

Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Temperatur Efektif Pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah

Dhoni Syaputra^{1*} and Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

* Idhok84@gmail.com

**bambang_heriyadi@yahoo.co.id

Abstract. In underground mines the ventilation system is very important in terms of meeting the air respiratory needs of workers, cleaning dirty air, toxic gases, concentrating dust, regulating heat and humidity in the mine. The problem that often occurs in underground mining, especially in Sawahlunto is the high temperature temperature on the workers' mining front, so that the safety and comfort of the workers is no longer in line with the rules set by the Kepmen 555K/MPE/1995. To meet the standards of effective air and temperature requirements at the mining front, the author tries to conduct an experiment with an underground mine ventilation simulation tool located at the FT .UNP mine laboratory, the experiment was carried out by flowing different air flow velocities using suction fan, blow fan 16 ", fan blows 20" variation of 3 speed without addition of water and fan blows 20 "variation 3 speed by setting the addition of minimum, medium and Maximum water to the underground mine ventilation simulation tool. Based on the data obtained at the measurement points using an Anemometer and Digital Sling Psychometer, the conclusion is that with an average increase in air flow rate of 30%, it can reduce the temperature of the effective temperature by 15%. In this study, the lowest temperature is at point B, in experiments using a 20 "high speed blow fan with setting the maximum water addition, ie 15.40 C (down from 19.80 C, or 28.5% using fan type and the same speed, but without the addition of water) with air flow velocity of 5.22 m / sec, (up from 3.20 m / sec, or 63% using the fan type and the same speed, but without additions water)

Keywords: Ventilation System, Temperature, Difference in Air Flow Speed, Water Addition Setting, Effective Temperature.

1. Pendahuluan

Pada tambang bawah tanah sistem ventilasi sangat berperan penting dalam hal pemenuhan kebutuhan udara pernafasan pekerja, membersihkan udara kotor dan gas-gas beracun seperti karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Oksida Nitrat (NO₂) dan Sulfur, serta mengurangi konsentrasi debu dan juga mengatur panas dan kelembaban udara di dalam tambang sehingga tercipta kondisi kerja yang aman dan nyaman. Jika temperatur udara tidak sesuai dengan temperatur efektif yang disarankan oleh KEPMEN 555K/MPE/1995 Pasal 370 yaitu antara 18°-24° celcius dengan kelembapan Relatif 85 % maka front kerja tersebut harus dikondisikan agar sesuai dengan persyaratan tersebut^[1].

Pada tambang bawah tanah dapat diasumsikan terjadi berbagai macam sumber panas yang dapat meningkatkan suhu udara di area tambang bawah tanah.

Diantaranya panas dari batuan, alat yang digunakan, dan panas dari tubuh pekerja. Permasalahan yang sering terjadi adalah kebutuhan udara yang dialirkan pada sistem ventilasi tidak sesuai dengan kebutuhan udara bagi pekerja yang bekerja di *front* penambangan bawah tanah, akibatnya para pekerja sering mengeluh karena kepanasan akibat dari suhu temperatur yang tinggi, Hal ini penulis temui langsung di salah satu perusahaan penambangan bawah tanah di Kota Sawahlunto.

Salah satu cara atau alternatif untuk menyikapi permasalahan diatas adalah dengan membuat sistem ventilasi untuk penyuplaian udara dengan kebutuhan *Fan* (kipas angin) yang cocok dan aman. Dalam penyuplaian udara sangat perlu untuk mempertimbangkan jenis *fan*, kecepatan aliran udara yang dialirkan, kebutuhan udara para pekerja, luas penampang terowongan, jumlah dan kondisi gas, jumlah peralatan mesin yang beroperasi serta kondisi suhu dan kelembaban.

Penelitian ini lebih memfokuskan kepada penyuplaian udara untuk keselamatan dan kenyamanan pekerja dengan memvariasikan kecepatan aliran udara untuk dapat menurunkan temperatur yang panas ataupun tidak kondusif agar menjadi temperatur yang efektif, sesuai dengan persyaratan Kepmen 555K/MPE/1995.

Penelitian ini menggunakan tiga jenis *fan* yang berbeda-beda, diantaranya, *fan hisap*, *fan hembus 16"* dan *fan hembus 20"* variasi 3 kecepatan. Untuk jenis *fan hembus 20"* variasi 3 kecepatan ini dilakukan dengan penambahan air pada percobaan penelitian. Percobaan ini dilakukan pada alat simulasi Ventilasi tambang Bawah Tanah yang dimodifikasi di Laboratorium Tambang FT UNP. Penelitian ini dilakukan untuk melihat keterkaitan antara kecepatan aliran udara (V) dengan suhu temperatur efektif yang dihasilkan. Dari pengukuran tersebut akan dihitung nilai temperatur basah (t_w), temperatur kering (t_d) dan kelembapan udara (R_h).

Oleh sebab itu pada penelitian ini penulis tertarik mengambil judul tugas akhir: "Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Penurunan Temperatur Efektif pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah".

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Ventilasi Tambang

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

Adapun fungsi dari ventilasi tambang adalah :

- Menyediakan oksigen yang cukup untuk pernafasan dan proses-proses dalam tambang.
- Mengencerkan gas-gas beracun yang ada didalam tambang, sehingga tidak membahayakan bagi para pekerja.
- Mengurangi konsentrasi debu yang timbul akibat kegiatan yang dilakukan di dalam tambang.
- Menurunkan temperatur udara tambang, sehingga dapat dicapai lingkungan kerja yang aman dan nyaman^[2].

2.2 Sistem Ventilasi

secara umum sistem ventilasi dibagi menjadi 2 yaitu: sistem ventilasi alami dan ventilasi mekanis^[3].

1. Ventilasi alami

Ventilasi alami adalah suatu aliran udara yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dan tekanan dari udara pada dua titik yang berhubungan.

Udara akan mengalir dari suatu titik dengan temperatur rendah ke titik yang mempunyai temperatur tinggi dan juga mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Suatu aliran udara ventilasi alami mempunyai sifat yang berubah arah dari waktu ke waktu, tergantung pada adanya perbedaan antara temperatur pada dua titik pada suatu saat.

2. Ventilasi mekanis

Ventilasi mekanis adalah jenis ventilasi dimana aliran udara masuk ke dalam tambang disebabkan oleh perbedaan tekanan yang ditimbulkan oleh alat mekanis. Yang dimaksud peralatan mekanis adalah semua jenis mesin penggerak yang digunakan untuk memompa dan menekan udara segar agar mengalir ke dalam lubang tambang bawah tanah. Yang paling penting dan umum digunakan adalah *fan*. Berdasarkan cara menimbulkan udaranya serta letak mesinnya, ventilasi mekanis dibedakan menjadi tiga metode^[4], yaitu:

- Metode hembus (*Forcing sistem*)
Sistem *forcing* akan memberikan hembusan udara bertekanan positif ke *front* kerja. Tekanan positif berarti aliran udara mempunyai tekanan lebih besar dibandingkan udara di atmosfer. Pipa/saluran ventilasi ini menghubungkan *fan* dengan *front* kerja.
- Metode hisap (*exhaust sistem*)
Sistem *exhausting* akan memberikan hembusan udara yang berkebalikan dengan sistem *forcing*, yaitu bertekanan negatif. Tekanan negatif yang dimaksud disini adalah tekanan yang dihasilkan oleh proses penghisapan udara (tekanan rendah) untuk menyedot udara kotor keluar lubang tambang. Pada sistem *exhausting*, *fan* diletakkan dekat dengan *front* kerja, sehingga dapat memudahkan kerjanya dalam menghisap udara kotor maupun debu dari *front* kerja tersebut.
- Metode hisap hembus (*overlap sistem*)
Sistem ini merupakan gabungan dari sistem *exhausting* dan *forcing*. Berbeda dengan kedua sistem diatas, sistem ini menggunakan 2 *fan* yang memiliki tuas berbeda satu sama lain. Ada yang bertugas menyuplai udara ke *front* (*intake fan*), ada *fan* yang bertugas untuk menghisap udara dari *front* (*exhausting fan*). Tetapi *exhaust fan* dipasang lebih mundur (lebih jauh) dari *front* penambangan. Sedangkan *duct* akhir dari *intake* dipasang lebih dekat dengan *front* penambangan.

2.2.1 Jenis-jenis Fan

Terdapat dua jenis *fan*, *fan* sentrifugal menggunakan impeler berputar untuk menggerakkan aliran udara. *Fan* aksial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu *fan*^[5].

1. *Fan Sentrifugal*

Fan sentrifugal meningkatkan kecepatan aliran udara dengan impeler berputar. Kecepatan meningkat sampai mencapai ujung *blades* dan kemudian diubah menjadi tekanan.

2. *Fan Aksial*

Fan aksial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu *fan*. Cara kerja *fan* seperti *impeler* pesawat terbang, Pada dasarnya, *fan* aksial ini banyak dipakai untuk ventilasi tambang bawah tanah

2.3 Pengendalian Kualitas Udara Tambang

1. Perhitungan keperluan udara segar

Jenis kegiatan manusia dibedakan atas 3, yakni : Dalam keadaan istirahat, Dalam kegiatan kerja moderat, misalnya kerja kantor, dan Dalam kegiatan kerja keras, misalnya olahraga atau kerja tambang^[6]. Laju pernafasan per menit didefinisikan sebagai banyaknya udara dihirup dan dihembuskan per satuan waktu satu menit.

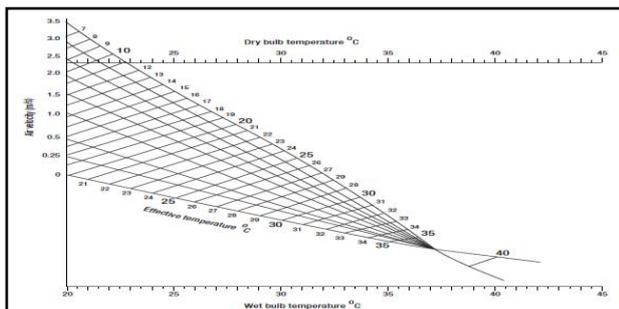
2. Kelembaban relatif udara

Kelembaban relatif udara merupakan bilangan yang dinyatakan dalam persen (%) yang menunjukkan perbandingan antara jumlah uap yang dikandung udara pada temperatur tertentu terhadap jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung pada temperatur yang sama.

3. Temperatur efektif

Temperatur efektif merupakan efek kombinasi dari temperatur yang terbaca oleh termometer, kelembaban, dan kecepatan angin. Perbedaan antara temperatur cembung kering dan cembung basah menyatakan faktor kenyamanan di dalam udara lembab.

Dalam menduga temperatur efektif dari suatu kondisi $t_d - t_w$ serta kecepatan aliran udara tertentu dapat menggunakan grafik temperatur efektif^[7] yang dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Grafik Temperatur Efektif

4. Standar kualitas udara tambang bawah tanah

Komposisi udara segar normal yang dialirkan pada ventilasi tambang terdiri dari Nitrogen, Oksigen, Karbondioksida, Argon dan Gas-gas lain^[8] seperti terlihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Komposisi Udara Segar

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

2.4 Pengukuran Udara Tambang

Pada dasarnya peralatan ventilasi tambang meliputi *fan*, kompresor, *duct*, *pitot tube*, *sling psychrometer*, regulator dan yang lainnya yang mendukung pada sistem ventilasi^[9].

1. Kecepatan angin

Untuk mengukur kecepatan angin di dalam *pit* bawah tanah biasanya menggunakan *Anemometer*. Ini adalah kincir angin yang sangat ringan dan gesekannya kecil, dimana baling-balingnya terbuat dari pelat aluminium dan membentuk sudut 42-44° terhadap arah poros. Untuk mengukur kecepatan angin, alat ini diletakkan di dalam aliran udara untuk memutar baling-baling, dimana kecepatan angin atau jarak tempuh aliran udara per satuan waktu dapat diperoleh dari jumlah putaran dalam waktu tertentu. Daerah kemampuan ukurnya adalah 0,5 m/detik -10 m/detik.

2. Jumlah angin

Jumlah angin adalah perkalian kecepatan angin rata-rata dan luas penampang. Pada umumnya, kecepatan angin terbesar terjadi di sekitar pusat penampang terowongan. Oleh karena itu, apabila mengukur kecepatan angin dengan anemometer, maka anemometer digerakkan sepanjang penampang dengan kecepatan konstan untuk mengukur kecepatan angin rata-rata. Dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = V \cdot A \tag{1}$$

Keterangan :

Q = Jumlah udara dalam (m³/detik)

V = Kecepatan udara (m/detik)

A = Luas penampang (m²)

3. Penurunan tekanan

Melakukan pengukuran penurunan tekanan yang terjadi karena mengalirnya udara di dalam lorong angin adalah hal yang sangat penting.

2.5 Penghitungan Kuantitas udara Tambang

1. Penentuan kuantitas udara tambang

Kuantitas udara tambang dapat ditentukan berdasarkan hal-hal berikut:

- Berdasarkan kandungan oksigen yang diizinkan di udara tambang.
 - Berdasarkan kandungan karbondioksida maksimum yang diizinkan.
 - Berdasarkan fungsinya untuk mengencerkan gas yang berbahaya di dalam tambang.
 - Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk tambang yang mengandung gas, kuantitas udara minimum yang diperlukan untuk pernafasan manusia sebesar $0,1 \text{ m}^3/\text{dtk}$.
 - Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk setiap tenaga kuda apabila mesin dihidupkan, kuantitas udara yang diperlukan yaitu sebesar $3 \text{ m}^3/\text{menit}^{[10]}$.
2. Evaluasi kuantitas udara pada sistem ventilasi perhitungan kuantitas udara pada jalur udara

- Pengukuran kecepatan aliran udara
Dalam mengukur kecepatan angin di jalur udara atau terowongan dan pipa udara digunakan alat *Anemometer Digital*.
Pengukuran menggunakan *Anemometer digital* dapat dilakukan dengan cara alat diletakkan pada titik titik perwakilan pada suatu penampang (menghadap aliran udara), kemudian tunggu beberapa saat sampai angka yang terbaca pada alat konstan, setelah konstan, catat, dan itulah kecepatan udara pada titik tersebut.
- Pengukuran luas jalur udara
Luas jalur udara ditentukan dari pengurangan luas terowongan dengan luas penghalang yang ada seperti belt conveyor dan pipa udara
- Perhitungan kuantitas udara
Kuantitas dihitung berdasarkan hasil kali antara kecepatan aliran udara dengan luas penampang yang dilewatinya.

3. Metode Penelitian

Berdasarkan jenis data yang akan diperoleh, maka penelitian ini tergolong ke dalam penelitian kuantitatif, yaitu Metode penelitian dengan memperoleh data yang berbentuk angka atau data yang diangkakan^[11].

Metode kuantitatif banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya, yang disertai dengan gambar, tabel, grafik atau tampilan lainnya.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat keterkaitan antara variasi Kecepatan Aliran udara dengan penurunan suhu Temperatur efektif, dengan beberapa kali percobaan, dengan data yang berbeda-beda.

3.1 Lokasi penelitian

Penelitian mengenai Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Penurunan Temperatur Efektif ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang dan dilakukan pada alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah yang telah dimodifikasi.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Metode teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi yaitu metode pengumpul data yang dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat secara sistematis gejala-gejala yang diselidiki.^[12] observasi dilakukan menurut prosedur dan aturan tertentu sehingga dapat diulangi kembali oleh peneliti dan hasil observasi memberikan kemungkinan untuk ditafsirkan secara ilmiah.

Metode observasi pada penelitian ini dilakukan secara langsung oleh penulis di Laboratorium Tambang Bawah Tanah Universitas Negeri Padang. Hasil dari pengumpulan data tersebut akan menjadi dua jenis data, yakni :

3.2.1 Data Primer

1. Variasi kecepatan aliran udara
Udara yang dialirkan terbagi atas satu *fan* hisap, *fan* hembus 16" dan *fan* hembus 20" dengan kecepatan *low*, *medium* dan *high*.
2. Data luas penampang titik- titik point pengukuran pada saluran ventilasi.
3. Data temperatur kering (Td), temperatur basah (Tw)
Data suhu dan kelembaban relatif (Rh)

3.2.2 Data Sekunder

1. Studi literatur

Yaitu mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan membaca buku-buku literatur yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas, sehingga dapat digunakan sebagai landasan dalam pemecahan masalah.

2. Data alat simulasi ventilasi

- *Digital Anemometer*
Alat ini digunakan untuk mengukur suhu dan kecepatan aliran udara untuk *fan* hisap, *fan* hembus 16" dan *fan* hembus 20" dengan variasi 3 kecepatan.
- *Digital Sling Psychometer*
Alat ini berfungsi sebagai alat ukur temperatur udara, Temperatur Kering (Td), Temperatur Basah (Tw), dan kelembaban Relatif (Rh).
- Tabung Ukur
Digunakan untuk mengukur jumlah kehilangan air pada percobaan yang menggunakan penambahan air.

• *Fan* (kipas angin)

Berfungsi sebagai penyuplai udara kedalam alat simulasi jaringan ventilasi tambang bawah tanah. *Fan* ini terbagi atas *fan* hembus 16” (*fan axial*), *fan* hisap (*fan sentrifugal*), dan *fan* hembus 20” (*fan axial*) dengan variasi 3 kecepatan.

Untuk *fan* hembus 20” (*fan axial*) dengan variasi 3 kecepatan, peneliti memodifikasi alat tersebut agar aliran udara bisa sepenuhnya masuk ke alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah. Untuk menambah perbedaan penurunan temperatur efektif yang signifikan, *fan* tersebut ditambah dengan air dengan pengaturan penambahan air yang berbeda-beda, yakni dengan pengaturan penambahan air *Minimum, Medium* dan *Maximum*.

• Alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah.

Alat simulasi ventilasi ini terbuat dari lempengan baja dengan ukuran dimensi bukaan 40 cm x 40 cm (persegi), 30 cm x 30 cm (persegi), diameter 35 cm (lingkaran).^[13] Perbedaan dimensi bukaan saluran bertujuan untuk mengetahui bentuk tahanan ventilasi. Berikut ini adalah Gambaran tampilan nyata dari alat simulasi tersebut :



Gambar 2. Alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah

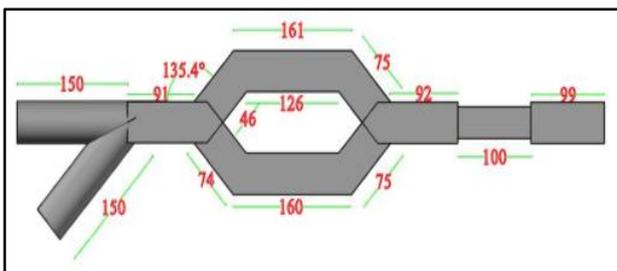
4. Pembahasan dan Hasil

4.1 Pengumpulan Data

Jenis data ini merupakan data yang diperoleh berdasarkan penelitian langsung dilaboratorium Ventilasi tambang bawah tanah Universitas Negeri Padang. Berikut merupakan data yang penulis peroleh :

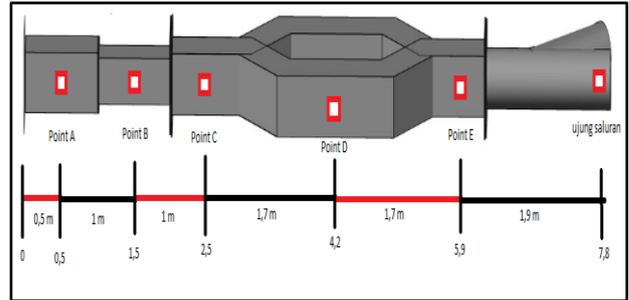
4.1.1 Ukuran saluran Alat Ventilasi

Data ukuran dan panjang alat simulasi dari tampak atas, dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3: Gambar dan panjang alat (cm)

Jarak antara masing-masing titik point pengukuran penelitian dengan menggunakan alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah ini akan dijelaskan pada gambar 4:



Gambar 4. Titik pengukuran pada alat simulasi

Dari gambar diatas, didapatkan luas penampang saluran (A) dengan hasil pengukuran masing-masing titik pengukuran sebagai berikut :

1. Point A, C, D dan E

$$A = p \times l$$

$$= 0,40 \text{ m} \times 0,40 \text{ m}$$

$$= 0,16 \text{ M}^2$$

2. Point B

$$A = 0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$$

$$= 0,09 \text{ M}^2$$

3. Point Ujung saluran

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,35 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$$

$$= 0,096 \text{ M}^2$$

4.2.2 Data hasil pengukuran Kuantitas Udara

1. Kuantitas udara yang dialirkan *fan* hisap.

Data ini hanya meliputi Kecepatan aliran udara (V), luas saluran (A) dan Debit udara (Q) yang dialirkan, pengukuran dilakukan pada tanggal 15 Agustus 2018, yang diuraikan pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil pengukuran kuantitas udara *fan* hisap

Titik Pengukuran	Kecepatan Udara (V) (m/detik) v 1	Kecepatan Udara (V) (m/detik) v 2	Kecepatan Udara (V) (m/detik) v 3	Kecepatan Udara (V) Rata-rata (m/detik)	Luas Saluran (A) (m2)	Debit Udara Q = Vrata2 x A (M3/detik)
Point A	1,86	1,90	1,72	1,83	0,16	0,292
Point B	2,26	2,10	1,98	2,11	0,09	0,190
Point C	1,61	1,72	1,83	1,72	0,16	0,275
Point D	0,73	0,80	0,71	0,75	0,16	0,119
Point E	0,73	0,82	0,76	0,77	0,16	0,123
Ujung Duct	0,91	1,03	0,98	0,97	0,096	0,093

2. Kuantitas udara yang dialirkan *fan* hembus 16”.

Data ini hanya meliputi Kecepatan udara (V), luas saluran (A) dan Debit udara (Q) yang dialirkan, pengukuran dilakukan pada tanggal 16 Agustus 2018, yang diuraikan pada tabel 2:

Tabel 2. Hasil pengukuran kuantitas udara dengan menggunakan *fan* hembus 16''

Titik Pengukuran	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Luas Saluran (A) (m ²)	Debit Udara Q=Vrata2x A (M ³ /detik)
	V 1 (m/detik)	V 2 (m/detik)	V 3 (m/detik)	Rata-rata (m/detik)		
Point A	2,35	2,45	2,10	2,30	0,16	0,368
Point B	2,10	2,50	2,60	2,40	0,09	0,216
Point C	2,45	2,25	2,15	2,28	0,16	0,365
Point D	1,15	1,20	1,10	1,15	0,16	0,184
Point E	2,65	2,74	2,72	2,70	0,16	0,433
Ujung Duct	3,14	3,46	3,50	3,37	0,096	0,323

3. Kuantitas udara yang dialirkan *fan* hembus 20 dengan variasi 3 kecepatan''.

Data ini hanya meliputi Kecepatan aliran udara (V), luas saluran (A) dan Debit udara (Q) yang dialirkan, pengukuran dilakukan pada tanggal 12 September 2018, yang diuraikan pada tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Kuantitas udara *fan* hembus 20''dengan variasi 3 kecepatan

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Luas Saluran (A) (m ²)	Debit Udara Q=Vrata2x A (M ³ /detik)
		V 1 (m/detik)	V 2 (m/detik)	V 3 (m/detik)	Rata-rata (m/detik)		
Low	Point A	1,30	1,25	1,50	1,35	0,16	0,216
	Point B	2,45	2,69	2,91	2,68	0,09	0,242
	Point C	1,43	1,65	1,39	1,49	0,16	0,238
	Point D	1,85	1,54	1,38	1,59	0,16	0,254
	Point E	2,78	2,75	3,10	2,88	0,16	0,460
	Ujung Duct	3,12	3,00	3,50	3,21	0,096	0,308
Medium	Point A	1,48	1,70	1,61	1,60	0,16	0,255
	Point B	2,89	2,81	2,76	2,82	0,09	0,254
	Point C	1,46	1,55	1,70	1,57	0,16	0,251
	Point D	1,91	1,85	1,54	1,77	0,16	0,283
	Point E	2,81	2,79	3,02	2,90	0,16	0,464
	Ujung Duct	4,29	4,30	4,40	4,33	0,096	0,416
High	Point A	1,79	1,70	1,84	1,78	0,16	0,284
	Point B	3,05	3,18	3,36	3,20	0,09	0,288
	Point C	2,04	1,82	2,30	1,95	0,16	0,312
	Point D	1,93	1,84	1,85	1,87	0,16	0,300
	Point E	2,88	2,86	3,01	2,92	0,16	0,467
	Ujung Duct	4,80	4,48	4,65	4,64	0,096	0,446

4. Kuantitas udara yang dialirkan *fan* hembus 20 dengan variasi 3 kecepatan'', dengan pengaturan penambahan air *Minimum*.

Pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 20 dengan variasi 3 kecepatan'', dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium* dan *Maximum*, dilakukan pada tanggal 13 September 2018. Pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 20 dengan variasi 3 kecepatan'', dengan pengaturan penambahan air *Minimum* akan diuraikan pada tabel 4:

Tabel 4. Kuantitas udara *fan* hembus 20''dengan variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Minimum*.

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Luas Saluran (A) (m ²)	Debit Udara Q=Vrata2x A (M ³ /detik)
		V 1 (m/detik)	V 2 (m/detik)	V 3 (m/detik)	Rata-rata (m/detik)		
Low	Point A	1,80	1,53	1,60	1,64	0,16	0,263
	Point B	4,24	4,45	4,50	4,40	0,09	0,396
	Point C	2,35	2,26	2,32	2,31	0,16	0,370
	Point D	1,50	1,70	1,72	1,64	0,16	0,262
	Point E	2,40	2,35	2,25	2,33	0,16	0,373
	Ujung Duct	4,22	4,00	4,65	4,29	0,096	0,412
Medium	Point A	2,05	1,56	1,76	1,79	0,16	0,286
	Point B	4,50	4,28	4,55	4,44	0,09	0,400
	Point C	2,37	2,32	2,45	2,38	0,16	0,381
	Point D	1,75	1,60	1,80	1,68	0,16	0,269
	Point E	2,35	2,55	2,46	2,45	0,16	0,393
	Ujung Duct	4,70	4,29	4,05	4,35	0,096	0,417
High	Point A	1,79	2,10	1,89	1,93	0,16	0,308
	Point B	4,50	4,64	4,48	4,54	0,09	0,409
	Point C	2,57	2,42	2,34	2,44	0,16	0,391
	Point D	1,86	1,76	1,80	1,74	0,16	0,278
	Point E	2,61	2,50	2,45	2,52	0,16	0,403
	Ujung Duct	4,80	4,55	4,20	4,52	0,096	0,434

5. Kuantitas udara yang dialirkan *fan* hembus 20 dengan variasi 3 kecepatan'', dengan pengaturan penambahan air *Medium*.

Tabel 5. Kuantitas udara *fan* hembus 20''dengan variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Medium*.

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Kecepatan Udara (V)	Luas Saluran (A) (m ²)	Debit Udara Q=Vrata2x A (M ³ /detik)
		V 1 (m/detik)	V 2 (m/detik)	V 3 (m/detik)	Rata-rata (m/detik)		
Low	Point A	2,40	2,50	2,30	2,40	0,16	0,384
	Point B	4,75	4,88	4,60	4,74	0,09	0,427
	Point C	3,17	3,00	3,02	3,06	0,16	0,490
	Point D	2,16	2,08	2,14	2,10	0,16	0,336
	Point E	3,26	2,96	3,01	3,08	0,16	0,492
	Ujung Duct	4,61	4,10	4,54	4,42	0,096	0,424
Medium	Point A	2,35	2,55	2,40	2,43	0,16	0,389
	Point B	4,90	4,80	4,65	4,78	0,09	0,431
	Point C	3,05	3,10	3,15	3,10	0,16	0,496
	Point D	2,20	2,09	2,18	2,16	0,16	0,345
	Point E	3,09	3,12	3,14	3,12	0,16	0,499
	Ujung Duct	4,73	4,29	4,77	4,60	0,096	0,441
High	Point A	2,40	2,45	2,60	2,48	0,16	0,397
	Point B	4,70	4,85	4,95	4,83	0,09	0,435
	Point C	3,12	3,06	3,17	3,12	0,16	0,499
	Point D	2,18	2,50	2,14	2,18	0,16	0,349
	Point E	3,15	3,23	3,10	3,16	0,16	0,506
	Ujung Duct	4,90	4,80	5,05	4,92	0,096	0,472

6. Kuantitas udara yang dialirkan *fan* hembus 20 dengan variasi 3 kecepatan'', dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

Pengukuran dilakukan pada tanggal 13 September 2018, yang diuraikan pada tabel 6 berikut ini :

Tabel 6. Kuantitas udara *fan* hembus 20” dengan variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Kecepatan Udara (V) (m/detik) V 1	Kecepatan Udara (V) (m/detik) V 2	Kecepatan Udara (V) (m/detik) V 3	Kecepatan Udara (V) Rata-rata (m/detik)	Luas Saluran (A) (m ²)	Debit Udara Q=Vrata2x A (M ³ /detik)
Low	Point A	2,64	2,54	2,15	2,44	0,16	0,391
	Point B	5,14	5,18	5,08	5,13	0,09	0,462
	Point C	3,64	3,30	3,70	3,55	0,16	0,567
	Point D	2,17	2,30	2,43	2,30	0,16	0,368
	Point E	3,35	3,20	3,17	3,24	0,16	0,518
	Ujung Duct	4,55	4,41	5,06	4,67	0,096	0,449
Medium	Point A	2,70	2,67	2,09	2,49	0,16	0,398
	Point B	5,15	5,12	5,26	5,18	0,09	0,466
	Point C	3,74	3,76	3,35	3,62	0,16	0,579
	Point D	2,36	2,44	2,30	2,37	0,16	0,379
	Point E	3,23	3,40	3,20	3,28	0,16	0,524
	Ujung Duct	4,44	4,65	5,25	4,78	0,096	0,459
High	Point A	2,83	2,11	2,73	2,56	0,16	0,409
	Point B	5,22	5,14	5,30	5,22	0,09	0,470
	Point C	3,80	3,46	3,76	3,73	0,16	0,597
	Point D	2,36	2,44	2,50	2,43	0,16	0,389
	Point E	3,21	3,45	3,31	3,32	0,16	0,532
	Ujung Duct	5,31	4,79	4,77	4,96	0,096	0,476

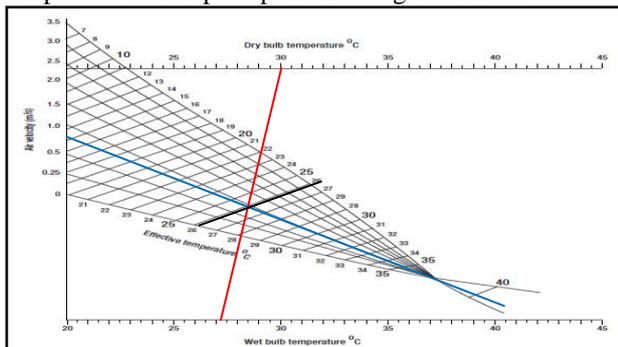
4.2 Data dan Pengolahan Data

Data yang diambil pada Pengukuran kualitas udara ini meliputi Kecepatan aliran udara (V), Temperatur Basah (Tw), Temperatur Kering (Td), dan Kelembaban relatif (Rh).

Berdasarkan dari data tersebut, diolah kembali untuk mendapatkan masing-masing temperatur efektifnya, dibagian pengolahan data ini akan diambil pada titik Point E pada alat simulasi sebagai bahan perbandingan untuk titik point lainnya, berikut ini akan dijelaskan besaran dari temperatur efektifnya yang akan digambarkan melalui grafik dan tabel untuk masing-masing tipe *Fan*.

1. Dengan mempergunakan *fan* hisap.

Berdasarkan hasil dari pengukuran alat *Anemometer*, yang dilakukan pada tanggal 15 Agustus 2019, dengan mempergunakan *fan* hisap, didapatkanlah grafik temperatur efektif pada point E sebagai berikut :



Gambar 5 : Grafik Temperatur Efektif *fan* Isap

Nilai temperatur efektif didapatkan antara titik Perpotongan temperatur kering (Td), Temperatur basah (Tw) dan kecepatan aliran udara (V).

Dari grafik temperatur efektif yang diperoleh pada gambar 5, dimana kecepatan pada Point E saluran sebesar $V = 0,77 \text{ m /detik}$, didapatkanlah temperatur efektif pada point E adalah sebesar $26,2^{\circ}\text{C}$.

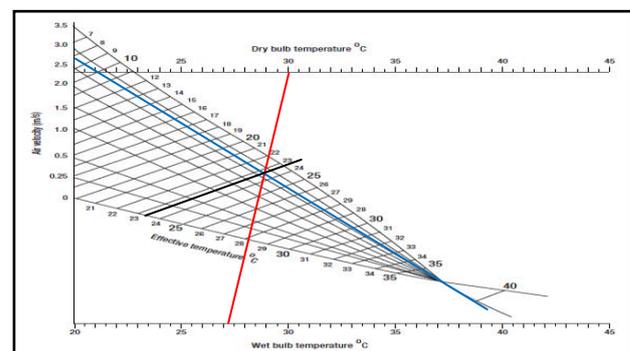
Berikut adalah tabel hasil rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hisap:

Tabel 7. Rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hisap

Titik Pengukuran	Temperatur			Kecepatan Udara (V) rata-rata (m/detik)	Temperatur Efektif (Te)(C)
	Temperatur Kering (TD)(C)	Temperatur Basah (TW)(C)	Kelembaban Relatif (Rh)(%)		
Point A	30,0	27,2	75,0	1,83	24,3
Point B	30,1	27,3	76,0	2,11	24,2
Point C	29,8	27,0	75,0	1,72	24,5
Point D	30,0	27,2	75,0	0,75	26,5
Point E	30,0	27,2	76,0	0,77	26,2
Ujung Duct	30,0	27,2	76,0	0,97	25,8

2. Dengan mempergunakan *fan* hembus 16”.

Berdasarkan hasil dari pengukuran alat *Anemometer*, yang dilakukan pada tanggal 16 Agustus 2018 dengan mempergunakan *fan* hembus 16” didapatkanlah grafik temperatur efektif pada point E sebagai berikut :



Gambar 6 : Grafik Temperatur Efektif *fan* hembus 16”

Dari grafik temperatur efektif di atas, Dimana kecepatan pada Point E saluran adalah sebesar $V = 2,70 \text{ m /detik}$, setelah diplot kedalam grafik temperatur efektif, maka didapatkanlah temperatur efektif pada point E adalah sebesar $23,3^{\circ}\text{C}$.

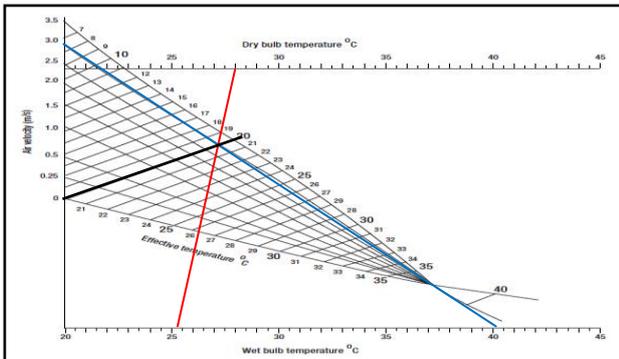
Berikut adalah tabel hasil rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 16” yang akan diuraikan melalui tabel 8:

Tabel 8. Rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 16''

Titik Pengukuran	Temperatur			Kecepatan Udara (V) rata-rata (m/detik)	Temperatur Efektif (Te)(C)
	Temperatur Kering (TD)(C)	Temperatur Basah (TW)(C)	Kelembaban Relatif (Rh)(%)		
Point A	30,1	27,2	76	2,30	24,2
Point B	30,0	27,2	77	2,40	23,8
Point C	30,2	27,4	76	2,28	24,2
Point D	30,1	27,3	77	1,15	25,8
Point E	30,2	27,3	77	2,70	23,3
Ujung Duct	30,2	27,3	77	3,37	22,5

3. Dengan mempergunakan *fan* hembus 20'' dengan variasi 3 kecepatan.

Berdasarkan hasil dari pengukuran alat *Anemometer* yang dilakukan pada tanggal 12 September 2018, Dengan mempergunakan *fan* hembus 20'' dengan variasi 3 kecepatan didapatkanlah data untuk masing-masing kecepatan. Berikut ini adalah grafik temperatur efektif pada point E dengan kecepatan *High*.



Gambar 7. Grafik Temperatur Efektif *fan* hembus 20'' dengan kecepatan *High*, pada point E

Dari grafik temperatur efektif diatas, Dimana kecepatan aliran udara pada Point E saluran sebesar $V = 2,92$ m/detik, didapatkanlah temperatur efektif pada point E adalah sebesar $19,9^{\circ}C$.

Cara yang digunakan untuk mencari nilai temperatur efektif untuk semua titik point pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 20'' variasi 3 kecepatan baik tanpa penambahan air maupun dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium* dan *Maximum* adalah sama, dan variasi kecepatan yang akan dijadikan perbandingan dalam tipe *fan* hembus 20'' tanpa penambahan air dan dengan penambahan air adalah sama, yakni pada Kecepatan *High*.

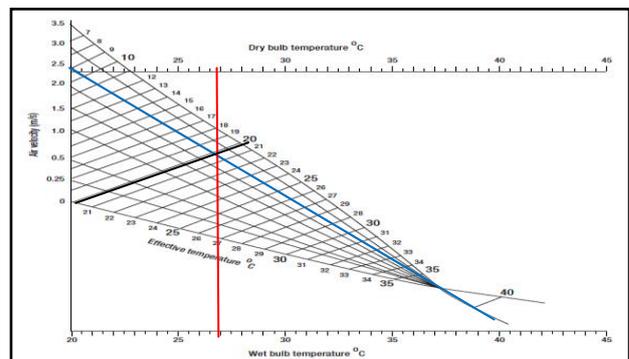
Berikut adalah tabel hasil rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 20'' variasi 3 kecepatan yang akan diuraikan melalui tabel 9 :

Tabel 9. Rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 20'' dengan variasi 3 kecepatan

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Temperatur			Kecepatan Udara (V) Rata-rata (m/detik)	Temperatur Efektif Te (C)
		Temperatur Kering (Td)(C)	Temperatur Basah (Tw)(C)	Kelembaban Relatif (Rh)(%)		
Kecepatan Low	Point A	28,7	25,7	79,0	1,35	23,8
	Point B	28,6	25,6	80,0	2,68	21,8
	Point C	28,6	25,6	79,0	1,49	23,2
	Point D	28,7	25,5	79,0	1,59	23,0
	Point E	28,6	25,7	79,0	2,88	21,0
	Ujung Duct	28,6	25,6	79,0	3,21	21,0
Kecepatan Medium	Point A	28,2	25,5	80,0	1,60	22,8
	Point B	28,3	25,3	80,0	2,82	20,7
	Point C	28,2	25,5	81,0	1,57	22,7
	Point D	28,4	25,5	80,0	1,77	22,5
	Point E	28,1	25,3	81,0	2,90	20,0
	Ujung Duct	28,1	25,4	81,0	4,33	17,5
Kecepatan High	Point A	28,2	25,2	81,0	1,78	22,1
	Point B	28,1	25,1	82,0	3,20	19,8
	Point C	28,2	25,2	82,0	1,95	21,8
	Point D	28,2	25,3	81,0	1,87	22,0
	Point E	28,0	25,2	82,0	2,92	19,9
	Ujung Duct	28,1	25,3	82,0	4,64	17,0

4. Dengan mempergunakan *fan* hembus 20'', variasi 3 kecepatan, dengan pengaturan penambahan air *Minimum*.

Berdasarkan hasil dari pengukuran alat *Anemometer* yang dilakukan pada tanggal 13 September 2018, Dengan mempergunakan *fan* hembus 20'' dengan variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air didapatkanlah data untuk masing-masing kecepatan. Berikut ini adalah grafik temperatur efektif pada point E dengan mempergunakan *fan* hembus 20'' kecepatan *High*, dengan pengaturan penambahan air *Minimum*.



Gambar 8. Grafik Temperatur Efektif *fan* hembus 20'' kecepatan *High*, dengan pengaturan penambahan air *Minimum* pada point E

Dari grafik temperatur efektif diatas, kecepatan aliran udara pada Point E saluran sebesar $V = 2,52$ m/detik,

didapatkanlah temperatur efektif pada point E adalah sebesar 20,1⁰ C

Berikut adalah tabel Hasil dari rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan fan hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Minimum*.

Tabel 10. Rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan fan hembus 20” dengan variasi 3 kecepatan, dengan pengaturan penambahan air *Minimum*.

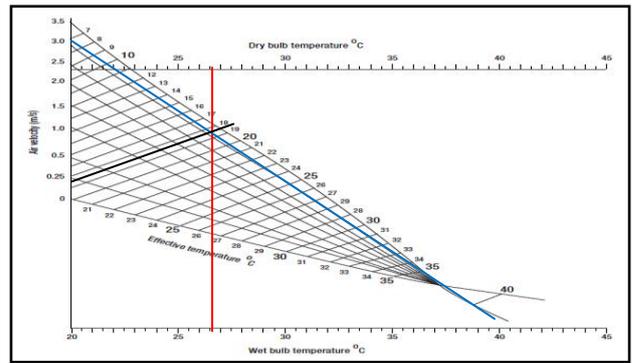
Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Temperatur			Kecepatan Udara (V) Rata-rata (m/detik)	Temperatur Efektif Te (C)
		Temperatur Kering (Td)(C)	Temperatur Basah (Tw)(C)	Kelembaban Relatif (Rh)(%)		
Kecepatan Low	Point A	27,0	27,0	99,0	1,64	22,8
	Point B	27,1	27,1	99,0	4,40	16,6
	Point C	27,1	27,1	99,0	2,31	21,5
	Point D	27,1	27,0	99,0	1,64	22,8
	Point E	27,1	27,0	99,0	2,33	21,2
	Ujung Duct	27,0	27,0	99,0	4,29	17,0
Kecepatan Medium	Point A	27,0	27,0	99,0	1,79	22,1
	Point B	26,9	26,8	99,0	4,44	16,5
	Point C	26,9	26,9	99,0	2,38	20,9
	Point D	27,0	27,0	99,0	1,68	22,2
	Point E	26,9	26,9	99,0	2,45	20,8
	Ujung Duct	26,8	26,8	99,0	4,35	16,8
Kecepatan High	Point A	26,9	26,9	99,0	1,93	21,8
	Point B	26,9	26,8	99,0	4,54	16,2
	Point C	26,8	26,8	99,0	2,44	20,3
	Point D	26,8	26,8	99,0	1,74	21,7
	Point E	26,8	26,8	99,0	2,52	20,1
	Ujung Duct	26,7	26,7	99,0	4,52	16,4

Berdasarkan data dari tabel 10 didapatkanlah jumlah pemakaian air selama ± 15 menit percobaan sebanyak ± 2400 ml air pada variasi kecepatan aliran udara tipe *Low*. Pada variasi kecepatan aliran udara tipe *medium*, didapatkan jumlah pemakaian air selama ± 15 menit waktu percobaan sebanyak 1700 ml, sedangkan pada variasi kecepatan aliran udara tipe *high* didapatkanlah jumlah pemakaian air sebanyak 850 ml dengan waktu percobaan yang sama.

5 Dengan mempergunakan fan hembus 20”, variasi 3 kecepatan, dengan pengaturan penambahan air *Medium*.

Berdasarkan hasil dari pengukuran alat anemometer yang dilakukan pada tanggal 13 September 2018, Dengan mempergunakan fan hembus 20” dengan variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Medium*, didapatkan data untuk masing-masing kecepatan.

Berikut ini adalah grafik temperatur efektif pada point E dengan menggunakan fan hembus 20” kecepatan *High*, dengan pengaturan penambahan air *Medium* yang akan dijelaskan pada gambar 9 :



Gambar 9. Grafik Temperatur Efektif fan hembus 20” kecepatan *High*, dengan pengaturan penambahan air *Medium*, pada point E.

Dari grafik temperatur efektif diatas, Dimana kecepatan udara pada Point E saluran sebesar V = 3,16 m /detik, didapatkanlah temperatur efektif pada point E adalah sebesar 18,7⁰ C

Berikut ini adalah tabel hasil rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik point pengukuran :

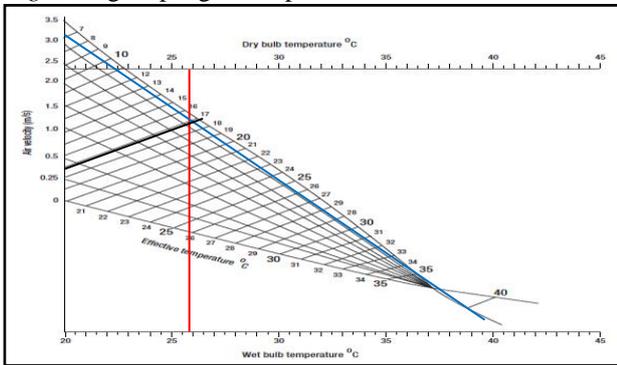
Tabel 11. Rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan fan hembus 20” dengan variasi 3 kecepatan, dengan pengaturan penambahan air *Medium*.

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Temperatur			Kecepatan Udara (V) Rata-rata (m/detik)	Temperatur Efektif Te (C)
		Temperatur Kering (Td)(C)	Temperatur Basah (Tw)(C)	Kelembaban Relatif (Rh)(%)		
Kecepatan Low	Point A	26,6	26,6	99,0	2,40	20,9
	Point B	26,5	26,5	99,0	4,74	16,0
	Point C	26,6	26,6	99,0	3,06	19,0
	Point D	26,6	26,6	99,0	2,10	21,4
	Point E	26,6	26,6	99,0	3,08	19,0
	Ujung Duct	26,5	26,5	99,0	4,42	16,5
Kecepatan Medium	Point A	26,5	26,5	99,0	2,43	20,2
	Point B	26,5	26,5	99,0	4,78	15,9
	Point C	26,6	26,6	99,0	3,10	18,9
	Point D	26,6	26,6	99,0	2,16	21,0
	Point E	26,5	26,5	99,0	3,12	18,8
	Ujung Duct	26,5	26,5	99,0	4,60	16,0
Kecepatan High	Point A	26,5	26,5	99,0	2,48	19,9
	Point B	26,5	26,5	99,0	4,83	15,8
	Point C	26,5	26,5	99,0	3,12	18,8
	Point D	26,6	26,6	99,0	2,18	20,9
	Point E	26,6	26,6	99,0	3,16	18,7
	Ujung Duct	26,5	26,5	99,0	4,92	15,5

Dari tabel diatas, didapatkanlah jumlah pemakaian air selama ± 15 menit percobaan sebanyak ± 1960 ml air pada variasi kecepatan aliran udara tipe *Low*. Pada variasi kecepatan aliran udara tipe *medium*, didapatkan jumlah pemakaian air selama ± 15 menit waktu percobaan sebanyak 1340 ml, sedangkan pada variasi kecepatan aliran udara tipe *high* didapatkanlah jumlah pemakaian air sebanyak 660 ml dengan waktu percobaan yang sama.

6 Dengan mempergunakan *fan* hembus 20”, variasi 3 kecepatan, dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

Berdasarkan hasil dari pengukuran alat anemometer yang dilakukan pada tanggal 13 September 2018, didapatkan data untuk masing-masing kecepatan. Berikut ini adalah grafik temperatur efektif pada point E dengan mempergunakan *fan* hembus 20” kecepatan *High*, dengan pengaturan penambahan air *Maximum*:



Gambar 10. Grafik Temperatur Efektif *fan* hembus 20” kecepatan *High*, dengan pengaturan penambahan air *Maximum* pada point E.

Dari grafik temperatur efektif diatas, Dimana kecepatan pada Point E saluran sebesar $V = 3,32 \text{ m /detik}$, didapatkanlah temperatur efektif pada point E adalah sebesar $17,2^{\circ} \text{C}$

Tabel 12. Rekapitulasi dari grafik temperatur efektif untuk semua titik pengukuran dengan menggunakan *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

Variasi Kecepatan	Titik Pengukuran	Temperatur			Kecepatan Udara (V) Rata-rata (m/detik)	Temperatur Efektif (Te) (C)
		Kering (Td)(C)	Basah (Tw)(C)	Kelembaban Relatif (Rh)(%)		
Low	Point A	26,4	26,4	99,0	2,44	19,9
	Point B	26,3	26,3	99,0	5,13	15,5
	Point C	26,3	26,3	99,0	3,55	17,1
	Point D	26,4	26,3	99,0	2,30	20,8
	Point E	26,3	26,3	99,0	3,24	18,0
	Ujung Duct	26,2	26,2	99,0	4,67	16,0
Medium	Point A	26,2	26,2	99,0	2,49	19,2
	Point B	26,1	26,1	99,0	5,18	15,5
	Point C	26,2	26,2	99,0	3,62	19,0
	Point D	26,2	26,2	99,0	2,37	20,2
	Point E	26,2	26,2	99,0	3,28	17,6
	Ujung Duct	26,1	26,1	99,0	4,78	15,5
High	Point A	26,0	26,0	99,0	2,56	19,0
	Point B	25,8	25,8	99,0	5,22	15,4
	Point C	25,8	25,8	99,0	3,73	16,5
	Point D	25,9	25,9	99,0	2,43	20,0
	Point E	25,8	25,8	99,0	3,32	17,2
	Ujung Duct	25,7	25,7	99,0	4,96	15,5

Dari rekapitulasi tabel diatas, makadidapatkanlah jumlah pemakaian air selama ± 15 menit waktu percobaan sebanyak $\pm 1280 \text{ ml}$ air pada variasi kecepatan aliran udara tipe *Low*, Pada variasi kecepatan aliran udara tipe *medium*, jumlah pemakaian air selama ± 15 menit waktu percobaan sebanyak 870 ml , sedangkan pada variasi kecepatan aliran udara tipe *high* didapatkanlah jumlah pemakaian air sebanyak 450 ml dengan waktu percobaan yang sama.

4.3 Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap penurunan temperatur efektif.

1. Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif yang dilakukan pada hasil pengukuran *fan* isap dan *fan* hembus 16”

Dari pengukuran kecepatan aliran udara yang telah dilakukan, maka didapatkanlah tabel perbandingan antara kecepatan aliran udara (V), dengan temperatur efektif (Te) yang dihasilkan pada pengukuran *fan* hisap dan *fan* hembus 16”. Berikut ini adalah tabel hasil perbandingannya:

Tabel 13. Hubungan Kecepatan aliran udara (V) dengan Temperatur Efektif (Te) pada hasil pengukuran *fan* hisap dan *fan* hembus 16”

Titik Pengukuran	<i>Fan</i> Isap		<i>Fan</i> hembus 16”		persentase kenaikan kecepatan antara <i>fan</i> isap dengan <i>fan</i> hembus 16 ” (%)	persentase penurunan Te antara <i>fan</i> isap dengan <i>fan</i> hembus 16 ” (%)
	Kecepatan Aliran udara (V) (m/detik)	Temperatur Efektif (Te) (C)	Kecepatan Aliran udara (V) (m/detik)	Temperatur Efektif (Te) (C)		
Point A	1,83	24,3	2,30	24,2	25,5	0,25
Point B	2,11	24,2	2,40	23,8	13,8	1,50
Point C	1,72	24,5	2,28	24,2	32,5	1,25
Point D	0,75	26,5	1,15	25,8	53,5	2,70
Point E	0,77	26,2	2,70	23,3	250,0	12,50
Ujung Duct	0,97	25,8	3,37	22,5	247,0	14,50

Pada percobaan point 2 dan 3 berikut ini akan diambil perbandingan antara hasil pengukuran *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan tanpa penambahan air dan dengan hasil pengukuran *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

2. Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif yang dilakukan pada hasil pengukuran *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan tanpa penambahan air.

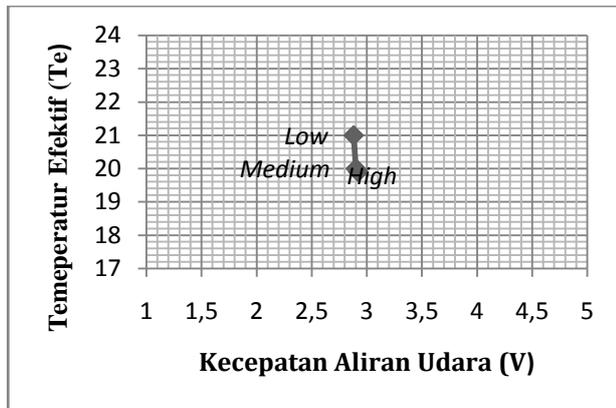
Dari pengukuran kecepatan aliran udara yang telah dilakukan pada *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan tanpa penambahan air ini, didapatkanlah tabel perbandingan dan grafik antara kecepatan aliran udara (V), dengan besaran dari penurunan temperatur efektif (te) yang dihasilkan.

Berikut ini juga akan diambil pada titik point E saluran pada masing-masing perbedaan kecepatan aliran udara.

Tabel 14. Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif pada point E

Titik Pengukuran	Fan Hembus 20" Variasi 3 Kecepatan Aliran Udara (V)	kecepatan udara (V) tanpa air (m/dtk)	kenaikan kecepatan aliran udara (V) low-high (%)	Td (C)	Tw (C)	Rh (%)	Te (C)	penurunan temperatur efektif (Te) low-high (%)
Point E	Low	2,88	1,5	28,6	25,7	79,0	21,0	5,5
	Medium	2,90		28,1	25,3	81,0	20,0	
	High	2,92		28,0	25,2	82,0	19,9	

Berdasarkan dari data tabel diatas, dapat dibuat dalam gambaran sebuah grafik seperti pada gambar 11 berikut :



Gambar 14. Grafik Hubungan Kecepatan aliran udara (V) dengan Temperatur Efektif (Te) pada hasil pengukuran fan hembus 20" tanpa penambahan air pada point E

Tabel 15. Rekapitulasi Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif yang dilakukan pada hasil pengukuran fan hembus 20" variasi 3 kecepatan dengan tanpa penambahan air.

Titik Pengukuran	Fan Hembus 20" Variasi 3 Kecepatan Aliran Udara (V)	kecepatan udara (V) tanpa air (m/dtk)	kenaikan kecepatan aliran udara (V) low-high (%)	Td (C)	Tw (C)	Rh (%)	Te (C)	penurunan temperatur efektif (Te) low-high (%)
Point A	Low	1,35	30,0	28,7	25,7	79,0	23,8	7,5
	Medium	1,60		28,2	25,5	80,0	22,8	
	High	1,78		28,2	25,2	81,0	22,1	
Point B	Low	2,68	19,0	28,6	25,6	80,0	21,8	10,0
	Medium	2,82		28,3	25,3	80,0	20,7	
	High	3,20		28,1	25,1	82,0	19,8	
Point C	Low	1,49	30,0	28,6	25,6	79,0	23,2	6,5
	Medium	1,57		28,2	25,5	81,0	22,7	
	High	1,95		28,2	25,2	82,0	21,8	
Point D	Low	1,59	17,5	28,7	25,5	79,0	23,0	4,5
	Medium	1,77		28,4	25,5	80,0	22,5	
	High	1,87		28,2	25,3	81,0	22,0	
Point E	Low	2,88	1,5	28,6	25,7	79,0	21,0	5,5
	Medium	2,90		28,1	25,3	81,0	20,0	
	High	2,92		28,0	25,2	82,0	19,9	
Ujung Duct	Low	3,21	42,5	28,6	25,6	79,0	21,0	23,5
	Medium	4,33		28,1	25,4	81,0	17,5	
	High	4,64		28,1	25,3	82,0	17,0	

Dari tabel di 16 dapat disimpulkan bahwa kenaikan kecepatan aliran udara terendah berada pada point E, dengan kenaikan dari kecepatan *low* sebesar 2,88 m/detik ke kecepatan *high* sebesar 2,92 m/detik, dengan besar kenaikan 0,04 m/detik atau senilai 1,5 %, dan juga terjadi penurunan suhu temperatur efektif terendah, yakni dari 21,0⁰ C ke 19,9,0⁰ C dengan besar penurunan 1,1⁰ C atau hanya senilai 0,2%.

Kenaikan kecepatan aliran udara tertinggi berada pada point ujung duct, dengan kenaikan dari kecepatan *low* sebesar 3,21 m/detik ke kecepatan *high* sebesar 4,64 m/detik, dengan besar kenaikan 1,43 m/detik atau senilai 44,5%, dan juga terjadi penurunan suhu temperatur efektif tertinggi dari 21,0⁰ C ke 17,0⁰ C dengan besar penurunan 4⁰ C atau senilai 23,5%.

Jika ingin mendapatkan volume udara tertinggi dan penurunan temperatur efektif yang maksimal Pada sistem ventilasi tambang bawah tanah, disarankan memakai dimensi yang diterapkan pada alat simulasi yakni, pada point ujung *duct*, yakni dengan dimensi yang kecil dan ukuran ventilasi yang berbentuk lingkaran, kecepatan dan volume udara akan berkurang pada setiap percabangan, kecepatan udara pun tidak stabil (*turbulence*) pada posisi yang paling dekat dengan percabangan.

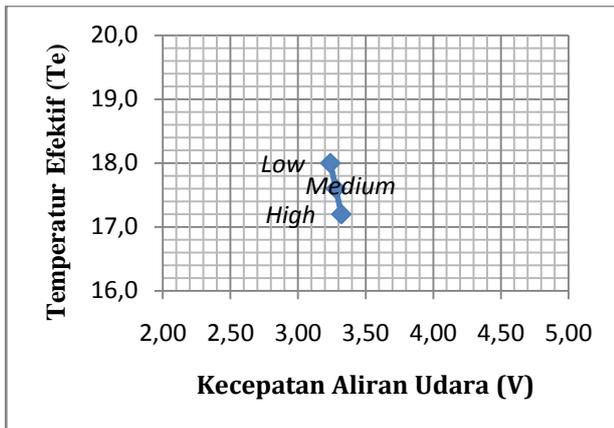
3. Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif yang dilakukan pada hasil pengukuran fan hembus 20" dengan variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan pada saluran alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah, didapatkanlah tabel hubungan antara persentase kenaikan kecepatan aliran udara dengan persentase penurunan suhu temperatur efektif yang dihasilkan, berikut ini adalah tabel pada pengukuran yang dilakukan pada titik point E sebagai bahan perbandingan untuk perbedaan masing-masing kecepatan :

Tabel 16. Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif yang dilakukan pada hasil pengukuran fan hembus 20" variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Maximum* pada point E.

Titik Pengukuran	Fan Hembus 20" Variasi 3 Kecepatan Aliran Udara (V)	kecepatan udara (V) dengan air kapasitas maximum (m/dtk)	kenaikan kecepatan aliran udara (V) low-high (%)	Td (C)	Tw (C)	Rh (%)	Te (C)	penurunan temperatur efektif (Te) low-high (%)
Point E	Low	3,24	2,5	26,3	26,3	99,0	18,0	4,5
	Medium	3,28		26,2	26,2	99,0	17,6	
	High	3,32		25,8	25,8	99,0	17,2	

Berdasarkan dari data tabel diatas, dapat dibuat dalam gambaran sebuah grafik seperti pada gambar 15:



Gambar 15. Grafik Hubungan Kecepatan aliran udara (V) dengan Temperatur Efektif (Te) pada hasil pengukuran *fan* hembus 20” dengan pengaturan penambahan air *Maximum* pada point E

Untuk lebih lengkap dan jelasnya dapat dilihat pada tabel 17 berikut ini:

Tabel 17. Rekapitulasi Hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap temperatur efektif yang dilakukan pada hasil pengukuran *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Maximum*.

Titik Pengukuran	<i>Fan</i> Hembus 20” Variasi 3 Kecepatan Aliran Udara (V)	kecepatan udara (V) dengan air kapasitas <i>maximum</i> (m/dtk)	kenaikan kecepatan aliran udara (V) <i>low-high</i> (%)	Td (C)	Tw (C)	Rh (%)	Te (C)	penurunan temperatur efektif (Te) <i>low-high</i> (%)
Point A	Low	2,44	5,0	26,4	26,4	99,0	19,9	0,2
	Medium	2,49		26,2	26,2	99,0	19,6	
	High	2,56		26,0	26,0	99,0	19,4	
Point B	Low	5,13	1,8	26,3	26,3	99,0	15,6	0,2
	Medium	5,18		26,1	26,1	99,0	15,5	
	High	5,22		25,8	25,8	99,0	15,4	
Point C	Low	3,55	5,0	26,3	26,3	99,0	17,0	3,0
	Medium	3,62		26,2	26,2	99,0	16,8	
	High	3,73		25,8	25,8	99,0	16,5	
Point D	Low	2,30	5,5	26,4	26,3	99,0	20,8	4,0
	Medium	2,37		26,2	26,2	99,0	20,4	
	High	2,43		25,9	25,9	99,0	20,0	
Point E	Low	3,24	2,5	26,3	26,3	99,0	18,0	4,5
	Medium	3,28		26,2	26,2	99,0	17,6	
	High	3,32		25,8	25,8	99,0	17,2	
Ujung <i>Duct</i>	Low	4,67	6,3	26,2	26,2	99,0	16,2	2,5
	Medium	4,78		26,1	26,1	99,0	16,0	
	High	4,96		25,7	25,7	99,0	15,8	

Berdasarkan dari data-data antara hubungan variasi kecepatan aliran udara tanpa penambahan air dan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium*, dan *Maximum* ini dapat disimpulkan bahwa dengan pengaturan penambahan air *Maximum* ini, terdapat peningkatan penambahan kecepatan, hal ini disebabkan karena adanya penambahan kecepatan pada motor yang bekerja untuk menghembuskan uap air, dengan kata lain,

ada dua sistem motor yang bekerja pada satu *fan* untuk mengalirkan udara. Pada sistem ventilasi tambang bawah tanah, penggunaan *fan* jenis ini sangat membantu sekali untuk menurunkan suhu temperatur efektif, optimalisasi pekerja yang berada di *front* penambangan bisa lebih nyaman, sehingga diharapkan pada nantinya dapat meningkatkan hasil produksi penambangan.

Pada sistem ventilasi tambang bawah tanah, perbedaan volume kecepatan aliran udara terjadi jika terdapat adanya perbedaan dimensi saluran, seperti yang terdapat pada titik point A ke titik point B, perbedaan kecepatan aliran udara lebih besar terjadi pada titik point B, karena dimensinya lebih kecil daripada titik point A. perbedaan kecepatan pada sistem ventilasi tambang bawah tanah juga dapat berkurang karena adanya percabangan, seperti yang terjadi pada point D, perbedaan volume kecepatan aliran udara yang besar juga terjadi pada point ujung *duct*, yang dimensinya lebih kecil dari titik point A, C, D dan E, jika ingin mendapatkan volume kecepatan aliran udara yang maksimal, mudah, dan murah, di dalam terowongan bawah tanah, lebih baik menggunakan tipe ventilasi pada point ujung *duct*, yakni dengan dimensi yang kecil dan berbentuk lingkaran, dan sebaiknya dekat dengan *fan* dan pekerja.

4.4 Hubungan antara variasi kecepatan aliran udara terhadap kelembaban relatif (Rh)

1. Hubungan antara variasi kecepatan aliran udara terhadap kelembaban relatif (Rh) pada *Fan* Isap

Pada pengukuran variasi kecepatan aliran udara pada *fan* hisap ini, suhu temperatur efektif (Te) tertinggi berada pada point D sebesar 26,5⁰C dan suhu terendah berada pada point B sebesar 24,2⁰ C, dimana penurunan suhu temperatur efektif (Te) terjadi sebesar 2,3⁰ C. Sedangkan untuk menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh), kecepatan aliran udara dapat menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh) sebanyak 1% . ini dapat dilihat pada point A, C dan D sebesar 75% menjadi 76% pada point B,E dan ujung *duct* dari suhu kelembaban relatif maksimal yang berada pada nilai 100%.

2. Hubungan antara variasi kecepatan aliran udara terhadap kelembaban relatif (Rh) pada *Fan* Hembus 16”

Pada pengukuran variasi kecepatan aliran udara pada *fan* hembus 16” ini, suhu temperatur efektif (Te) tertinggi berada pada point D sebesar 25,8⁰ C dan suhu terendah berada pada point ujung *duct* sebesar 22,5⁰ C, dimana penurunan suhu temperatur efektif (Te) terjadi sebesar 3,3⁰ C. Sedangkan untuk menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh), kecepatan aliran udara dapat menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh) sebanyak 1% . ini dapat dilihat pada point A dan C sebesar 76% menjadi 77% pada point B,D, E dan point ujung *duct* dari suhu kelembaban relatif maksimal yang berada pada nilai 100%.

4. Hubungan antara variasi kecepatan aliran udara terhadap kelembaban relatif (Rh) pada *Fan* Hembus 20” variasi 3 Kecepatan tanpa penambahan air.

Pada pengukuran kecepatan aliran udara pada *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan ini, suhu temperatur efektif (Te) tertinggi berada pada kecepatan *Low* sebesar 23,8⁰ C dan suhu terendah berada pada point ujung *duct* kecepatan *High* sebesar 17,0⁰ C, dimana penurunan suhu temperatur efektif (Te) terjadi sebesar 6,8⁰ C. Sedangkan untuk menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh), kecepatan aliran udara dapat menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh) sebanyak 3% . ini dapat dilihat pada tabel kualitas udara variasi 3 kecepatan, dari 79% menjadi 82% dari suhu kelembaban relatif maksimal yang berada pada nilai 100%.

5. Hubungan antara variasi kecepatan aliran udara terhadap kelembaban relatif (Rh) pada *Fan* Hembus 20” variasi 3 Kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium*, dan *Maximum*.

Total penurunan suhu temperatur efektif terjadi sebanyak 8,4⁰ C, ini terlihat dari suhu tertinggi temperatur efektif dari 22,8⁰ pada kecepatan aliran udara pada point A kecepatan *Low* dengan tanpa penambahan air menjadi 15,4⁰ C pada kecepatan aliran udara pada point B kecepatan *High* dengan pengaturan penambahan air *Maximum*, jumlah pemakaian air yang paling sedikit juga terjadi pada percobaan kecepatan aliran udara tipe *High* dengan pengaturan penambahan air *Maximum* ini, yaitu sebanyak \pm 450 ml, dengan waktu percobaan selama \pm 15 menit, dalam percobaan jenis ini, suhu kelembaban relatif sangatlah tinggi.

Jumlah pemakaian air terbanyak terjadi pada percobaan kecepatan aliran udara tipe *low* dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, yaitu sebanyak \pm 2400 ml dengan waktu percobaan yang sama.

Sedangkan untuk suhu kelembaban relatif (Rh), kecepatan aliran udara pada variasi 3 kecepatan dengan penambahan air ini dapat menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh) dengan nilai yang maksimal, yakni 99%, ini dapat dilihat pada tabel kualitas udara variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium* dan *High*. Hal ini terjadi karena alat *Anemometer* dapat mengukur nilai tersebut pada angka 99%, selain itu juga disebabkan karena nilai dari temperatur kering (Td) dan temperatur basah (Tw) berada pada nilai yang sama.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan pada BAB IV, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Pada percobaan yang menggunakan *fan* hisap, *fan* hembus 16” dan *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan tanpa penambahan air dan dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium* dan *Maximum*,

suhu temperatur akan turun sesuai dengan tipe *fan* dan penambahan kecepatan udara yang dialirkan melalui ventilasi tambang bawah tanah, yang nantinya akan mencapai suhu temperatur yang efektif untuk keamanan dan kenyamanan pekerja di front penambangan bawah tanah.

2. Pada percobaan yang dilakukan dengan menggunakan tipe *fan* pada point 1 diatas, suhu temperatur efektif terendah berada pada percobaan yang menggunakan tipe *fan* hembus 20” kecepatan *high* dengan pengaturan penambahan air *Maximum*, dengan kata lain penambahan kecepatan aliran udara akan menyebabkan turunnya nilai dari suhu temperatur efektif.
3. Pada percobaan dengan menggunakan *fan* hisap suhu kelembaban relatif (Rh) hanya mengalami 1 % kenaikan. yakni dari 75% ke 76%. Pada percobaan dengan menggunakan *fan* hembus 16”, suhu kelembaban relatif (Rh) juga hanya mengalami 1 % kenaikan. yakni dari 76% ke 77%.

Pada percobaan dengan menggunakan *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan tanpa penambahan air dapat menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh) sebanyak 3%, yakni dari 79% ke 82%, sedangkan Pada percobaan dengan menggunakan *fan* hembus 20” variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Minimum*, *Medium* dan *Maximum* dapat menaikkan suhu kelembaban relatif (Rh) dengan nilai yang maksimal, yakni hingga angka 99%, hal ini dapat dilihat pada tabel hubungan antara kecepatan aliran udara variasi 3 kecepatan dengan pengaturan penambahan air *Mnimum*, *Medium* dan *Maximum*. Hal tersebut terjadi karena alat *Anemometer* dapat mengukur nilai Kelembaban Relatif (Rh) maksimal pada angka 99%, selain itu juga disebabkan karena nilai dari temperatur kering (Td) dan temperatur basah (Tw) berada pada nilai yang sama. Menurut KEPMEN 555K/MPE/1995 kelembaban yang diizinkan *front* penambangan bawah tanah hanya boleh dibawah 85%, hal ini disebabkan oleh karena kelembaban yang tinggi sangat tidak bagus untuk kesehatan, keamanan dan kenyamanan para pekerja.

5.2 Saran

1. Jika ingin mendapatkan volume kecepatan aliran udara yang maksimal pada sistem ventilasi tambang bawah tanah, dianjurkan untuk memakai sistem ventilasi yang berbentuk lingkaran dengan ukuran yang kecil, dan sebisa mungkin posisi *fan* berada dekat dengan *front* penambangan.
2. Untuk memenuhi kebutuhan udara pekerja di *front* penambangan bawah tanah, dianjurkan untuk memakai sistem ventilasi dengan kecepatan aliran udara tipe *high* dengan pengaturan penambahan air *Maximum*, seperti yang telah disimulasikan pada penelitian ini.
3. Untuk mendapatkan volume udara yang dibutuhkan pekerja di dalam *front* penambangan bawah tanah, dan untuk menurunkan suhu temperatur efektif agar

sesuai dengan KEPMEN 555K/MPE/1995 pasal 370 yaitu antara 18°C - 24°C , dianjurkan untuk menggunakan sistem ventilasi ini dengan jenis *fan* dengan tipe *high*, pemakaian air kapasitas *maximum*, karena dengan ± 15 menit waktu percobaan, hanya menghabiskan air sebanyak 450 ml, ini bisa lebih diperkecil jika seandainya posisi *fan* berada sangat dekat dengan para pekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/M.PE/1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Pertambangan Umum. (1995)
- [2] Bambang Heriyadi. *Rancangan dan Pembuatan Alat Simulasi Sistem Ventilasi Tambang Laboratorium untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang*. Padang: Sains dan Teknologi STTIND (2017)
- [3] Wiyono dan Sudarsono. *Diktat Kuliah Ventilasi Tambang*. Jurusan Teknik Pertambangan, UPN Veteran. Yogyakarta. (2001)
- [4] Worksafe New Zealand. *Ventilation in Underground Mine and Tunnels.* New Zealand Government. New Zealand. (2014)
- [5] United Nations Environment Programme. *Fan and Blower*. Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia www.energyefficiencyasia.org. UNEP (2006)
- [6] Bambang Heriyadi, *Materi Ajar Peranginan Ventilasi Tambang*, BDTBT Sawahlunto. (2002)
- [7] McPherson, M. *Subsurface Ventilation and Environment Engineering*. Chapman and Hall. USA (1993)
- [8] Hartman L. Howard. *Mine Ventilation and Air Conditioning Third United States of America*. (1997)
- [9] Febrianda Bafnis Ari, Bambang Heriyadi, *Analisis Sistem Ventilasi Tambang untuk Kebutuhan Operasional Penambangan pada Tambang Batubara Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahlungung) PT Bukit Asam-UPO*. Padang : Bina Tambang 1 (2) 85-99 (2014)
- [10] Fedi, Bambang Heriyadi, YM Anaperta, *Analisis Penurunan Suhu Udara di Area Produksi Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Bukit Asam (Persero) Tbk*. Unit Penambangan Ombilin, Sawahlunto, Sumatera Barat. Padang: Bina Tambang 2 (1) 232-246 (2015)
- [11] Sugiono. *Metode Penelitian Pendidikan Alfabeta*. Bandung. (2009)
- [12] Supardi. *Metode – metode Penelitian Bandung*. (2006)
- [13] Rahmat Hidayat, *Pembuatan Alat Simulasi Ventilasi Tambang dan Pengukuran Karakteristik Kualitas dan Kuantitas Udara*. Skripsi, Universitas Negeri Padang (2017.)