

## **Kajian Kinerja *Main Fan* Tambang Emas Bawah Tanah Toguraci Pt Nusa Halmahera Minerals, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara**

Performance Review Main Fan Underground Gold Mine Site Toguraci PT Nusa  
Halmahera Minerals, North Halmahera District,  
North Maluku Province

<sup>1</sup>Muhammad Iqbal, <sup>2</sup>Stefano Munir, <sup>3</sup>Indra Karna Wijaksana.

<sup>1,2,3</sup>*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,*

*Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116*

*email: <sup>1</sup>qbaele@gmail.com, <sup>2</sup>stefano.munir@yahoo.com, <sup>3</sup>indra\_k\_wijaksana@yahoo.com*

**Abstract.** PT Nusa Halmahera Minerals (NHM) Site Toguraci Mine, according to the sediment type characteristics of the hydrothermal gold ore body which has an epithermal type which causes high temperatures in the mine to range from 38 - 42°C. Then it is necessary to control the ventilation system. During this time the ventilation system applied is with the exhausting system. The performance of the exhausting system can be assessed with operational parameters between the amount of air pressure (head) and the amount of mine air flow (Quantity), so that it can be determined the main operating point of the fan. The location conditions for mounting the fan according to geographic parameters are at an altitude of 208 meters above sea level with the source of air sucked from the portal with an elevation of 164 meters above sea level and 95 meters above sea level. Based on geological and geotechnical conditions, it has vein deposits in the form of epithermal deposits of the type of hydrothermal deposits which have high temperatures, and are dominated by igneous rock formations which have a high and massive compaction rate. The mining method carried out is underhand cut and fill method and long hole stopping due to the type of sediment in the form of vein and has a low elevation. Environmental conditions are in a variety of diverse flora and fauna and the location is not too barren or dry even though it is far from the location of the river. The main fan operation can be determined by paying attention to the mine curve and the standard curve applied. The performance of the main fan is viewed from the value of air psychrometry in the air ducts, the volume of air sucked, the volume inlet, resistance, water power, the value of performance efficiency, and the comparison of actual conditions and company standards. The performance of the main fan is viewed from three different measurement methods, namely the collar method, mounting bolt and evase. The wet temperature obtained at the time of measurement is 32.3°C, dry temperature is 34.8°C with a pressure of 98.60Pa. In the collar method, air volume is 340.5 m<sup>3</sup>/s, mounting bolt is 273.18 m<sup>3</sup>/s, evase 435.18 m<sup>3</sup>/s (invalid) with standard specification 340 m<sup>3</sup>/s. The performance of main fan T1 on the collar method is 82.58%, bolt mounting (left) 81.81% (right) 76.45%. For volume inlet with blade slope of 56° with rpm 980 the company's determination for a standard curve with rpm 950 is 187 m<sup>3</sup>/s with a static pressure fan of 1250 Pa, rpm 990 is 195 m<sup>3</sup>/s with a static pressure fan of 1360 Pa. In actual conditions, static pressure fans for rpm 950 and 990 obtained 1104 Pa, the inlet volume of rpm 950 was 191 m<sup>3</sup>/s and the inlet volume with rpm 990 was 204 m<sup>3</sup>/s. So that the measurement method that can be done is by the collar and ventilation system at PT. NHM is sufficient in the air supply because it is in accordance with the main fan specifications. The operational point based on the fan characteristics curve is at the head of 1.4 kPa and quantity 190 m<sup>3</sup>/s and the characteristics of the mine are at the head of 1.4 kPa and quantity 180 m<sup>3</sup>/s.

**Keywords:** Main Fan, Temperature, Air Volume, Collar, Bolt Mounting, Evase.

**Abstrak.** Tambang *Site* Toguraci PT Nusa Halmahera Minerals (NHM), sesuai dengan karakteristik tipe endapan tubuh bijih emas hidrotermal yang mempunyai tipe epithermal sehingga menyebabkan suhu tinggi dalam tambang berkisar 38 - 42°C. Maka perlu dilakukan pengontrolan dengan sistem ventilasi. Selama ini sistem ventilasi yang diterapkan adalah dengan sistem *exhausting*. Kinerja sistem *exhausting* dapat dinilai dengan parameter operasional antara jumlah tekanan udara (*head*) dan banyaknya aliran udara tambang (*Quantity*), sehingga dapat ditentukan titik operasi *main fan*. Kondisi lokasi pemasangan *main fan* menurut parameter geografi yaitu berada pada ketinggian 208 mdpl dengan sumber udara yang dihisap dari portal dengan elevasi 164 mdpl dan 95 mdpl, kondisi iklimnya yaitu tropis basah bersuhu tahunan rata-rata 28°C dan kelembaban 88.5%. Berdasarkan kondisi geologi dan geoteknik yaitu mempunyai endapan urat/ *vein* dengan bentuk endapan epithermal dari tipe endapan hidrotermal yang mempunyai suhu tinggi, serta didominasi oleh formasi batuan beku yang mempunyai tingkat keompakkan tinggi dan *massive*.

Metode penambangan yang dilakukan yaitu dengan metode *underhand cut and fill* dan *long hole stopping* akibat jenis endapannya berbentuk urat/ *vein* dan mempunyai elevasi rendah. Kondisi lingkungan berada pada lingkungan yang terdapat flora dan fauna beraneka ragam dan lokasi tidak terlalu tandus atau kering meskipun jauh dari lokasi keberadaan sungai. Operasional *main fan* dapat ditentukan kinerjanya dengan memperhatikan kurva tambang dan kurva standar yang diterapkan. Kinerja *main fan* ini ditinjau dari nilai psikrometri udara pada saluran udara, volume udara yang dihisap, inlet volume, resistensi, *air power*, nilai efisiensi kinerja, serta perbandingan keadaan sebenarnya dan standar perusahaan. Kinerja *main fan* ini ditinjau dari tiga metode pengukuran yang berbeda yaitu dengan metode *collar*, *bolt mounting* dan *evase*. Suhu basah yang didapatkan pada saat pengukuran yaitu 32.3°C, suhu kering 34.8°C dengan tekanan 98.60Pa. Pada metode *collar* didapatkan volume udara sebanyak 340.5 m<sup>3</sup>/s, *bolt mounting* 273.18 m<sup>3</sup>/s, *evase* 435.18 m<sup>3</sup>/s (*invalid*) dengan standar spesifikasi 340 m<sup>3</sup>/s. Untuk performa *main fan* T1 pada metode *collar* yaitu 82.58%, *bolt mounting (left)* 81.81% (*right*) 76.45%. Untuk *inlet* volume dengan kemiringan *blade* 56° dengan rpm 980 ketetapan perusahaan untuk kurva standar dengan rpm 950 adalah 187 m<sup>3</sup>/s dengan *fan static pressure* 1250 Pa, rpm 990 adalah 195 m<sup>3</sup>/s dengan *fan static pressure* 1360 Pa. Pada kondisi aktual, *fan static pressure* untuk rpm 950 dan 990 didapatkan 1104 Pa, inlet volume rpm 950 sebanyak 191 m<sup>3</sup>/s dan *inlet* volume dengan rpm 990 sebanyak 204 m<sup>3</sup>/s. Sehingga metode pengukuran yang dapat dilakukan yaitu dengan metode *collar* dan sistem ventilasi di PT. NHM telah mencukupi dalam suplai udara karena sesuai dengan spesifikasi *main fan*. Titik operasional berdasarkan kurva karakteristik *fan* berada pada *head* 1.4 kPa dan debit 190 m<sup>3</sup>/s dan karakteristik tambang berada pada *head* 1.4 kPa dan debit 180 m<sup>3</sup>/s.

**Kata Kunci : Main Fan, Suhu, Volume Udara, Collar, Bolt Mounting, Evase.**

#### A. Pendahuluan

Bahan galian yang terdapat pada tambang bawah tanah Toguraci PT. NHM tergolong pada endapan epitermal. Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang berbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan. Endapan epitermal adalah hasil dari sistem hidrotermal yang berskala besar pada lingkungan vulkanik dalam suatu sumber panas magmatik atau sumber air meteorik. Pada umumnya endapan epitermal ini terbentuk pada suhu yang relatif rendah antara 50 - 250°C. Zona bijih berupa urat-urat yang simple, beberapa tidak beraturan dengan pembentukan kantong – kantong bijih, seringkali terdapat pada pipa dan *stockwork*.

Tambang emas bawah tanah ini mempunyai kondisi geologi endapan bijih berbentuk urat atau *vein*, sehingga berdasarkan prinsip keselamatan (*safety*), efisiensi dan ekonomi yang berdasarkan kondisi geologi dari tipe endapan urat bijih, topografi lokasi tambang, geomekanika batuan sampling dan endapan bijih maka digunakan metode penambangan *Underhand Cut and Fill* dan *Long Hole Stopping*.

Pada area tambang bawah *Site* Toguraci merupakan tambang bawah tanah dengan lebar lubang bukaan 5,2 meter dan tinggi 6,2 meter yang mempunyai suhu cukup tinggi yang diakibatkan adanya kontak antara air meteorik dan aktivitas tektonik yang terjadi dibawah permukaan di Toguraci. Dengan demikian perlu adanya kebutuhan udara bersih yang cukup banyak supaya kegiatan penambangan berjalan lancar.

Salah satu unit *operation* yang penting yaitu yaitu adanya ventilasi udara. Ventilasi adalah perpindahan udara disekitar tambang untuk menyediakan udara bersih yang diperlukan sesuai dengan kualitas dan kuantitasnya sehingga dapat memberikan keamanan dan kesehatan ditempat pekerja bekerja.

Udara yang dialirkan menggunakan tipe ventilasi udara *exhaust* yaitu pada sistem ini *fan* dipasang untuk menarik keluar udara dari dalam tambang, tekanan udara dalam terowongan menjadi lebih kecil (negatif) dibanding tekanan luar. Sistem ini lebih sering digunakan pada tambang bawah tanah, tekanan negatif di terowongan juga memaksa gas – gas beracun untuk lebih mudah terbuang sehingga tidak terakumulasi di dalam

tambang. Alat *exhaust* yang digunakan yaitu menggunakan *axial fan Howden type* AFSO 1200/2450 dengan daya 560 kW / 690 V motor yang dipasang secara parallel dengan diameter *fan* 2450 m, kecepatan 980 rpm dengan daya hisap udara 315 m<sup>3</sup>/s sesuai dengan kebutuhan udara standar perusahaan.

Berdasarkan keadaan dilapangan yang sering timbul yaitu tidak sesuai dan efektifnya metode pengukuran yang dilakukan dibandingkan dengan standar perusahaan yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini, yaitu mengkaji kinerja *main fan* berdasarkan data pengukuran langsung aktual dilapangan kemudian dibandingkan dengan standar alat yang ditetapkan dan standar perusahaan.

## B. Landasan Teori

Sifat Psychrometric udara terdiri dari tekanan barometric, (Pb) adalah tekanan atmosfer yang dibaca pada alat barometer, dalam satuan in.Hg atau psi (mm Hg atau Pa).

1. Suhu kering (*dry bulb temperature*) merupakan suhu yang ditunjukkan oleh thermometer kering, suatu ukuran kandungan panas yang ada pada udara; dalam satuan °C atau °F.
2. Suhu basah (*wet bulb temperature*) merupakan suhu dimana air mengalami penguapan di udara yang membawa udara dalam keadaan jenuh secara adiabatik pada suhu tersebut, menjadi ukuran kapasitas penguapan udara dan ditunjukkan dengan *thermometer* yang sumbunya dibasahi; dalam satuan °C atau °F.
3. Kelembaban relatif (*relative humidity*) merupakan perbandingan uap udara pada kondisi tertentu dan jenuh pada suhu konstan.

Mekanisme pengukuran kecepatan aliran udara yaitu dengan menggunakan *pitot tube*. *pitot tube* ini berbentuk seperti huruf L dengan bagian ujungnya terdapat lubang terbuka untuk jalan masuknya udara. Alat ini dapat mengukur tekanan pada udara berkecepatan tinggi sehingga untuk kecepatan rendah alat ini tidak dapat digunakan atau tidak akurat.

Tekanan yang mengalir pada saluran udara melalui *pitot tube* akan diukur oleh alat yang dinamakan *manometer* yang disambungkan dengan slang plastik atau karet pada ujung *pitot tube* lainnya. Tekanan yang diukur yaitu *total pressure*, *static pressure* dan *velocity pressure*.

1. *Velocity Pressure* merupakan tekanan yang terjadi karena ada pergerakan udara, semakin cepat pergerakan aliran udara maka tekanan udara semakin besar juga.
2. *Static Pressure* merupakan tekanan yang diberikan oleh udara dinding *ductus* dengan menggunakan lubang statis pada *pitot tube*.
3. *Total Pressure* merupakan tekanan jumlah dari *velocity pressure* dan *static pressure*.

Selain mengukur kecepatan udara untuk menentukan kuantitas aliran udara, dilakukan pengukuran terhadap luas penampang jalur udara pada setiap titik pengukuran sehingga data yang didapatkan sesuai. Persamaan yang digunakan yakni dengan rumus lingkaran, karena bentuk dari jalur udara lingkaran, rumusnya yaitu:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = r^2 \times \pi$$

Dimana :

$$A = \text{Luas jalur udara (m}^2\text{)}$$

$$Rr^2 = \text{Jari – jari penampang (m}^2\text{)}$$

$$\pi = \text{Konstanta lingkaran 3.14}$$

Pada pengukuran tekanan udara dilakukan dengan menggunakan alat kestrel anemometer yang didapatkan

untuk mengetahui perbedaan tekanan udara pada setiap titik pengukuran. Dengan mengetahui perbedaan tekanan udara, maka dapat diperkirakan arah aliran udaranya. Berdasarkan prinsip aliran udara yaitu mengalir dari udara yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah.

*Psychrometric* merupakan ilmu yang mempelajari tentang sifat *psychrometric* (suhu dan kelembaban) udara dalam kondisi tertentu selama proses pengendalian kelembaban dan temperature. Ilmu *psychrometric* juga mempelajari termodinamika campuran udara dan uap air selama proses *air conditioning* menerapkan prinsip termodinamika.

Pada tekanan barometric, 2 (dua) sifat *psychrometric* udara menentukan kondisi udara. Sifat *psychrometric* yang paling mudah diukur adalah suhu basah (*wet bulb temperature*) dan suhu kering (*dry bulb temperature*). Sebenarnya masih banyak sifat – sifat *psychrometric* lainnya yang dapat ditentukan, meskipun salah satu yang penting dalam proses entalpi adalah suhu kering dan suhu basah.

Kecepatan aliran udara merupakan faktor utama dalam mengatur keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja. Kecepatan aliran udara sebesar 150 – 500 fpm (0.8 – 2.5 meter/detik) dapat memberikan kenyamanan lingkungan kerja ditempat yang panas dan lembab.

Untuk mengetahui jumlah aliran udara yang masuk maupun keluar dari dalam tambang bawah tanah dapat digunakan persamaan – persamaan sebagai berikut:

1. *In Drift Barometric Pressure (P')*  
*In Drift Barometric Pressure* merupakan tekanan udara didalam *tunnel*, dalam hal ini adalah badan *fan*. Persamaan yang digunakan yakni:

$$P' = P - \left( \frac{T_p}{1000} \right) \text{KPa}$$

Dimana P' adalah *pressure in drift* (kPa), Tp adalah *total pressure* (Pa) dan 1000 merupakan nilai konversi dari satuan paskal ke kilopascal (kPa).

2. *Vapour Pressure*

*Vapour Pressure* merupakan tekanan parsial uap air yang ditimbulkan oleh molekul uap air didalam udara lembab pada suhu konstan. Apabila udara mencapai kondisi jenuh, maka tekanan uap air tersebut disebut *saturated vapour pressure* (P'ws). Pendugaan tekanan parsial uap air dapat didekati dengan persamaan:

$$P_w = P'ws - A P' (t_{db} - t_{wb})$$

$$P'ws = 0.6105 \exp \left( \frac{17.27 t_{wb}}{237.3 + t_{wb}} \right)$$

Dimana P'ws adalah *saturated vapour pressure*, t<sub>wb</sub> adalah *wet bulb temperature* dan t<sub>db</sub> adalah *dry bulb temperature*, sedangkan P<sub>w</sub> adalah *vapour pressure*, A merupakan nilai dari konstanta psikrometri (0.000644 °C<sup>-1</sup>) dan P adalah *pressure in drift* (kPa).

3. *Moisture Content (r)*

*Moisture Content* dalam buku *Ventilation and Occupational Environment Engineering in Mine* 2014 adalah massa uap air yang diasosiasikan dengan satuan massa udara kering atau dapat diartikan sebagai massa uap air yang dikandung per satuan massa udara kering lb/lb (kg/kg), yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$r = \left( \frac{M_w}{M_a} \right) \left( \frac{P_w}{P_a} \right) = \left( \frac{M_w}{M_a} \right) \left( \frac{P_w}{P - P_w} \right)$$

$$= \left( \frac{18.9645 \text{ KJ/Kgmol}}{28.9645 \text{ KJ/mol}} \right)$$

$$\left( \frac{P_w}{P - P_w} \right) = 0.622 \left( \frac{P_w}{P - P_w} \right) \text{ kg/kg}$$

Dimana  $r$  adalah *moisture content* (kg/kg),  $M_w$  adalah *molecular mass to water vapour* (massa molekul udara dalam kondisi basah) yakni 18.9645 kJ/kg mol K,  $M_a$  adalah *molecular mass to dry air* (massa molekul udara kering) yakni 28.9645 kJ/kg mol K, sedangkan  $P$  merupakan *absolute pressure* menurut hukum Dalton ( $P = P_a + P_w$ ) dengan  $P_a$  adalah *air dry pressure* (kPa).

#### 4. Apparent Spesific Volume ( $v$ )

*Apparent Spesific Volume* merupakan volume yang ditempati oleh unit massa material, yang dapat diartikan sebagai volume ruang yang diisi oleh 1 kg udara kering dan dinyatakan dalam  $m^3/kg$  udara kering. Persamaannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} v &= \frac{V}{m_a} = \left(\frac{T}{P_a}\right) = \left(\frac{R^*}{M_a}\right) \left(\frac{T}{P-P_w}\right) \\ &= \left(\frac{8.31441}{28.9645}\right) \left(\frac{T}{P-P_w}\right) \\ &= 0.287055 \left(\frac{T}{P-P_w}\right) m^3/kg \end{aligned}$$

Dimana  $v$  adalah *specific volume* ( $m^3/kg$ ), 0.2805 merupakan konstanta gas untuk udara (kJ/kg K).

#### 5. Density ( $\rho$ )

*Density* merupakan suatu besar kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan benda tersebut.

$$\rho = \frac{1}{v} \text{ kg/m}^3$$

Kuantitas udara merupakan jumlah udara yang melalui ruang dan luas tertentu yang diukur setiap satuan waktu. Kuantitas udara tambang merupakan jumlah udara yang masuk kedalam tambang per satuan waktu. Kuantitas udara yang melalui jalur udara tidak ditentukan secara langsung, melainkan berdasarkan pengukuran kecepatan aliran udara dan luas penampang jalur udara tambang.

Tujuan dari perhitungan udara tambang adalah untuk mengetahui besarnya kebutuhan udara dan pembagiannya pada tiap jalur yang dibutuhkan di dalam tambang. Setelah diketahui kecepatan aliran udara dan luas penampang jalur udara pada setiap titik pengukuran, maka kuantitas udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = V_p \times A$$

Dimana  $Q$  adalah kuantitas udara ( $m^3/s$ ),  $V_p$  adalah kecepatan aliran ( $m/s$ ), dan  $A$  adalah luas penampang jalur udara ( $m^2$ ). Untuk menghitung nilai kuantitas udara (*inlet volume*) terlebih dahulu dilakukan dengan perhitungan kecepatan aliran udara, rumus yang digunakan yaitu :

$$V_p = \sqrt{\frac{2vp}{\rho}}$$

Dimana  $V_p$  adalah kecepatan aliran udara ( $m/s$ ),  $vp$  adalah *velocity pressure* terukur (Pa), dan  $\rho$  adalah nilai *density* udara ( $kg/m^3$ ).

Setelah mengetahui nilai kecepatan aliran udara ( $V_p$ ) dilanjutkan dengan menghitung nilai *mass flow* (massa aliran udara dalam *fan*) dengan menggunakan rumus:

$$\text{Mass Flow} = Q \times \rho$$

Dimana  $Q$  adalah kuantitas udara ( $m^3/s$ ) dan  $\rho$  adalah densitas udara ( $kg/m^3$ ). Nilai  $Q$  yang diperoleh didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.6 yang selanjutnya nilai *mass flow* digunakan untuk menghitung nilai *inlet volume* atau kuantitas udara di dalam *fan* menggunakan persamaan :

$$\text{Inlet Volume} = \frac{\text{mass flow}}{\rho}$$

*Main fan* atau kipas utama merupakan hal utama dalam proses pengaliran udara dengan tekanan yang cukup yang dibutuhkan untuk operasi kendaraan dan aktifitas pekerja didalam tambang bawah tanah sehingga terciptanya kondisi kerja yang aman dan nyaman.

Untuk memastikan kinerja *main fan* dalam kondisi yang baik, maka perlu dilakukan pengontrolan terhadap *main fan* secara rutin dengan meninjau nilai resistansi udara, *air power*, dan juga efektivitas dari *fan* itu sendiri.

Resistensi merupakan jumlah kehilangan tekanan dalam suatu sistem, untuk volume udara tertentu. *Fan* dalam sistem dengan saluran sempit dan banyak tikungan dengan radius pendek, maka akan bekerja lebih keras untuk mengatasi resistensi sistem yang lebih besar dibandingkan sistem dengan saluran yang lebih besar dengan sedikit jumlah belokan dan panjang.

Jalur udara yang panjang dan sempit dengan banyak belokan atau tikungan akan memerlukan lebih banyak energi untuk menarik udara pada jalur tersebut. Sebagai akibatnya, untuk kecepatan *fan* yang sama maka *fan* dalam sistem ini akan mampu menarik sedikit udara dibandingkan jalur *fan* dengan jalur pendek tanpa adanya belokan.

Persamaan yang digunakan, yaitu:

$$R = \frac{P_s}{Q^2}$$

Dimana R merupakan resistensi ( $Ns^2/m^8$ ), Q adalah jumlah volume udara atau kuantitas udara ( $m^3/s$ ) dan  $P_s$  merupakan tekanan statik (*static pressure*) dengan satuan *pascal* (Pa).

*Air power* atau daya penggerak atau kekuatan *fan* dalam menghisap udara, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yaitu:

$$\text{Air Power (kW)} = \text{Pressure (Pa)} \times \text{Quantity (m}^3/\text{s)}$$

*Efficiency Fan* (Efisiensi Kipas)

merupakan perbandingan antara daya yang dipindahkan ke aliran udara dengan daya yang didistribusikan oleh motor *fan*. Daya aliran udara adalah hasil dari tekanan dan aliran. Persamaan yang digunakan yaitu:

$$\text{Fan Efficiency (\%)} = \frac{\text{Air Power (kW)}}{\text{Input Power (kW)}} \times 100\%$$

*Efficiency Fan* ini tergantung pada jenis *fan* dan impelernya, dengan meningkatnya laju aliran maka efisiensi akan meningkat juga.

Untuk mengetahui kinerja *main fan* dapat digambarkan dengan kurva kinerja dari *fan* itu sendiri. Kurva kinerja ini merupakan penggambaran grafik dari *fan pressure* dan *system resistance curve*. Perpotongan dari *system resistance curve* dan *fan curve* merupakan titik operasi (*duty point*) yang berarti pertemuan antara jumlah tekanan yang diberikan dengan jumlah volume udara yang dihisap. Apabila *system resistance* berubah maka titik operasi juga berubah.

Garis kelanjutan dari *system resistance* kearah atas melewati *fan curve* disebut garis kinerja. Semakin ke kanan arahnya, maka semakin baik kinerjanya, dan sebaliknya maka semakin buruk kinerjanya. Jika pertemuan *fan curve* dan *system resistance* pada garis datar atau lengkungan atas dari *fan curve*, maka disebut *performance stall* yang artinya tekanan yang diberikan maksimum tetapi volume alirannya tidak meningkat. *Performance stall* harus dihindari dan jika pertemuannya pada sebelah kiri puncak *fan curve*, maka disebut *out of stall*. Kondisi *out of stall* berbahaya karena mampu membuat *blade* terlepas karena tidak sanggup menahan tekanan yang terlalu tinggi.

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Sifat psychrometric rata-rata pada penelitian yaitu kelembaban 79.1%, suhu basah 32.3°C, suhu kering 34.8 °C, dan tekanan barometric 98.55 Pa.

Untuk metode Collar dengan diameter saluran udaranya sebesar 4500mm didapatkan hasil, yaitu dijabarkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Diameter Saluran Udaranya Sebesar 4500mm dengan menggunakan Metode Collar

Collar	Value	Satuan
<b>Perhitungan Pressure</b>		
Static Pressure	1752.7	Pa
Velocity Pressure	238.3	Pa
Total Pressure	1991.1	Pa
<b>Perhitungan Psikometri</b>		
Wet Bulb Temperature (twb)	32.3	°C
Dry Bulb Temperature (tdb)	34.8	°C
Barometric Pressure (P)	98.6	Pa
In Drift Barometric Pressure (P')	96.61	Pa
Vapour Pressure (PW)	4.68	kPa
Moisture Content ( r )	0.032	g/kg
Apparent Spesific Volume (v)	0.96	m <sup>3</sup> /kg
Density (ρ)	1.04	kg/m <sup>3</sup>
<b>Perhitungan Kinerja Primary Fan</b>		
Luas Penampang (A)	15.9	m <sup>2</sup>
Kecepatan Aliran	21.41	m/s
Quantity	340.5	m <sup>3</sup> /s
Mass Flow (kg/s)	354.1	kg/s
Inlet Fan T1 Volume 1.2 kg/m <sup>3</sup>	295.09	m <sup>3</sup> /s
Resistensi	0.01	Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Air Power (kW)	677.96	kW
Fan Efficiency (%)	82.58	%

Pada pengukuran metode *collar* ini kinerja kecepatan yang dihasilkan 21.41m/s ini lebih kecil jika di bandingkan dengan *fan* 018 dan 019 pada bolt mounting karena kecepatan aliran dari kedua saluran tersebut tidak sama dan dipengaruhi dari nilai resistensinya. Nilai efisiensi yang dihasilkan dari perhitungan *main fan* ini yaitu 82.58% yang berarti *fan* telah berkerja sudah cukup baik dengan inlet volume sebesar 295.09 m<sup>3</sup>/s.

Untuk metode Bolt Mounting (Left) dengan diameter saluran udaranya sebesar 2400mm didapatkan hasil yang akan dijelaskan pada Tabel 2.

Pada hasil perhitungan untuk kinerja *fan* 018 ini didapatkan kecepatan aliran yang dihasilkan sebanyak 30.36 m/s dengan nilai resistensi sebesar 0.06

Ns/m<sup>8</sup>, ini lebih besar dibandingkan pada perhitungan *collar* karena mempunyai diameter saluran yang lebih kecil sehingga aliran udara akan mengalir dengan tekanan dan kecepatan yang lebih besar. Pada perhitungan inlet volume yang didapatkan sebesar 118.45 m<sup>3</sup>/s dengan efisiensi sebesar 81.81% sehingga dikatakan bahwa *fan* telah bekerja secara baik.

Untuk metode Bolt Mounting (Right) dengan diameter saluran udaranya sebesar 2400mm didapatkan hasil yang dijelaskan pada Tabel 3.

Pada hasil perhitungan untuk kinerja *fan* 019 ini didapatkan kecepatan aliran yang dihasilkan sebanyak 29 m/s dengan nilai resistensi sebesar 0.06 Ns/m<sup>8</sup>, ini hamper sama dengan kinerja

**Tabel 2.** Hasil Diameter Saluran Udaranya Sebesar 2400mm dengan menggunakan Metode Bolt Mounting

<b>Bolt Mounting T018 (Left)</b>	<b>Value</b>	<b>Satuan</b>
<b>Perhitungan Pressure</b>		
Static Pressure	1953.9	Pa
Velocity Pressure	477	Pa
Total Pressure	2430.9	Pa
<b>Perhitungan Psikometri</b>		
Wet Bulb Temperature (twb)	32.3	°C
Dry Bulb Temperature (tdb)	34.8	°C
Barometric Pressure (P)	98.6	Pa
In Drift Barometric Pressure (P')	96.17	Pa
Vapour Pressure (PW)	4.68	kPa
Moisture Content ( r )	0.032	g/kg
Apparent Spesific Volume (v)	0.97	m <sup>3</sup> /kg
Density (ρ)	1.035	kg/m <sup>3</sup>
<b>Perhitungan Kinerja Primary Fan</b>		
Luas Penampang (A)	4.52	m <sup>2</sup>
Kecepatan Aliran	29	m/s
Quantity	131.21	m <sup>3</sup> /s
Mass Flow (kg/s)	134.84	kg/s
Inlet Fan T1 Volume 1.2 kg/m <sup>3</sup>	113.2	m <sup>3</sup> /s
Resistensi	0.06	Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Air Power (kW)	333.88	kW
Fan Efficiency (%)	81.81	%

**Tabel 3.** Diameter Saluran Udara Sebesar 2400mm dengan menggunakan Metode Bolt Mounting(Right)

<b>Bolt Mounting (Right)</b>	<b>Value</b>	<b>Satuan</b>
<b>Perhitungan Pressure</b>		
Static Pressure	1970.2	Pa
Velocity Pressure	435.5	Pa
Total Pressure	2405.7	Pa
<b>Perhitungan Psikometri</b>		
Wet Bulb Temperature (twb)	32.3	°C
Dry Bulb Temperature (tdb)	34.8	°C
Barometric Pressure (P)	98.6	Pa
In Drift Barometric Pressure (P')	96.17	Pa
Vapour Pressure (PW)	4.68	kPa
Moisture Content ( r )	0.032	g/kg
Apparent Spesific Volume (v)	0.97	m <sup>3</sup> /kg
Density (ρ)	1.035	kg/m <sup>3</sup>

<b>Perhitungan Kinerja Primary Fan</b>		
Luas Penampang (A)	4.52	m <sup>2</sup>
Kecepatan Aliran	29	m/s
Quantity	131.21	m <sup>3</sup> /s
Mass Flow (kg/s)	134.84	kg/s
Inlet Fan T1 Volume 1.2 kg/m <sup>3</sup>	113.2	m <sup>3</sup> /s
Resistensi	0.06	Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Air Power (kW)	333.88	kW
Fan Efficiency (%)	81.81	%

*fan* 019 karena mempunyai spesifikasi mesin yang sama. Pada perhitungan inlet volume yang didapatkan sebesar 113.20 m<sup>3</sup>/s dengan efisiensi sebesar 76.45% sehingga dikatakan bahwa *fan* telah bekerja secara baik dan telah mencukupi suplai udara yang diperlukan.

Untuk metode Evase dengan masing-masing ukuran diameter saluran udaranya 3500mm didapatkan hasil hanya debit udara saja karena pengukuran dilakukan di luar main fan atau lebih tepatnya pada ujung saluran udara yang keluar, adapun aliran udaranya dari rata – rata 30 kali pengukuran, yaitu aliran udara pada bagian kiri main fan (*left*) sebesar 210.33 m<sup>3</sup>/s dan pada bagian kanan (*right*) sebesar 224.85 m<sup>3</sup>/s, kemudian didapatkan jumlah debit udara sebesar 435.18 m<sup>3</sup>/s. Sehingga dari pengukuran ini data yang didapatkan tidak representative dengan standar perusahaan yang ditetapkan 315 m<sup>3</sup>/s.

#### D. Kesimpulan

1. Untuk persentase performa *main fan* T1 pada metode *collar* yaitu sebanyak 82.58% yang representatif terhadap kondisi sebenarnya dilapangan dan standar perusahaan, *bolt mounting* T018 sebanyak 81.81% dan pada T019 sebanyak

76.45%. Untuk persentase volume yang didapatkan dibandingkan dengan spesifikasi alat yaitu pada metode *collar* sebanyak 100% yang merupakan data representatif dengan kondisi sebenarnya dan standar dari spesifikasi alat. Pada *bolt mounting* sebesar 80.34% dan pada *evase* sebesar 127.9% ini invalid karena data yang udara yang didapatkan melebihi dari spesifikasi alat dan dipengaruhi juga oleh kondisi udara luar karena pengukuran dilakukan ditempat udara *exhaust* keluar.

2. Pada pengukuran *traverse method* ini dari standar perusahaan ditetapkan sebesar 320 m<sup>3</sup>/s. Pada metode *collar* didapatkan aliran udara sebanyak 340.50 m<sup>3</sup>/s sehingga data *varians* yang didapatkan 6.25% yang dapat dikatakan telah representatif karena nilai yang didapatkan tidak jauh berbeda dengan nilai standar perusahaan. Pada *bolt mounting* didapatkan aliran udara pada T018 sebanyak 137.34 m<sup>3</sup>/s dan pada T019 sebanyak 135.84 m<sup>3</sup>/s sehingga jumlah udara yang mengalir pada *bolt mounting* sebanyak 273.18 m<sup>3</sup>/s dengan nilai *varians* menjadi 14.63%.

Untuk metode *evase* didapatkan nilai volume udara sebesar 435.18 m<sup>3</sup>/s dari masing - masing saluran T018 sebesar 210.33 m<sup>3</sup>/s dan dari saluran T019 sebesar 224.85 m<sup>3</sup>/s dengan nilai *varians* sebesar 35.99 yang dapat dikatakan bahwa dari data dengan metode *evase* ini tidak representatif karena hasil nilai yang didapatkan terlampaui jauh berbeda dengan nilai standar yang telah ditetapkan perusahaan.

3. Kinerja dari *main fan* berdasarkan kurva efisiensi *fan* dengan rpm 950 pada debit 191 m<sup>3</sup>/s dan *pressure* 1.1 kPa dengan standar 187 m<sup>3</sup>/s dan *pressure* 1.2 kPa, pada rpm 990 sebesar 204 m<sup>3</sup>/s dan *pressure* 1.1 kPa dengan standar 195 m<sup>3</sup>/s dan *pressure* 1.3 kPa. Berdasarkan kurva karakteristik *fan* rpm 980 didapatkan sebesar 190 m<sup>3</sup>/s dengan *pressure* 1.4 kPa dan efisiensinya sebesar 76%. Berdasarkan kurva aliran udara tambang pada rpm 980 sebesar 180 m<sup>3</sup>/s dengan *pressure* 1.4 kPa dan efisiensinya sebesar 57.18%.

#### E. Saran

1. Perlu adanya kalibrasi lagi pada alat ukur untuk menentukan daya (kW) pada saat *fan running* secara bersamaan dari alat yang digunakan karena daya yang terbaca di kontrol tidak stabil.
2. Perlu adanya perbaikan pada alat ukur *scada* yang terdapat pada *exhaust* karena data tekanan yang terbaca tidak stabil dan terlampaui jauh dari standar yang diterapkan.
3. Perlu adanya kajian mengenai kebocoran udara dalam sirkuit

jaringan *airways* ventilasi tambang Toguraci.

#### Daftar Pustaka

- Anonim, 2011, *Ventilation of Underground Mines*, Draft Code of Practice, Australia.
- Anonim, 2014, *Mining Services Ventilation Work Book*, Australia. PT Nusa Halmahera Minerals.
- Apandi, T., dan Sudana, D, 2000, **Mandala Geologi Maluku Utara**, Dalam Hamilton 1979, Institut Teknologi Bandung, Dep, Umum Research Nasional, Bandung.
- Bessho, 1944, **Zona Sesar Maluku Utara**, Dalam Hamilton 1979, Institut Teknologi Bandung, Dep, Umum Research Nasional, Bandung.
- Brake, D.J, 2012, *Mine Ventilation A Practitioner's Manual*, Sealed Sources Fixed Industrial Gauges and Unsealed Sources- Radioactive Ores & Concentrates. Australia Brisbane.
- Chekan G.J., Colinet J.F., dan Grau, R.H, 2006, *Impact of Fan Type for Reducing Repairable Dust an Underground Limestone Crushing Facility*, Proceedings of the 11<sup>th</sup> North American/Ninth US Ventilation Symposium, University Park, Pa., June 5-7.
- Hamilton, 1979, **Zona Sesar Maluku Utara**, Institut Teknologi Bandung, Dep. Umum Research Nasional, Bandung.
- Hartman, H.L, 1982, *Mine Ventilation and Air Conditioning*, 3<sup>rd</sup> Edition John Wiley & ons, Inc, Canada.
- Hidayat, Wahyu, 2012, **Penelitian Geologi Pulau Halmahera**, Bina Karya Nusa, Halmahera Utara.
- Katili, J. A, 1974, **Geologi Daerah Halmahera Barat**, Institut

- Teknologi Bandung, Dep. Umum  
Research Nasional, Jakarta.
- Le Roux, W. L, 1979, *Mine Ventilation Notes For Beginners*, The Mine Ventilation Society Of South Africa, Africa.
- Mc.Pherson, Malcolm J, 1992, *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, Chapman and Hall Inc. USA.
- Mundell, R. L, 1979, *Respirable Dust Control on Longwall Mining Operations in the United States*". *Proc. 2<sup>nd</sup> Int'l Mine Vent. Cong.*, Mousesset-Jones, P., ed., A.A. Balkema, Rotterdam.
- Stefano, Munir, 2005, **Ventilasi Tambang**, Buku Ajar Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
- Plessis, du J.J.L, 2014, *Ventilation and Occupational Environment Engineering in Mines*, Mine Ventilation Society of South Africa 3<sup>rd</sup> Edition Revised and Expanded, Africa.
- Robert, A, 1960, *Chap 13: Ventilation Planning – Estimation of Air Quantity*, *Mine Ventilation*, Roberts, A., ed., Cleaver-Hume Press, Ltd., London.
- Sweet, K. A, 1984, *Mining I*, Technical Publication Trust, Perth, W. A.