai kualitas dan kuantitas tambang maka perlu dilakukan pengukuran dimensi terowongan lebar dan tinggi menggunakan alat *Leica Distrometer*. Data yang diperoleh akan diolah untuk perhitungan luasan dimensi terowongan. Selanjutnya data kualitas udara pada front kerja berupa data kecepatan aliran udara, temperatur basah, temperatur kering, konsentrasi gas, kelembaban relatif dan gas pengotor yang ada di dalam *front* kerja dengan menggunakan alat kestrel. Data kuantitas udara berupa kecepatan aliran udara dan debit udara dengan menggunakan alat *Hot Wire Anemometer* serta data kuantitas udara berupa data tekanan udara (*pressure*) dengan menggunakan alat *Pitot Tube*.

2.2. Analisis Data

Data – data yang telah diperoleh dan diolah kemudian dianalisis berdasarkan literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah tersebut sebagai berikut :

1. Melakukan klasifikasi zona *Thermal Work Limit* (TWL) berdasarkan tabel standar TWL. Maka akan diketahui Apakah zona tersebut masuk dalam zona kerja aklimatisasi, *buffer* atau *with drawel*.
2. Melakukan perbandingan debit udara *fresh air* yang masuk dan udara di jalur *exhaust*, maka akan diketahui apakah debit udara yang masuk sama/mendekati dengan udara yang keluar berdasarkan kondisi aktual dan simulasi.
3. Menganalisis hambatan/kehilangan yang ada pada setiap jalur udara, sehingga akan diketahui hambatan yang ada seperti belokan yang terlalu tajam dan kebocoran yang banyak pada jalur udara (*Vent duct*). Hal ini akan mempengaruhi kebutuhan udara yang ada di front kerja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

3.1.1. Dimensi Terowongan

Dimensi terowongan berbentuk tapal kuda, data dimensi terowongan didapat dari pengukuran langsung dilapangan pada setiap *front* kerja lain yaitu KNF SB14 SILL, KL SB14D SILL, KL SB10A UC03, K2S SB13B UC01, K2 SB09H UC01, K2 SB07H UC03, K2 SB07H UC01, K1 SB07E SILL dan K1 SB07B UC01. Dengan menggunakan alat *Leica Distrometer* dan juga dari data yang sudah ada di setiap vent station frontnya yaitu K1 Fresh KN VD03, K1 Exhaust SP05, K2 Incline VD06, K2 Decline VD15, K2 Total Fresh Air dan K2 Total Exhaust.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Dimensi Terowongan

<i>Front</i> Pengukuran	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)
<i>Sub Level Access</i>			
K1 Fresh KN VD03	-	-	30.0
K1 <i>Exhaust</i> SP05	-	-	34.8
K2 <i>Incline</i> VD06	-	-	35.0
K2 <i>Decline</i> VD15	-	-	36.6
K2 Total Fresh Air	-	-	34.4
K2 Total <i>Exhaust</i>	-	-	28.0
<i>Front/Ore Drive/Vent Drive</i>			
KNF SB14B SILL	5.2	5.4	25.18
KL SB14D SILL	5.3	5.5	26.14
KL SB10A UC03	5.2	5.5	25.70
K2S SB13B UC01	5.2	5.4	25.18
K2 SB09H UC01	5.4	5.5	26.58
K2 SB07H UC03	5.3	5.6	26.67
K2 SB07H UC01	5.3	5.6	26.67
K1 SB07E SILL	5.2	5.4	25.18
K1 SB07B UC01	5.3	5.4	25.61

3.1.2. Dimensi Vent Duct

Dimensi *Vent duct* berbentuk lingkaran. Adapun diameter *Vent duct* yang digunakan untuk menyalurkan udara ke setiap front kerja memiliki dua ukuran yaitu diameter 1.4 m dan 1.067 m. *Front* pengukuran dimensi *Vent duct* berada pada KNF SB14B SILL, K1 SB07B, KL SB10A dan K2 SB09H.

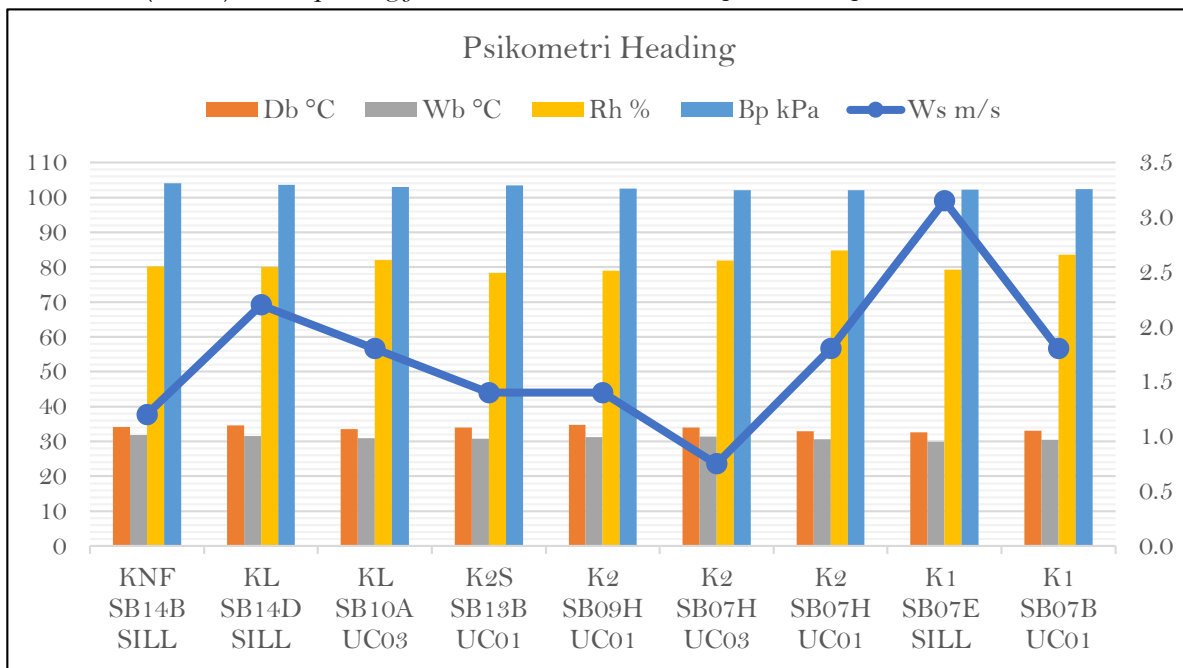
Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Dimensi *Vent duct*

<i>Front</i> Pengukuran	Diameter (m)	Luas A (m ²)
KNF SB14B SILL	1.4	1.54
K1 SB07B	1.4	1.54
KL SB10A	1.4	1.54
K2 SB09H	1.4	1.54
KNF SB14B SILL	1.067	0.894
K1 SB07B	1.067	0.894
KL SB10A	1.067	0.894
K2 SB09H	1.067	0.894

3.1.3. Thermal Work Limit (TWL)

Kualitas udara di front kerja diukur menggunakan alat kestrel untuk mendapatkan hasil dari kualitas udara, data dari kualitas udara yang telah diambil akan di klasifikasikan ke dalam tiga zona *Thermal Work Limit* (TWL) yaitu zona aklimatisasi, *buffer* dan *withdrawel*. Hasil dari klasifikasi tersebut akan menjelaskan bagaimana situasi atau kondisi yang ada serta tindakan perbaikan yang harus dilakukan dalam setiap front kerja sehingga kegiatan dapat berjalan dengan efektif. PT. NHM sendiri mempunyai temperatur efektif dan efisiensi kerja tersendiri, pada dasarnya temperatur efektif dan efisiensi kerja diperoleh dari hubungan temperatur kering dan temperatur basah terhadap kecepatan udara.

Hasil dari pengukuran psikometri tambang dapat dilihat pada Gambar 2. Temperatur efektif dan efisiensi kerja yang digunakan PT. NHM ditunjukkan pada Tabel 3. *Thermal work limit* (TWL) dan Tabel 4. Keterangan *Thermal Work Limit* (TWL). Hasil *plotting front* KNF SB14B SILL dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Grafik hasil pengukuran psikometri tambang

Tabel 3. Thermal work limit (TWL)
TWL chart untuk Kecepatan Angin 1.2 m/sec

		Wind speed = 1.2 m/sec																						
		Wet Bulb Temperature																						
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33												
Dry bulb Temperature	44	255	249	242	235	228	218	207	200	192	184	176	166	155	147	138	129	120	109	98	88	78		
		257	250	243	236	229	220	212	203	194	186	178	167	157	148	140	131	122	110	99	89	80		
	43	258	251	244	237	230	223	216	206	195	187	179	169	158	150	141	132	123	112	100	91	81		
		259	252	246	239	232	224	217	207	196	188	181	170	159	151	142	133	124	113	102	92	82		
	42	260	254	247	240	233	226	218	208	197	190	182	171	160	152	143	134	125	114	103	93	83		
		262	255	249	242	235	227	220	209	199	191	183	173	164	154	145	136	127	115	104	94	85		
	41	263	257	250	243	236	229	221	211	200	192	184	176	167	157	146	137	128	117	105	96	86		
		264	258	251	244	237	230	223	212	202	194	186	177	169	158	147	138	129	118	107	97	88		
	40	265	259	252	245	238	231	224	214	203	195	187	179	170	159	148	139	130	119	108	99	89		
		267	260	254	247	240	232	225	215	204	196	188	180	172	161	150	141	132	121	110	100	90		
	39	268	262	255	248	241	234	226	216	205	197	189	181	173	162	151	142	133	122	111	101	91		
		270	263	256	249	243	235	228	217	207	199	191	182	174	163	152	143	134	123	112	102	93		
	38	271	264	257	251	244	237	229	219	208	200	192	184	175	164	153	144	135	124	113	104	94		
		272	265	259	252	245	238	230	221	212	203	193	185	177	166	155	146	137	126	116	106	95		
	37	273	267	260	253	246	239	231	224	216	205	194	186	178	167	156	147	138	127	119	108	96		
		274	268	261	254	248	240	233	225	218	207	196	187	179	168	157	148	140	130	121	109	98		
	36	275	269	262	256	249	242	234	227	219	208	197	189	180	169	158	150	141	132	122	111	99		
		277	270	264	257	250	243	236	228	220	209	198	190	182	172	162	152	142	133	123	112	100		
	35	278	272	265	258	251	244	237	229	221	210	199	191	183	174	165	154	143	134	124	113	101		
		279	273	266	259	253	245	238	230	223	212	201	192	184	175	167	155	144	135	126	114	103		
	34	280	274	267	260	254	247	239	232	224	213	202	194	185	176	166	157	146	136	127	116	104		
		282	275	269	262	255	248	241	233	225	214	203	195	187	178	169	158	147	136	127	117	105		
	33	283	277	270	263	256	249	242	234	226	215	204	196	188	179	170	159	148	137	128	118	106		
		284	278	271	264	257	250	243	235	228	217	206	197	189	180	172	160	149	140	131	121			
	32	285	279	272	265	258	251	244	237	229	218	207	199	190	182	173	162	150	141	132				
		286	280	273	266	260	252	245	238	230	221	211	201	192	183	174	163	152	142					
	31	287	281	274	268	261	254	246	239	231	223	215	204	193	184	175	164	153						
		288	282	276	269	262	255	248	240	233	224	216	205	194	185	177	168							
	30	289	283	277	270	263	256	249	242	234	226	217	206	195	187	178								
		291	284	278	271	265	257	250	243	235	227	219	208	197	188									
	29	292	286	279	273	266	259	251	244	236	228	220	209	198										
		293	287	280	274	267	260	253	245	237	229	221	209											
	28	294	288	281	275	268	261	254	246	238	230	222												
	295	289	283	276	269	262	255	247	240	232														
27	296	290	284	277	270	263	256	249	241															
	297	291	285	278	272	264	257	250																
26	298	292	286	280	273	266	258																	
	299	293	287	280	274	267																		
23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33				

Keterangan:

	Unrestrict		Aclimatisatio		Buffer		Withdraw
--	------------	--	---------------	--	--------	--	----------

Tabel 4. Keterangan *Thermal Work Limit* (TWL)

TWL (W/m ²)	ZONA KERJA	TINDAKAN	JADWAL KERJA/ ISTIRAHAT (menit)
>220	Tidak Terlarang	Tidak ada tindakan pencegahan.	Aman bagi semua kerja diatur sendiri yang berkelanjutan.
140 – 219	Batas Aklimatisasi	Personel tak teraklimatisasi diizinkan namun tidak bekerja sendiri.	Aman bagi semua kerja diatur sendiri yang berkelanjutan.
116 – 139	Batas Penahan	<p>Zona penahan berfungsi mengenali situasi saat kondisi lingkungan dapat membatasi pekerjaan.</p> <ul style="list-style-type: none"> Tingkatkan ventilasi & periksa lagi TWL <ul style="list-style-type: none"> Tutup <i>Heading</i> yang tak terpakai. Ganti ventbag yang rusak. Julurkan shotbag. Periksa nomor dari tahap fan yang beroperasi. Pasang air mover 	<p>Aman bagi kerja diatur sendiri berikut :</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Shotcreter</i> <i>Offsider</i> (AC Jumbo). Nipper. Diamond drilling. Raiseboring. Tech services.
		<ul style="list-style-type: none"> Kecepatan udara harus > 0.5 m/s. Personel tak teraklimatisasi dilarang. Personel dilarang bekerja sendiri atau terpencil. Harus tes dehidrasi. 	<p>45 kerja – 15 istirahat bagi:</p> <ul style="list-style-type: none"> Operator/ offsider (open-cab jumbo). Charge crew. Service work. Shaft-sinking.
< 115	Penarikan	<p>Pekerjaan dibatasi bagi perawatan penting atau operasi penyelamatan.</p> <ul style="list-style-type: none"> Segera hentikan semua kerja dan <i>refront</i> pekerja sampai ventilasi ditingkatkan. 	<p>Tingkatkan ventilasi. Tingkatkan pemompaan. 15 kerja – 45 istirahat</p>
		<ul style="list-style-type: none"> Tingkatkan ventilasi dengan supervisor di lapangan & periksa lagi TWL. <ul style="list-style-type: none"> Tutup <i>Heading</i> yang tak terpakai. Ganti ventbag yang rusak. Julurkan shotbag. Periksa nommor dari tahap fan yang beroperasi. Pasang air mover. Diizinkan kerja hanya jika disetujui Mine Manager dan ada JSEA. Tes dehidrasi di akhir shift. 	<p>Semua jadwal Kerja/ Istirahat lainnya di bawah arahan Mine Manager</p>

CATATAN:

- TWL bagi pekerja yang terpapar lingkungan, bukan bagi kerja di dalam AC cabin (mis,bogger) kecuali di Zona Penarikan.
- Pekerja tak Teraklimatisasi: personel yang menjalani field break di iklim lebih dingin (mis, expat di australia)

3.1.4. Kandungan Gas di Front

Di dalam tambang bawah tanah terdapat gas-gas hasil dari peledakan dan hasil dari kegiatan penambangan seperti *mucking*, *loading* dan *drilling jumbo drill* [1]. Kandungan gas diukur menggunakan gas *detector* untuk

mendeteksi gas seperti Oksigen (O_2) dalam satuan % volume, Karbondioksida (CO_2) dalam satuan PPM (*Part Per Milion*) dan Karbonmonoksida (CO) dalam satuan PPM (*Part Per Milion*).

Tabel 5. Kandungan Gas di *Front Kerja*

<i>Front</i> pengukuran	GAS (%)		
	O_2	CO_2	CO
KNF SB14B SILL	20.7	0	0.0002
KL SB14D SILL	20.7	0	0.0002
KL SB10A UC03	20.8	0	0.0003
K2S SB13B UC01	20.8	0	0.0003
K2 SB09H UC01	20.8	0	0.0003
K2 SB07H UC03	20.7	0	0.0002
K2 SB07H UC01	20.7	0	0.0002
K1 SB07E SILL	20.8	0	0.0003
K1 SB07B UC01	20.7	0	0.0002

3.1.5. Kebutuhan Udara Tambang Bawah Tanah

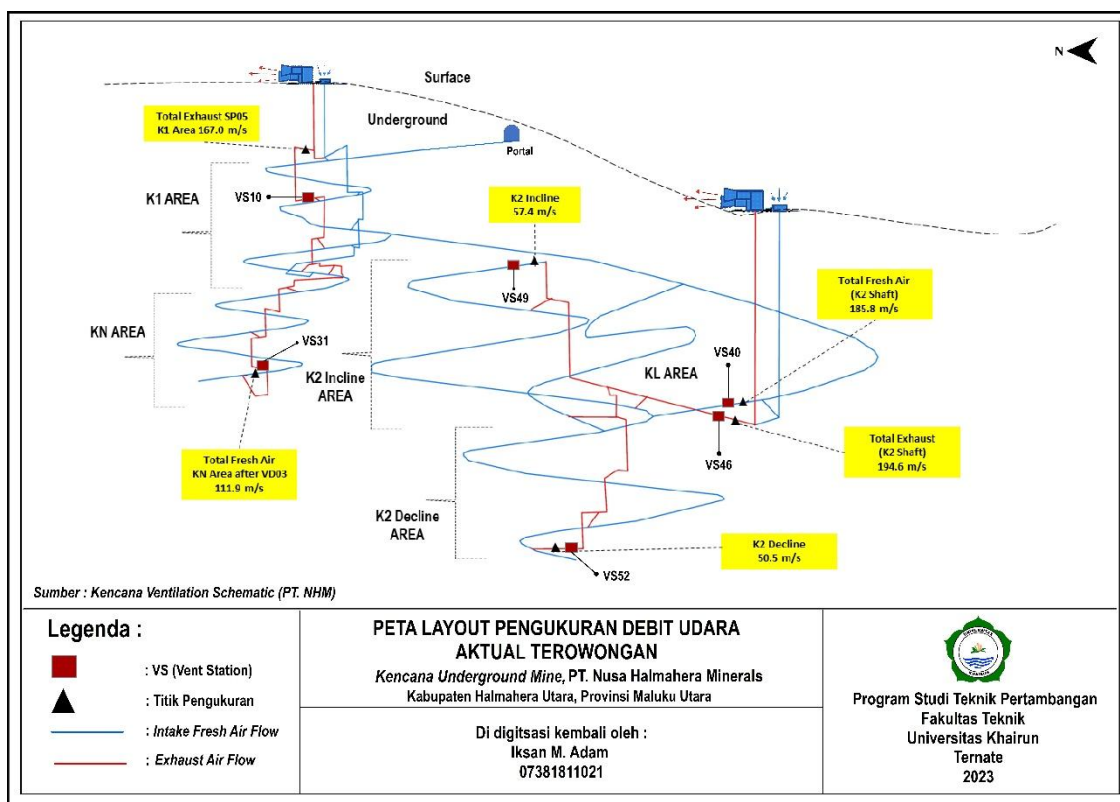
Volume udara bersih yang dialirkan dalam sistem ventilasi harus diperhitungkan berdasarkan jumlah pekerja terbanyak pada suatu front kerja dengan ketentuan untuk setiap orang tidak kurang dari $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ selama pekerjaan berlangsung dan ditambah sebanyak $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk setiap tenaga-tenaga kuda (*horse power*), apabila mesin diesel dioperasikan [2]. Kebutuhan udara di *front* kerja dapat dilihat pada Tabel 6. menunjukkan kebutuhan udara untuk para pekerja dan alat.

Tabel 6. Kebutuhan Udara di Tambang Bawah Tanah

No.	Nama Alat	Jumlah alat	Hp	Jumlah Manusia	Kebutuhan Udara sesuai regulasi		Kebutuhan Udara		Total m^3/s
					Manusia m^3/s	Alat/Hp m^3/s	Manusia m^3/s	Alat/Hp m^3/s	
1	JUMBO DRILL	1	147	2	0.03	0.05	0.06	7.35	7.41
2	BOGGER	1	343	1	0.03	0.05	0.03	17.15	17.18
3	TRUCK	1	429	1	0.03	0.05	0.03	21.45	21.48
4	SPRYMEC	1	121	3	0.03	0.05	0.09	6.05	6.14
6	CHARMEC	1	147	3	0.03	0.05	0.09	7.35	7.44

3.1.6. Debit Udara Terowongan

Debit udara merupakan volume udara yang masuk dan juga volume udara yang keluar dari terowongan tambang dalam satuan waktu [4]. Dengan kata lain udara yang masuk sama dengan udara yang keluar. Debit udara terowongan didapat dari perhitungan kecepatan udara rata-rata dengan luas dimensi terowongan. *Front* pengambilan data debit udara terowongan berada di front Total Intake Fresh Air (K1 Area), Total Exhaust Air (K1 Area), Total Intake fresh Air (K2 Area), K2 Incline, K2 Decline dan Total Exhaust Air (K2 Area) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Layout Pengukuran Debit Udara Terowongan

Hasil Pengolahan debit udara terowongan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengolahan Data Debit Udara

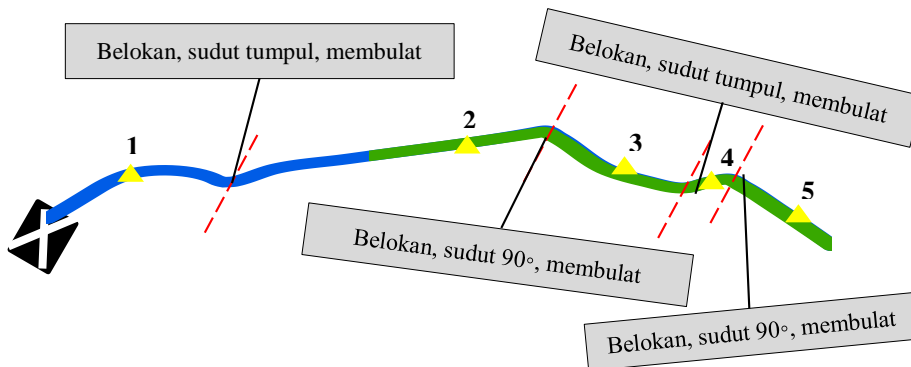
Lokasi Pengukuran	Velocity (m/s)			DB (°C)	WB (°C)	RH (%)	BP (kPa)	Luas (m ²)	Volume (m ³)	
	Average	Min	Max							
K1	Total Fresh KN After VD03	3.73	3.69	4.25	30.0	29.6	93.1	104.1	30.0	111.9
	Total Volume Exhaust SP05	4.80	3.94	5.39	28.6	28.1	96.3	99.4	34.8	167.0
K2	Total Fresh Air	5.40	4.82	6.52	30.7	28.7	86.1	103.0	34.4	185.8
	Incline	1.64	1.44	2.47	31.0	28.6	83.8	101.9	35.0	57.4
	Decline	1.38	0.26	2.31	31.8	30.1	88.6	103.9	36.6	50.5
	Total Volume Exhaust	6.95	2.98	8.93	32.2	36.4	88.0	102.5	28.0	194.6

3.1.7. Kehilangan Energi

Kehilangan energi yang terjadi di jalur udara (*Vent duct*) harus dihitung untuk mengetahui seberapa optimal *Vent duct* bekerja sehingga udara yang di alirkan dapat sampai ke front kerja. *Head loss* adalah total kehilangan energi akibat *friction loss* atau hambatan udara yang disebabkan oleh gesekan pada jalur udara sehingga laju udara terhambat dan *shock loss* atau hambatan yang disebabkan oleh perubahan lintasan pada jalur udara sehingga udara terhambat. *Front* pengambilan data adalah front yang *concern* yaitu *front* yang mempunyai *heading* cukup panas dan juga merupakan front yang mempunyai batuan kurang bagus, frontnya yaitu KNF SB14B SILL, K1 SB07B, KLSB10A dan K2 SB09H. Hasil pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 8, 9, 10 dan 11 serta jalur *Vent duct* dapat dilihat pada Gambar 4,5,6 dan 7 berikut.

Tabel 8. Hasil Data *Pressure Vent duct Front* KNF SB14B SILL

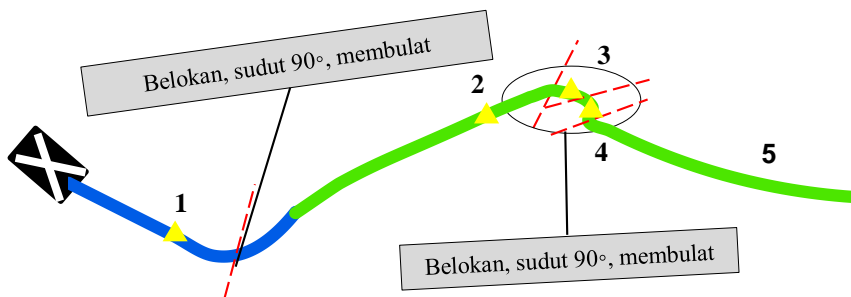
Titik	Pa	<i>Vent Duct Pressure</i>		<i>Distance</i>		<i>Remarks</i>
		<i>Distance</i>		<i>Distance</i>		
		<i>Point</i>	m	<i>Curve point</i>	(m)	
1	338	MF to 1	40	MF To 1	60	Ada 4 belokan
2	306	1 To 2	120	1 To 2	110	
3	281	2 To 3	60	2 To 3	62	
4	230	3 To 4	39	3 To 4	30	
5	172	4 To 5	50	4 To 5	58	
Total			309		262	



Gambar 5. Jalur dan Pengambilan data *Pressure Vent duct*

Tabel 9. Hasil Data *Pressure Vent duct Front* K1 SB07B UC01

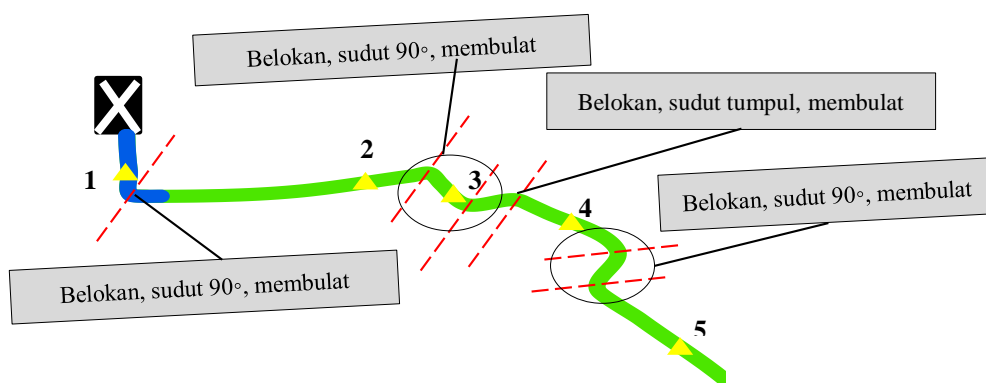
Titik	Pa	<i>Vent Duct Pressure</i>		<i>Distance</i>		<i>Remarks</i>
		<i>Distance</i>		<i>Distance</i>		
		<i>Point</i>	m	<i>Curve point</i>	(m)	
1	309	MF to 1	50	MF To 1	70	Ada 4 belokan
2	324	1 To 2	150	1 To 2	135	
3	289	2 To 3	45	2 To 3	40	
4	217	3 To 4	15	3 To 4	40	
5	138	4 To 5	60	4 To 5	-	
Total			320		285	



Gambar 6. Jalur dan Pengambilan data *Pressure Vent duct Front* K1 SB07B UC01

Tabel 10. Hasil Data *Pressure Vent duct Front* KL SB10A UC03

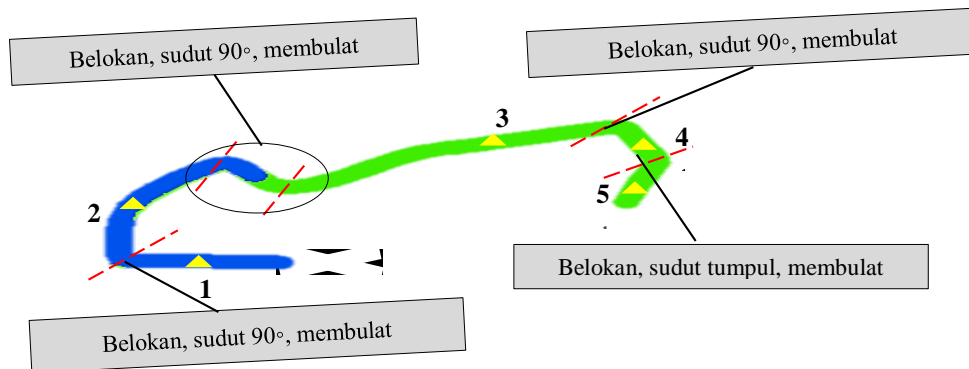
<i>Vent Duct Pressure</i>		<i>Distance</i>		<i>Distance</i>		<i>Remarks</i>
<i>Titik</i>	<i>Pa</i>	<i>Distance</i>		<i>Curve point</i>	<i>(m)</i>	
		<i>Point</i>	<i>m</i>			
1	322	MF to 1	40	MF To 1	50	Ada 6 belokan
2	297	1 To 2	121	1 To 2	115	
3	234	2 To 3	45	2 To 3	41	
4	171	3 To 4	58	3 To 4	37	
5	138	4 To 5	118	4 To 5	58	
				5 To 6	38	
Total			382		339	



Gambar 7. Jalur dan Pengambilan data *Pressure Vent duct Front* KL SB10A UC03

Tabel 11. Hasil Data *Pressure Vent duct Front* K2 SB09H UC01

<i>Vent Duct Pressure</i>		<i>Distance</i>		<i>Distance</i>		<i>Remarks</i>
<i>Titik</i>	<i>Pa</i>	<i>Distance</i>		<i>Curve Point</i>	<i>(m)</i>	
		<i>Point</i>	<i>m</i>			
1	352	MF to 1	40	MF To 1	51	Ada 5 belokan
2	334	1 To 2	47	1 To 2	59	
3	229	2 To 3	143	2 To 3	40	
4	161	3 To 4	60	3 To 4	107	
5	132	4 To 5	41	4 To 5	47	
Total			331		304	



Gambar 8. Jalur dan Pengambilan data Pressure *Vent duct Front* K2 SB09H UC01

Jalur *Vent duct* yang diambil adalah jalur *Vent duct* yang menyuplai udara ke front agar pekerja dapat bekerja secara optimal. Adapun keterangan dari gambar tersebut adalah, Lambang silang adalah motor fan dan garis merah putus-putus adalah perubahan aliran/belokan, perubahan aliran tersebut mempunyai tipe belokannya masing-masing.

3.2. Pembahasan

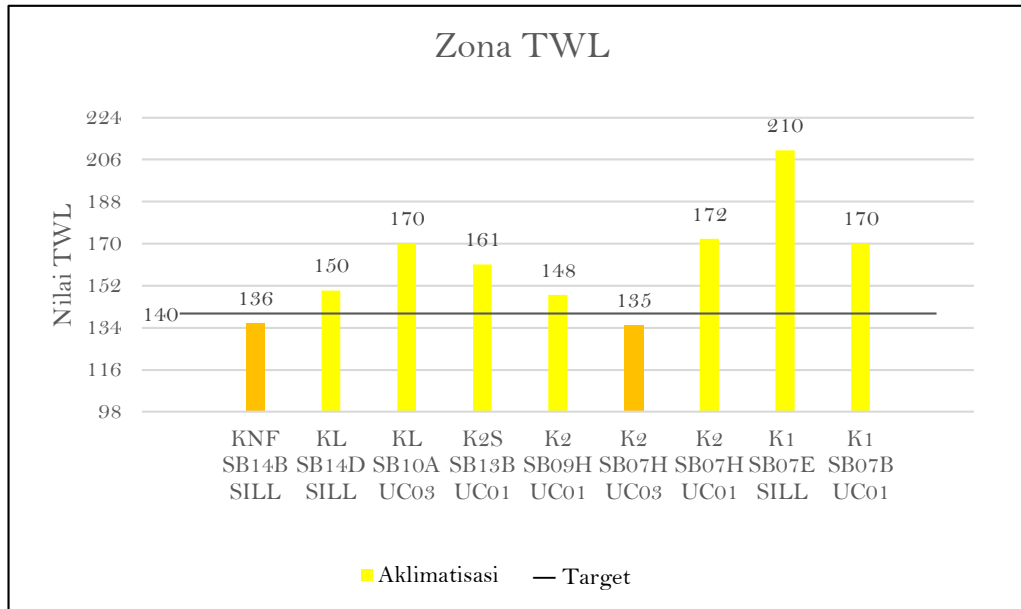
3.2.1. Thermal Work Limit (TWL)

Tabel 12 menunjukkan tujuh *front* tambang yang berada pada zona aklimatisasi yang dilambangkan warna kuning dengan range nilai yaitu pada 140 – 219. Front tersebut adalah front KL SB14D SILL dengan hasil nilai 150, front KL SB10A UC03 dengan hasil nilai 170, front K2S SB13B UC01 dengan hasil nilai 161, front K2 SB09H UC01 dengan hasil nilai 148, front K2 SB07H UC01 dengan hasil nilai 172, front K1 SB07E SILL dengan hasil nilai 210 dan front K1 SB07B UC01. Tujuh front ini berada pada zona aklimatisasi dimana zona ini berada pada zona aman untuk bekerja. Selain itu adapun front yang berada pada zona Buffer yang dilambangkan warna orange dengan range nilai 116 – 139.

Tabel 12. Hasil Pengklasifikasian Zona TWL

<i>Front</i>	Ws m/s	Db °C	Wb °C	Rh %	Bp kPa	TWL	Zona
KNF SB14B SILL	1.2	34.2	31.8	80.3	104.1	136	Buffer
KL SB14D SILL	2.2	34.7	31.6	80.1	103.6	150	Aklimatisasi
KL SB10A UC03	1.8	33.6	30.9	82.0	103.0	170	
K2S SB13B UC01	1.4	34.1	30.9	78.4	103.5	161	
K2 SB09H UC01	1.4	34.8	31.2	79.0	102.5	148	Buffer
K2 SB07H UC03	0.8	34	31.4	81.9	102.1	135	
K2 SB07H UC01	1.8	32.9	30.6	84.8	102.0	172	Aklimatisasi
K1 SB07E SILL	3.2	32.6	29.8	79.4	102.3	210	
K1 SB07B UC01	1.8	33	30.5	83.5	102.4	170	

Front tersebut adalah front KNF SB14B SILL dengan hasil nilai 136 dan front K2 SB07H UC03. Dua front ini berada pada zona buffer dimana zona ini adalah zona aman namun diperlukanya sebuah tindakan dikarenakan win speed yang sampai ke face rendah. Tindakan tersebut adalah menutup Heading yang tak terpakai, ganti vent beg yang rusak, periksa kecepatan udara dan personel dilarang bekerja sendiri. Untuk kelembapan relatif sendiri semua front yang diambil datanya sudah terpenuhi dan sesuai dengan Keputusan Direktur Jendral Mineral dan Batubara Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral No. 185.K/37.04/DJB/2019, mengenai kelembapan relatif maksimum harus yaitu 85%.



Gambar 9. Grafik Hasil Klasifikasi Zona TWL

3.2.2. Kandungan Gas di Front

Gas karbon monoksida (CO₂) dalam kondisi aman yaitu dengan nilai 0 dikarenakan pada proses penambangan sistem ventilasi berjalan menerus, kandungan oksigen dan gas-gas berbahaya tersebut telah memenuhi standar ambang batas yang ada berdasarkan dengan Keputusan Direktur Jendral Mineral dan Batubara Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral No. 185.K/37.04/DJB/2019 yaitu Oksigen (O₂) tidak kurang dari 19,5%, Kandungan gas Karbon monoksida (CO) tidak lebih dari 0,005% dan Kandungan gas Karbondioksida (CO₂) tidak lebih dari 0,5%.

3.2.3. Debit Udara Terowongan

Debit udara secara pengukuran aktual di dapatkan dengan perkalian antara kecepatan udara rata-rata dan luas dimensi, front debit udara diambil pada front intake dan juga exhaust agar dapat diketahui berapa udara yang masuk dan berapa udara yang keluar yang keluar. Front tersebut seperti yang tertera di gambar pada bagian hasil, yaitu pada front Total Fresh KN After VD03 (K1 Area), Total Volume exhaust SP05 (K1 Area), *Decline* (K2 Area), *Incline* (K2 Area), *Intake Fresh Air* (K2 Area) dan *Exhaust* (K2 Area). Selain data secara aktual dilakukan juga perhitungan secara simulasi di *software ventsim design 5.0* untuk mengetahui debit udara di *front* yang telah diukur secara aktual agar ada komparasi atau perbandingan antara data secara aktual dan simulasi. Hasil data secara aktual dan simulasi dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Data Debit Udara Pengukuran Aktual dan Simulasi

	Front	Aktual (m ³ /s)	Simulasi (m ³ /s)
K1	Total Intake Fresh KN After VD03	111.9	114.8
	Total Volume Exhaust SP05	167.0	164.3
K2	Incline	57.4	71.1
	Decline	50.5	75.6
	Total Intake Fresh Air	185.8	163.4
	Total Volume Exhaust	194.6	177.3

Dari hasil pengukuran debit udara aktual secara maupun simulasi dapat dilihat bahwa debit udara di exhaust lebih besar daripada debit udara di intake fresh air hal ini tidak sesuai dengan prinsip ventilasi tambang yang ada yaitu udara masuk harus sama dengan udara yang keluar. Kelebihan udara di jalur exhaust ini dikarenakan adanya

kebocoran pintu (*vent door*) yang membatasi antara jalur *fresh air* dan *exhaust*. Hasil analisa sesuai dengan perhitungan simulasi adalah, adanya kebocoran di area K1 pada pintu VD09 (3.7 m³/s), VD08 (3.0 m³/s), VD07 (6.5 m³/s), VD06 (7.5 m³/s), terjadi penambahan volume *exhaust* sebanyak 17.2 m³/s di K104 lower dari K19A, dan juga penambahan volume *exhaust* di SPO5 sebanyak 11.1 m³/s dari K104 lower, sehingga total penambahan udara di jalur *exhaust* akibat kebocoran pintu adalah 49.0 m³/s.

Sedangkan di Area K2 sendiri memiliki dua jalur udara yaitu jalur *Incline* dan *Decline*, total kebocoran di jalur *Incline* adalah 5.4 m³/s dan di jalur *Decline* adalah 7.8 m³/s sehingga total *Incline* dan *Decline* adalah 13.2 m³/s. Jika total debit udara di jalur *exhaust* dan *intake fresh air* di area K1 dan K2 dikurangkan maka akan mendapatkan total penambahan dari kebocoran di jalur *exhaust*. Inilah yang menyebabkan debit udara di *exhaust* lebih besar daripada *fresh air* dikarenakan hisapan udara di jalur *exhaust* besar sehingga udara pada jalur *fresh* terhisap melalui pintu/*vent door*.

3.2.4. Kehilangan Energi

Berdasarkan hasil perhitungan (Tabel 14) kehilangan energi di jalur *Vent duct front* KNF SB14B SILL yaitu Motor Fan (MF) ke titik 1 (31.314 Pa), titik 1 ke 2 (38.914 Pa), titik 2 ke 3 (20.999 Pa), titik 3 ke 4 (9.365 Pa) dan titik 4 ke out (20.253 Pa) dengan debit udara yang keluar di titik akhir adalah 15.05 m³/s. *Head loss* di jalur *Vent duct front* K1 SB07B UC01 (MF) ke titik 1 (34.95 Pa), titik 1 ke titik 2 (48.452 Pa), titik 2 ke 3 (13.907 Pa), titik 3 ke 4 (12.110 Pa) dan titik 4 ke out (21.682 Pa) dengan debit udara yang keluar di titik akhir adalah 16.968 m³/s. *Head loss* di jalur *Vent duct front* KL SB10A UC03 (MF) ke titik 1 (26.165 Pa), titik 1 ke 2 (40.006 Pa), titik 2 ke 3 (23.865 Pa), titik 3 ke 4 (25.186 Pa), dan titik 4 ke out (29.459 Pa) dengan debit udara yang keluar di titik akhir adalah 13.66 m³/s. *Head loss* di jalur *Vent duct front* K2 SB09H UC01 (MF) ke titik 1 (27.853 Pa), titik 1 ke 2 (37.446 Pa), titik 2 ke 3 (32.626 Pa) titik 3 ke 4 (12.091 Pa) dan titik 4 ke out (15.893 Pa) dengan debit udara yang keluar di titik akhir adalah 13.16 m³/s. Perhitungan *head loss* sendiri menggunakan faktor gesekan yaitu dengan nilai 0,0046 [1].

Tabel 14. Hasil Perhitungan Nilai H_f, H_x dan H_L pada *Vent duct*

<i>Front</i>	K	Per/Kel (m)	Distance (m)	L (m)	Le (m)
KNF SB14B SILL	0.0046	4.4	MF to 1	60	6
	0.0046	3.353	1 to 2	110	1
	0.0046	3.353	2 to 3	62	1
	0.0046	3.353	3 to 4	30	1
	0.0046	3.353	4 to out	58	20
A ³	Pressure (Pa)	Q ²	H _f (Pa)	H _x (Pa)	H _L (Pa)
1.54	338	36.10	28.467	2.847	31.314
0.894	306	20.32	38.563	0.351	38.914
0.894	281	19.32	20.666	0.333	20.999
0.894	230	17.51	9.063	0.302	9.365
0.894	172	15.05	15.060	5.193	20.253
<i>Front</i>	K	Per/Kel (m)	Distance (m)	L (m)	Le (m)
K1 SB07B UC01	0.0046	4.4	MF to 1	70	6
	0.0046	3.353	1 to 2	135	1
	0.0046	3.353	2 to 3	40	1
	0.0046	3.353	3 to 4	40	1
	0.0046	3.353	4 to out	72	20
A ³	Q ²	H _f (Pa)	H _x (Pa)	H _L (Pa)	

<i>Front</i>	K	Per/Kel (m)	Distance (m)	L (m)	Le (m)
	Pressure (Pa)				
1.54	309	34.99	32.191	2.759	34.95
0.894	324	20.65	48.096	0.356	48.452
0.894	289	19.66	13.567	0.339	13.907
0.894	217	17.12	11.815	0.295	12.110
0.894	138	13.66	16.968	4.713	21.682

<i>Front</i>	K	Per/Kel (m)	Distance (m)	L (m)	Le (m)
KL SB10A UC03	0.0046	4.4	MF to 1	50	6
	0.0046	3.353	1 to 2	115	1
	0.0046	3.353	2 to 3	78	1
	0.0046	3.353	3 to 4	96	1
	0.0046	3.353	4 to out	105	20

A^3	Pressure (Pa)	Q^2	H_r (Pa)	H_k (Pa)	H_L (Pa)
1.54	338	35.55	23.361	2.803	26.165
0.894	306	19.99	39.661	0.345	40.006
0.894	281	17.51	23.563	0.302	23.865
0.894	230	15.05	24.927	0.260	25.186
0.894	172	13.66	24.745	4.713	29.459

<i>Front</i>	K	Per/Kel (m)	Distance (m)	L (m)	Le (m)
K2 SB09H UC01	0.0046	4.4	MF to 1	51	6
	0.0046	3.353	1 to 2	99	1
	0.0046	3.353	2 to 3	107	1
	0.0046	3.353	3 to 4	47	1
	0.0046	3.353	4 to out	50	20

A^3	Pressure (Pa)	Q^2	H_r (Pa)	H_k (Pa)	H_L (Pa)
1.54	352	37.18	24.921	2.932	27.853
0.894	334	36.10	46.971	0.474	47.446
0.894	229	17.51	32.324	0.302	32.626
0.894	161	14.60	11.839	0.252	12.091
0.894	132	13.16	11.352	4.541	15.893

3.2.5. Perbandingan Debit Udara Secara Teori dan Aktual di *Face*

Debit udara secara teori adalah debit udara ketetapan dari spesifikasi *secondary fan* sedangkan debit udara secara aktual adalah debit udara yang di ambil langsung di lapangan. Tabel 15 menunjukkan hasil perbandingan secara teori dan aktual untuk debit udara dari motor *fan* sampai ke *face* pada jalur *Vent duct*.

Tabel 15. Perbandingan Debit Udara Secara Teori dan Aktual

Jalur <i>Vent duct</i>	<i>Motor Fan</i> (kW)	<i>Distance</i> (m)		Debit Udara (m ³ /s)	
		Teori	Aktual	Teori	Aktual
KNF SB14B SILL	2x110	400	309	35.21	15.05
K1 SB07B UC01	2x110	400	320	35.21	13.66
KL SB10A UC03	1x110	400	382	26.72	13.66
K2 SB09H UC01	1x110	350	331	28.62	12.16

Dari data debit udara yang sampai ke face juga sudah memenuhi standar kebutuhan udara berdasarkan regulasi yaitu pada 1 alat *jumbo drill* dan 1 operator *jumbo drill* juga 1 *offsider* dengan total kebutuhan udara adalah 7.41 m³/s.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan tentang analisis jaringan ventilasi tambang emas bawah tanah kencana di PT. NHM terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut:

1. Terdapat 7 front yang berada pada zona aklimatisasi yang berada pada rentang nilai 140 – 219 dan 2 *front* yang berada pada zona *buffer* yang berada pada rentang nilai 116 – 139, 2 *front* berada pada zona *buffer* dikarenakan *win speed* yang sampai ke *face* rendah. Hasil pengolahan data debit udara secara kondisi aktual dan simulasi diperoleh udara di jalur exhaust lebih besar dibandingkan dengan udara di jalur fresh air, hal ini dikarenakan adanya kebocoran pada *vent door* yang membatasi antara jalur *fresh air* dan *exhaust*.
2. Hasil pengolahan data pressure *Vent duct* pada 4 *front* diperoleh adanya banyak perubahan lintasan dan kebocoran serta jarak motor fan ke face yang jauh secara aktual hal ini menyebabkan udara yang sampai di face juga berkurang, hasil secara aktual dan teori jika dikomparasikan akan mengalami perbedaan karena secara teori jalur *Vent duct* lurus hasilnya yaitu pada teori di *front* KNF SB14B SILL dengan jarak 400 m dan pada kondisi aktual adalah 309 m, udara yang seharusnya sampai di face secara teori adalah 35.21 m³/s namun pada kondisi aktual adalah 15.05 m³/s. pada front K1 SB07B UC01 Teori 400 m dan 35.21 m³/s, aktual 320 m dan 13.66 m³/s, front KL SB10A UC03 Teori 400 m dan 26.72 m³/s, aktual 382 m dan 13.66 m³/s dan front K2 SB09H UC01 Teori 350 m dan 28.62 m³/s, aktual 331 m dan 12.16 m³/s.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berperan dalam penelitian Analisis Kualitas Dan Kuantitas Udara Pada Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah Kencana di PT. Nusa Halmahera Minerals, sehingga penelitian ini dapat di selesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] H. L. Hartman, J. M. Mutmansky, R. V Ramani, and Y. J. Wang, *Mine ventilation and air conditioning*. John Wiley & Sons, 2012.
- [2] D. J. Brake, "Fire modeling in underground mines using Ventsim Visual VentFIRE Software," in *Proceedings of the Australian mine ventilation conference, Adelaide, SA, Australia*, 2013, pp. 1–3.
- [3] A. D. Saputra, S. B. Setiawan, and M. Rusman, "Analisis kinerja kipas utama pada tambang bawah tanah toguraci di PT. Nusa Halmahera Minerals, Maluku Utara", Accessed: Jan. 30, 2023. [Online]. Available: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/47745>
- [4] E. KEMENTRIAN, "Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K," 2018.