

STUDI PENGGUNAAN *VARIABLE SPEED DRIVE* UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR *EXHAUST FAN* PADA *DYNO TEST ROOM* PT. TRAKINDO UTAMA PEKANBARU

Elham Prasetyo, Elvira Zondra, Usaha Situmeang

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: elhamprst3@gmail.com, elviraz@unilak.ac.id, usaha@unilak.ac.id

ABSTRAK

Exhaust fan adalah peralatan berupa sudu-sudu yang berputar dan memanfaatkan gaya sentrifugal untuk membuang *exhaust gas* hasil pembakaran bahan bakar *engine diesel* pada saat dilakukan tes pembebanan penuh. Dengan *exhaust fan*, gas karbondioksida yang dihasilkan oleh *engine diesel* memungkinkan untuk dibuang dengan cepat sehingga tidak memenuhi ruangan dan membahayakan bagi setiap karyawan. Pengoperasian *exhaust fan* dilakukan sesuai jadwal pengetesan *engine*. *Exhaust fan* tersebut digerakkan oleh motor induksi 3 fasa 30 kW dengan putaran nominal secara konstan. Pada saat pengetesan *engine* dengan nilai aliran gas buang yang rendah, *exhaust fan* tetap dioperasikan dengan kecepatan nominal. Operasional motor *exhaust fan* dengan kecepatan konstan seperti ini akan mengakibatkan konsumsi daya listrik yang relatif tinggi dari pada motor dengan kecepatan berubah-ubah sesuai kebutuhan. Sebagai pertimbangan hasil perhitungan untuk *engine C 18 Caterpillar* kapasitas 831 hp yang sebelumnya membutuhkan operasional *exhaust fan* dengan daya 24,7927 kW nilai sama untuk semua model *engine*, setelah penggunaan VSD dapat dikurangi sebesar 14,35 % menjadi 21,2343 kW saja. Penelitian ini bertujuan mendapatkan probabilitas hubungan antara konsumsi energi listrik, frekuensi pada *variable speed drive*, putaran motor induksi dan nilai aliran udara pada cerobong *exhaust fan*. Nilai aliran udara *exhaust fan* tersebut akan disesuaikan dengan nilai aliran gas pembakaran yang dihasilkan oleh *engine*. Analisa optimasi motor *exhaust fan* ini sedianya akan menggunakan *Matematic Analysis* dan simulasi menggunakan *simulink matlab* sehingga diharapkan ada solusi untuk melakukan penghematan terhadap konsumsi daya motor, kemudian bisa diterapkan dalam semua pengoperasian motor yang ada di perusahaan.

Kata kunci : *variable speed drive*, motor induksi, *exhaust fan*

ABSTRACT

The exhaust fan is a rotary blade device which produces centrifugal force to remove exhaust gas from diesel fuel combustion during a full load test. With exhaust fans, the carbondioxide gases that generated by the diesel engine allows to be disposed quickly so that it does not fill the room and harm to every employee. The operation of exhaust fan is carried out according to the engine test schedule. The exhaust fan is driven by a 3 phase induction motor of 30 kW with constant rotation. When testing the engine with a low Exhaust Gas flow value, the exhaust fan remains operated at rated speed. Operational exhaust fan with a constant speed like this will result in relatively high power consumption of the motor with the speed of change as needed. Considering the calculation results for C 18 engine Caterpillar capacity of 831 hp which previously required operational exhaust fan with 24,7927 kW of equal value for all engine models, after the use of VSD can be reduced by 14.35% to 21.2343 kW only. This study aims to obtain the probability of relationship between electrical energy consumption, frequency on the variable speed drive, induction motor rotation and the value of air flow in the exhaust fan chimney. The value of the exhaust fan air flow will be adjusted to the combustion gas flow value generated by the engine. The optimization analysis of this motor exhaust fan will be using Matematic Analysis and simulation using matlab simulink so it is expected there is a solution to make savings to motor power consumption, then it can be applied in all the motor operation in the company.

Keywords: *variable speed drive*, induction motor, *exhaust fan*

1. PENDAHULUAN

Exhaust fan pada *dyno test room* PT. Trakindo Utama dioperasikan oleh motor induksi 3 fasa 30 kW. *Exhaust fan* tersebut dioperasikan

pada putaran 998 rpm (*rotation per minutes*) secara konstan. Putaran operasional *exhaust fan* akan tetap sama untuk setiap *engine diesel* yang dilakukan pengetesan. Sedangkan spesifikasi *engine diesel*

beraneka ragam. Dari *displacement* ruang bakar yang relatif kecil sehingga menghasilkan *flow rate* karbondioksida yang juga relatif sedikit sampai *displacement* besar dengan hasil karbondioksida yang lebih banyak. Banyaknya jumlah karbondioksida yang dihembuskan ke ruangan akan berbanding lurus dengan besarnya ruang bakar dan juga daya mekanik dari *engine* diesel itu sendiri. *Flow rate* karbondioksida yang dihasilkan seharusnya sebanding dengan putaran *exhaust fan* dengan artian semakin banyak kandungan gas karbondioksida semakin cepat putaran *fan* untuk membuang gas tersebut keluar ruangan.

Jika memperhatikan aplikasi motor induksi maka motor sering dioperasikan menggunakan sistem konvensional dengan putaran konstan sehingga hasil dari konsumsi energi yang digunakan juga bernilai maksimum. Lain halnya apabila putaran motor dapat diatur sesuai dengan kebutuhan maka daya listrik yang terpakai relatif kecil daripada motor selalu berputar dengan putaran nominal. Upaya untuk pengaturan putaran motor ini dapat menggunakan peralatan tambahan yang disebut dengan *Variable Speed Drive* (*VSD*). Inisiatif penggunaan *VSD* ini berawal dari diskusi-diskusi dengan para superior pada PT. Trakindo Utama untuk mengoptimalkan pengoperasian semua sistem pada *dyno test room* sehingga pada akhirnya dicapai nilai keuntungan optimal dari proses *dyno test engine diesel* itu sendiri. Hal ini sejalan dengan perusahaan yang mengharapkan setiap karyawan mempunyai inovasi-inovasi untuk memperlancar proses pekerjaan. Seperti apa konstruksi dari *VSD* yang sesuai untuk digunakan pada *dyno test room* ini maka dalam penelitian ini akan dianalisa parameter-parameter yang perlu seperti ukuran ruangan, nilai karbondioksida yang dihasilkan setiap *engine diesel*, spesifikasi motor dan *exhaust fan* kemudian konstruksi dari saluran ataupun ventilasi.

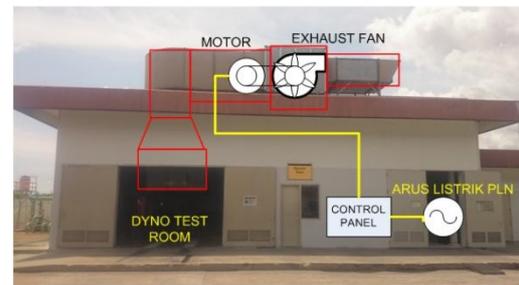
Tujuan utama penggunaan *Exhaust fan* adalah untuk membuang *exhaust gas* dan juga panas hasil pembakaran bahan bakar solar *engine diesel* pada saat dilakukan tes pembebanan penuh. Dengan *exhaust fan*, gas karbondioksida yang dihasilkan oleh *engine diesel* memungkinkan untuk dibuang dengan cepat sehingga tidak memenuhi ruangan dan membahayakan bagi setiap karyawan. Putaran operasional dari *exhaust fan* ini akan disesuaikan dengan nilai *flow rate* gas buang di area cerobong hisapan dan nilai beban perpindahan panas setiap *engine*. Dengan dua nilai parameter ini maka diharapkan di dalam ruangan *dyno test* terjaga nilai kandungan karbondioksida beserta panas udara tidak melebihi nilai standar keselamatan dan performa *engine diesel* yang telah ditetapkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sistem Exhaust fan Pada Dyno Test Room PT. Trakindo Utama.

Dyno Test Room adalah suatu ruangan berukuran $6m \times 6m \times 6m$ ($216 m^3$) yang digunakan untuk proses *finishing engine diesel* setelah dilakukan perbaikan. Yaitu dilakukan *performance test* dengan beban penuh sehingga didapatkan parameter-parameter yang kemudian disesuaikan dengan spesifikasi pabrik. Setiap *engine diesel* yang dites memiliki spesifikasi *flow rate* (aliran) gas buang yang berbeda-beda sesuai dengan tenaga yang dihasilkan.

Exhaust fan pada *dyno test room* merupakan peralatan vital yang harus ada untuk membuang gas karbondioksida hasil pembakaran bahan bakar solar *engine diesel*. Dengan *exhaust fan* melalui cerobong luar berukuran $0,89m \times 1,7m$, gas karbondioksida yang dihasilkan oleh *engine diesel* memungkinkan untuk dibuang dengan cepat sehingga tidak memenuhi ruangan dan membahayakan bagi setiap karyawan. Pengoperasian *exhaust fan* relatif dilakukan sesuai jadwal pengetesan *engine*. Konstruksi *exhaust fan* ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1 dan 2.2.

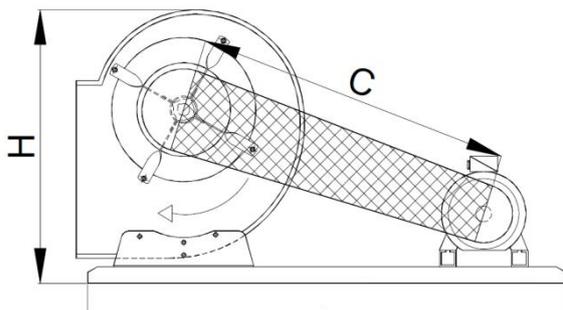


Gambar 2.1 *exhaust fan* tampak dari luar ruangan.



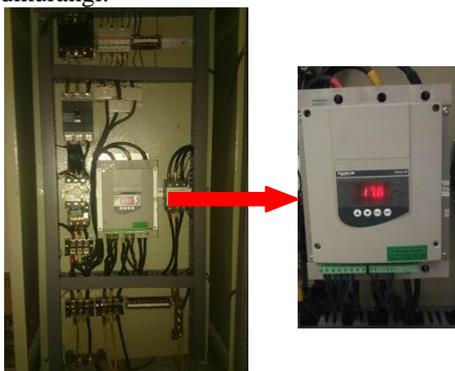
Gambar 2.2 *exhaust fan* tampak dari dalam ruangan.

Exhaust fan tersebut digerakkan oleh motor induksi 3 fasa 30 kW dengan putaran nominal secara konstan. Untuk menyalurkan putaran motor induksi ke *exhaust fan* pada poros rotor motor induksi dipasang sebuah *pulley* dengan *belting* yang terhubung ke *pulley* satunya yang dipasang pada poros sudu-sudu *exhaust fan* seperti Gambar 2.3.



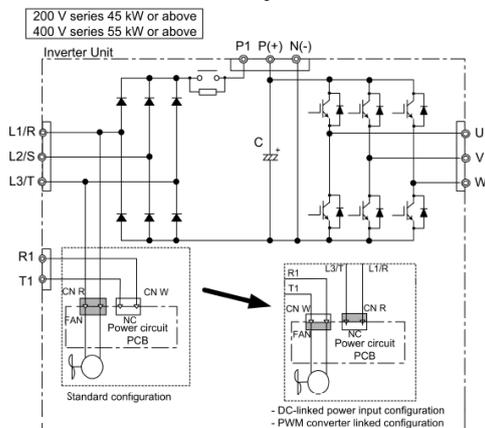
Gambar 2.3 belting sebagai penyalur putaran Motor induksi ke *exhaust fan*.

Motor induksi tiga fasa merk kruger 30 kW tersebut dikontrol menggunakan *Schneider electric altistart 48* sebagai *softstart* seperti pada Gambar 2.3. Sistem kontrol menggunakan *altistart 48* ini pada dasarnya mirip dengan penggunaan sistem DOL konvensional dengan memanfaatkan perubahan rangkaian *stator* hubungan star delta sekaligus dengan *Altistart 48* motor dapat distel waktu akselerasi sampai putaran nominal sehingga arus start yang tinggi secara tiba-tiba dapat dikurangi.



Gambar 2.4 sistem pengendali menggunakan Altistart 46.

Sedangkan gambaran dari rangkaian VSD seperti Gambar 2.5 merk Fuji Electric Frenic-Eco.



Sumber : *Manual book Fuji Electric Frenic-Eco*.

Gambar 2.5 VSD merk Fuji Electric Frenic-Eco.

2.2 Data Spesifikasi Exhaust fan.

Data *exhaust fan* merk *kruger* diambil dari *name plate* yang terpasang pada *fan* tersebut seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Teknik *Exhaust fan*

Parameter	Spesifikasi
Merk	KRUGER
Type	CFT 900-D(BDB 900/XM CLII) CCW
Code	GGK0019D-30-GO
Serial	1103046Y-A0060904111PTK
Fan cmh	68000
Fan Speed	973 rpm
Pressure	635 Pa

Sumber : Brosur spesifikasi *Kruger BDB double inlet centrifugal fan*.

2.3 Data Spesifikasi Motor Induksi.

Data motor induksi merk *kruger* diambil dari *name plate* yang terpasang pada motor tersebut seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Teknik Motor Induksi

Parameter	Spesifikasi
Merk	KRUGER
Type	B060030FMB3-U
Tegangan	440-480 V
Arus	40-44.3 A
Power factor	0,8
Power	30 kW
Rpm	980 Rpm
Pole	6
Frequensi	50 Hz
Connection	Delta

Sumber : *Name plate* spesifikasi *Kruger induction motor*.

2.4 Data Spesifikasi Flow Rate Exhaust Gas.

Nilai *Exhaust flow rate* dari setiap *engine* diesel diambil dari data spesifikasi pabrik yang ada pada setiap model *engine* *Caterpillar* tersebut seperti pada Tabel 2.3. Sebagai contoh untuk *engine* model 3306 dengan *displacement* setiap ruang bakar mendekati 3 liter dengan 6 buah silinder atau ruang bakar, membutuhkan suplai udara bersih sebesar 695 *cfm* dalam proses pembakaran sehingga menghasilkan tenaga mekanikal 349 hp dan *exhaust gas* 2.055 *cfm* dengan *temperature gas* 1.031 °F dan mempunyai *exhaust heat rejection* atau nilai perpindahan panas sebesar 14.956 *btu/minutes* selengkapnya untuk *engine* model lainnya seperti Tabel 2.3 di bawah.

Tabel 2.3 Data *Exhaust Gas flow rate engine diesel*

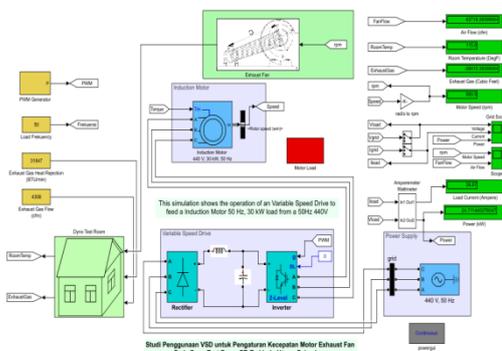
No	Model Engine	Daya hp	Air Intake Flow, <i>cfm</i>	Exhaust Heat Rejection <i>btu/min</i>	Exhaust Gas	
					Temperature (°F)	Flow (<i>cfm</i>)
1	C 18	831	1.465	31.847	1.035	4.308
2	3408	603	1.292	26.956	1.006	3.686
3	3406	590	1.133	20.302	907	3.015
4	3306	349	695	14.956	1.031	2.055

Sumber : *Caterpillar service manual*.

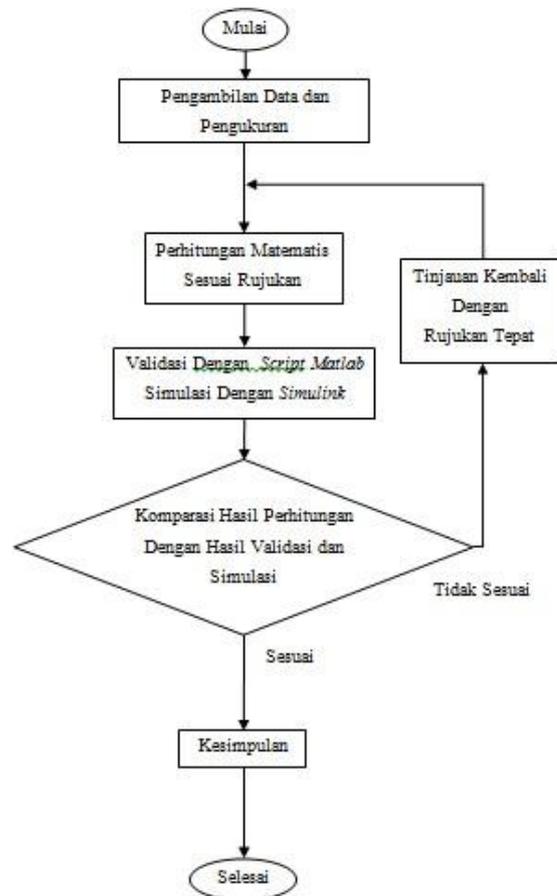
2.5 Langkah-langkah Penelitian.

Tahapan-tahapan seperti *flow chart* Gambar 2.7 yang akan di lakukan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini agar hasil yang dicapai tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditentukan yaitu antara lain :

1. Melakukan pengambilan data kecepatan motor induksi, nilai arus listrik, tegangan listrik, nilai power faktor atau $\cos \phi$, data spesifikasi motor induksi dan *exhaust fan*, ukuran diameter *pulley*, nilai kecepatan udara yang dihasilkan *exhaust fan* serta kecepatan udara pada lubang-lubang ventilasi, ukuran ventilasi, ruangan dan data *flow rate* gas buang setiap *engine Caterpillar*.
2. Melakukan perhitungan aliran udara pada cerobong *fan* dari data kecepatan sudu-sudu *fan* dan spesifikasi *fan* serta menghitung konsumsi daya listrik motor induksi dan kecepatan poros pada motor induksi dari data kelistrikan dan data motor induksi.
3. Melakukan perhitungan dengan *variable* yang berbeda mengacu pada beberapa nilai *Exhaust Gas flow rate engine diesel* sehingga didapatkan probabilitas hubungan antara nilai frekuensi *variable speed drive*, daya masukan motor induksi, kecepatan motor, kecepatan *exhaust fan* dan aliran udara yang dihasilkan.
4. Melakukan simulasi menggunakan aplikasi atau program komputer dalam hal ini simulasi menggunakan *software simulink matlab* seperti Gambar 2.6 dan validasi perhitungan menggunakan *script code matlab*.
5. Semua hasil perhitungan dikomparasikan dengan hasil validasi menggunakan *script code matlab* dan simulasi menggunakan *simulink*.
6. Meninjau kembali menggunakan rujukan yang tepat jika terjadi perbedaan nilai hasil perhitungan dan validasi ataupun simulasi.
7. Memberikan kesimpulan dari semua hasil yang didapat.



Gambar 2.6 Blok simulasi *Simulink matlab*



Gambar 2.7 *Flow Chart* Penelitian.

3. PEMBAHASAN

3.1. Data Pengukuran dan Nilai *Flow Rate Engine Diesel*.

Berdasarkan metode pengukuran data yang dilakukan maka diperoleh data yang akan digunakan untuk analisis kinerja motor induksi, seperti Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Pengukuran Parameter Motor Induksi *Exhaust fan*

Kondisi Beban	Arus Stator (A)	Tegangan Stator (V)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Rotor (rpm)	Temperatur udara luar (°F)	Kecepatan Udara (m/s)
Dengan Beban	40	440	50	998	86	13,3
Tampa Beban	20	435	50	996	86	0

3.2. Pengoperasian *Exhaust fan* Sebelum Penggunaan VSD

Berdasarkan data yang diperoleh dari *name plate* motor induksi serta ukuran pada Tabel 3.1 maka dapat dihitung parameter-parameter sebagai berikut :

3.2.1 Kecepatan Motor Pada Frekuensi 50 Hz.

1. Kecepatan sinkron motor dapat dihitung sebagai berikut :

$$n_{sync} = \frac{120 \times f_{se}}{p}$$

$$n_{sync} = \frac{120 \times 50}{6}$$

$$n_{sync} = \frac{6.000}{6}$$

$$n_{sync} = 1.000 \text{ rpm}$$

2. Nilai *slip* motor dapat dihitung sebagai berikut :

$$s = \frac{(n_{sync} - n_m)}{n_{sync}} \times 100\%$$

$$n_{sync} = \frac{(1.000 - 998)}{1.000} \times 100\%$$

$$s = \frac{2}{1.000} \times 100\%$$

$$s = 0,002 \times 100\%$$

$$s = 0,2\%$$

3.2.2 Nilai Aliran Udara Yang Dihasilkan Exhaust fan.

Berdasarkan data yang diperoleh, telah diketahui kecepatan udara (*air velocity*) seperti Tabel 4.1, nilai kecepatan *exhaust fan* dan ukuran cerobong keluaran dari *exhaust fan*. Maka nilai aliran udara dapat dihitung sebagai berikut :

Dari data : $V = 13,3 \text{ m/s}$

$$A = 0,89m \times 1,7m$$

Maka Q ,

$$Q = v \times A$$

$$Q = 13,3 \times (0,89 \times 1,7)$$

$$Q = 13,3 \times (1,513)$$

$$Q = 20,1229 \text{ meter}^3/\text{second}$$

$$Q = 1.207,374 \text{ meter}^3/\text{minutes}$$

$$Q = 42.638,0506 \text{ feet}^3/\text{minutes (cfm)}$$

Hasil aliran udara Q diatas selanjutnya kita sebut sebagai Q_1 .

3.2.3 Nilai Konsumsi Energi Listrik Pada Frekuensi 50 Hz.

Berdasarkan data yang diperoleh dari *name plate* motor induksi serta ukuran pada Tabel 3.1 maka dapat dihitung rugi daya motor sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I}$$

$$\cos \varphi = \frac{30.000}{\sqrt{3} \times 440 \times 48,4}$$

$$\cos \varphi = \frac{30.000}{36.885,754}$$

$$\cos \varphi = 0,8133$$

Dari perhitungan di atas diketahui rugi daya motor ($\cos \varphi$), nilai tegangan (V) dan arus (I). Maka konsumsi daya motor induksi pada frekuensi 50 Hz dapat dihitung sebagai berikut :

Dari data : $I = 40 \text{ A}$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$\cos \varphi = 0,8133$$

Maka P ,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times 440 \times 40 \times 0,8133$$

$$P = 30.484,09421 \times 0,8133$$

$$P = 24.792,7138 \text{ Watt}$$

$$P = 24,7927 \text{ kW}$$

Hasil daya listrik motor induksi P diatas selanjutnya kita sebut sebagai P_1 .

3.3. Pengoperasian Exhaust fan Saat Penggunaan VSD

Untuk perhitungan semua parameter saat penggunaan VSD, *variable* frekuensi yang berbeda dihasilkan VSD sebagai acuan awal untuk mendapatkan nilai kecepatan, aliran udara *exhaust fan* dan nilai konsumsi daya listrik. Maka berdasarkan rujukan-rujukan yang sudah didapatkan maka perhitungan –perhitungan dilakukan seperti di bawah.

3.2.1 Kecepatan Motor Pada Frekuensi 45 Hz.

Jika frekuensi pada VSD (*Variable Speed Drive*) diatur sebesar 45 Hz maka kecepatan motor dapat dihitung sebagai berikut :

1. Kecepatan sinkron *stator*

$$n_{sync} = \frac{120 \times f_{se}}{p}$$

$$n_{sync} = \frac{120 \times 45}{6}$$

$$n_{sync} = 900 \text{ rpm}$$

2. Kecepatan mekanikal poros *rotor* dapat dihitung sebagai berikut :

$$s = \frac{(n_{sync} - n_m)}{n_{sync}}$$

$$n_m = n_{syn} - (s \times n_{syn})$$

$$n_m = 900 - (0,002 \times 900)$$

$$n_m = 900 - 1,8$$

$$n_m = 898,2 \text{ rpm}$$

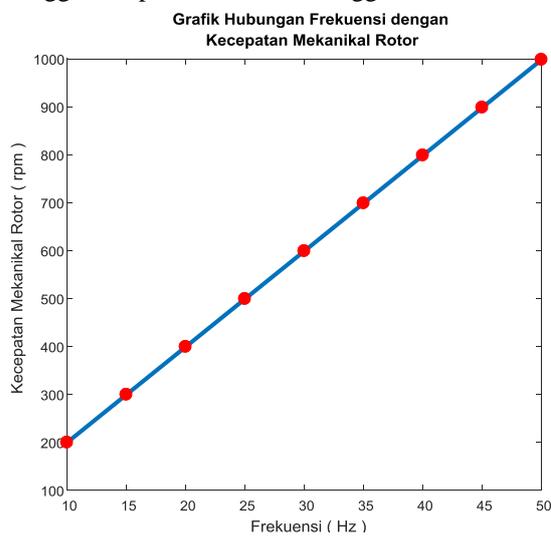
Dari perhitungan tersebut diketahui bahwa jika VSD diatur pada frekuensi 45 Hz maka kecepatan mekanikal pada poros *rotor* (n_m) adalah 898.2 rpm. Secara keseluruhan dari perhitungan didapatkan hubungan antara frekuensi pada VSD yang disupai ke *stator* (f_{se}) dan *slip* motor (s)

dengan kecepatan mekanikal pada poros rotor (n_m) seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hubungan frekuensi dengan kecepatan mekanikal rotor.

No	Frekuensi VSD / Stator f_s (Hz)	Slip (s)	Kecepatan Mekanikal Rotor n_m (rpm)
1	45	0,002	898,2
2	40		798,4
3	35		698,6
4	30		598,8
5	25		499,0
6	20		399,2
7	15		299,4
8	10		199,6

Hasil perhitungan dari Tabel 3.2 ditunjukkan seperti pada grafik Gambar 3.1 jika frekuensi VSD yang disuplai ke stator bertambah besar maka akan berbanding lurus dengan kecepatan mekanikal rotor sehingga kecepatan bertambah tinggi.



Gambar 3.1 Hubungan antara Frekuensi dan Kecepatan Mekanikal Rotor

Gambar 3.1 menunjukkan hubungan antara frekuensi dan kecepatan mekanikal rotor, dimana perubahan frekuensi sebesar 11% akan mengakibatkan meningkatnya kecepatan mekanikal rotor senilai 11%.

3.2.2 Perhitungan Nilai Aliran Udara Yang Dihasilkan Exhaust fan.

Dengan hukum fan maka nilai aliran udara dengan variabel kecepatan fan dapat dicari sebagai berikut :

$$Q_1 = \frac{n_{m1}}{n_{m2}}$$

$$Q_2 = \frac{n_{m2}}{n_{m1}} \times Q_1$$

$$Q_2 = \frac{898,2}{998} \times 42.638,0506$$

$$Q_2 = 0,9 \times 42.638,0506$$

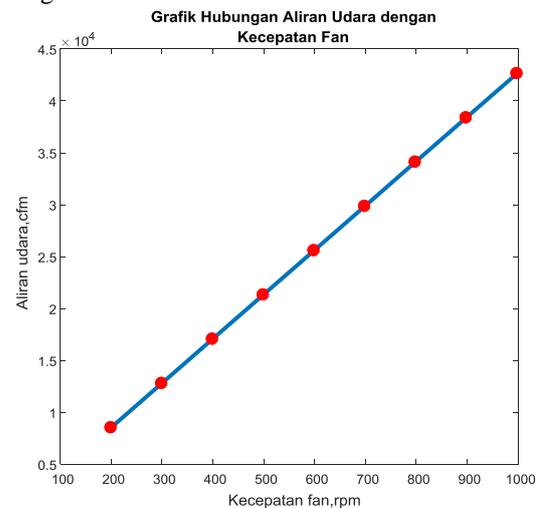
$$Q_2 = 38.374,24554 \text{ cfm}$$

Secara keseluruhan dari perhitungan seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil perhitungan aliran udara

No	Kecepatan Fan (rpm)	Aliran Udara (cfm)
1	898,2	38.374,24554
2	798,4	34.110,44048
3	698,6	29.846,63542
4	598,8	25.582,83036
5	499,0	21.319,02530
6	399,2	17.055,22024
7	299,4	12.791,41518
8	199,6	8.527,61012

Hasil dari perhitungan dari Tabel 3.3, seperti pada grafik Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hubungan antara kecepatan fan dan aliran udara.

Gambar 3.2 menunjukkan hubungan antara kecepatan mekanikal rotor dan aliran udara yang dihasilkan fan, dimana perubahan kecepatan mekanikal rotor sebesar 11% akan mengakibatkan meningkatnya aliran udara senilai 11%.

3.2.3 Perhitungan Konsumsi Daya Listrik.

Dengan hukum fan nilai konsumsi daya motor dapat dicari sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_{m1}}{n_{m2}}\right)^3$$

$$P_2 = \left(\frac{n_{m2}}{n_{m1}}\right)^3 \times P_1$$

$$P_2 = \left(\frac{898,2}{998}\right)^3 \times 24,792$$

$$P_2 = 0,729 \times 24,792 \text{ kW}$$

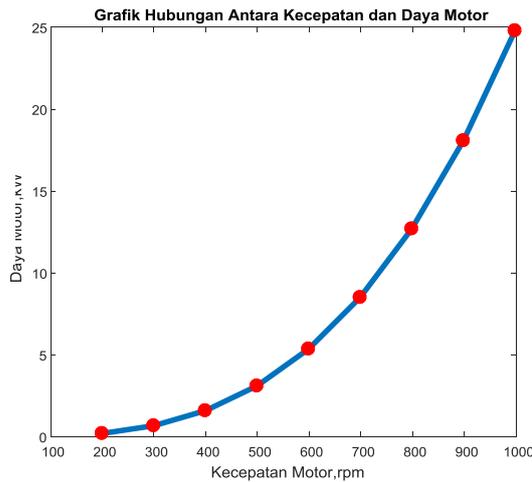
$$P_2 = 18,0734 \text{ kW}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dibuat tabel berdasarkan beberapa kondisi seperti Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perhitungan konsumsi daya motor

No	Kecepatan motor / fan (rpm)	Daya motor (kW)
1	898,2	18,0739
2	798,4	12,6939
3	698,6	8,50389
4	598,8	5,35522
5	499,0	3,08909
6	399,2	1,58673
7	299,4	0,66940
8	199,6	0,19834

Hasil dari perhitungan dari Tabel 3.4, seperti pada grafik Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hubungan antara kecepatan dan daya motor.

Gambar 3.3 menunjukkan hubungan antara kebutuhan daya listrik dengan kecepatan motor. Perubahan kecepatan 11% akan meningkatkan atau menurunkan kebutuhan daya listrik 23%.

3.4. Penentuan Setelan Kecepatan Fan Sesuai Exhaust Gas Flow Rate.

Untuk menentukan kecepatan fan yang disesuaikan dengan exhaust gas flow rate yang dihasilkan setiap engine diesel maka pertama-tama harus diketahui nilai volume flow (aliran volume) udara yang harus disuplai oleh fan menggunakan data nilai exhaust gas flow rate, nilai suhu udara luar dan dalam ruangan. Aliran volume udara ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q_s = \frac{Q_{rs}}{\rho_s \times C_p \times (t_r - t_s)} + \text{Combustion} \cdot \text{Air}$$

$$Q_s = \left(\frac{31.847}{0,0735 \times 0,24 \times (120 - 68)} \right) + 1.465 + 4.308$$

$$Q_s = \left(\frac{31.847}{0,91728} \right) + 5.773$$

$$Q_s = (34.718,95168) + 5.773$$

$$Q_s = 40.491,95168 \text{ cfm}$$

Untuk menentukan nilai kecepatan mekanikal rotor dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_{m1}}{n_{m2}}$$

$$n_{m2} = n_{m1} \times \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$n_{m2} = 998 \times \frac{40.491,95168}{42.638,05060}$$

$$n_{m2} = 998 \times 0,94967$$

$$n_{m2} = 947,7677 \text{ rpm}$$

Pada Tabel 4.2 hasil perhitungan kecepatan mekanikal rotor dari data frekuensi dan dipertegas dengan Gambar 4.1 didapatkan kesimpulan bahwa perubahan nilai frekuensi sebanding dengan output nilai kecepatan mekanikal rotor. Maka untuk menentukan nilai frekuensi yang harus diatur pada VSD, dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_{m1}}{n_{m2}}$$

$$f_2 = f_1 \times \frac{n_{m2}}{n_{m1}}$$

$$f_2 = 50 \times \frac{947,7677}{998}$$

$$f_2 = 50 \times 0,94967$$

$$f_2 = 47,4834 \text{ Hz}$$

Dengan penysetelan tersebut konsumsi daya listrik yang dibutuhkan oleh motor dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_{m1}}{n_{m2}} \right)^3$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{n_{m2}}{n_{m1}} \right)^3$$

$$P_2 = 24,7927 \times \left(\frac{947,7677}{998} \right)^3$$

$$P_2 = 24,7927 \times (0,94967)^3$$

$$P_2 = 24,7927 \times 0,8565$$

$$P_2 = 21,23429 \text{ kW}$$

Secara keseluruhan berdasarkan model atau jenis engine merk Caterpillar yang sering masuk Dyno Test Room maka hasil perhitungan nilai frekuensi VSD dan kecepatan Exhaust fan seperti pada Tabel 3.5.

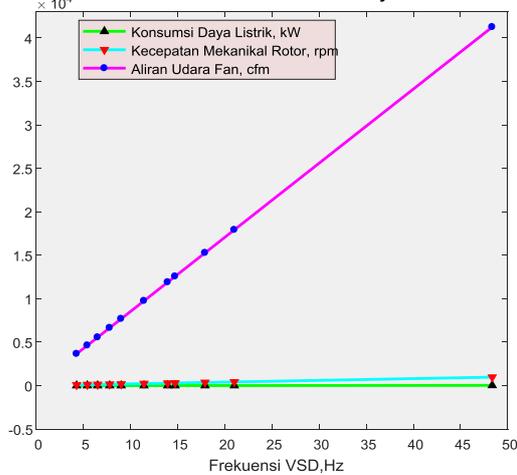
Tabel 3.5 Tabel Perhitungan nilai frekuensi VSD dan kecepatan Exhaust fan

No	Model Engine	Exhaust Flow (cfm)	Aliran Udara Fan (cfm)	Kecepatan Motor (rpm)	Frekuensi (Hz)	Daya Listrik (kW)
1	C 18	4.308	40.491,95168	947,7677	47,4834	21,2343
2	3408	3.686	34.364,8829	804,3556	40,2984	12,9801
3	3406	3.015	26.183,8275	612,8671	30,7048	5,7416
4	3306	2.055	19.054,7270	446,0011	22,3447	2,2128

Hasil perhitungan dari Tabel 3.5 ditunjukkan seperti pada grafik Gambar 3.4 jika frekuensi VSD yang disuplai ke stator bertambah besar maka kecepatan mekanikal rotor juga bertambah, aliran udara (air flow rate) yang dihasilkan fan juga

bertambah. Begitupun konsumsi daya listrik yang disuplai ke motor juga ikut naik.

Grafik Pengaruh Frekuensi VSD Terhadap Kecepatan Mekanikal Rotor, Aliran Udara Fan dan Konsumsi Daya Listrik



Gambar 3.4 Grafik hubungan frekuensi dengan kecepatan, aliran udara dan daya listrik.

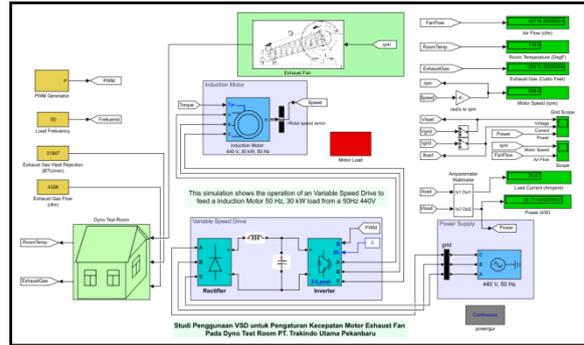
Dari semua perhitungan yang ada, membuktikan bahwa penggunaan VSD berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik yang cukup signifikan. Seperti Tabel 3.5 dan 3.6 serta Gambar 3.4 ditunjukkan bahwa selama ini proses pengetesan engine Cat 3306 dengan putaran exhaust fan konstan sebelum penggunaan VSD memerlukan daya 24 kW dan dari hasil perhitungan setelah penggunaan VSD jika disesuaikan dengan nilai air flow rate Exhaust Gas engine 3306 tersebut, hanya memerlukan daya listrik 2,2128 kW saja.

Tabel 3.6 Perbandingan sebelum dan sesudah penggunaan VSD

No	Modal Engine	Sebelum Penggunaan VSD		Setelah Penggunaan VSD	
		Frekuensi (Hz)	Daya Listrik (kW)	Frekuensi (Hz)	Daya Listrik (kW)
1	C 18	50	24,7927	47,4834	21,2343
2	3408			40,2984	12,9801
3	3406			30,7048	5,7416
4	3306			22,3447	2,2128

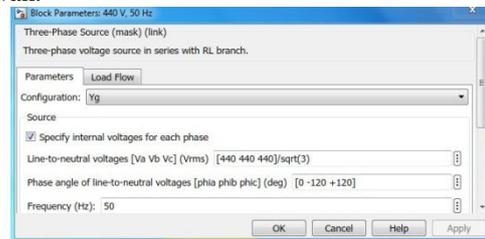
3.5. Simulasi Penggunaan VSD Sebagai Pengatur Kecepatan Exhaust fan.

Penggunaan VSD sebagai pengatur kecepatan exhaust fan disimulasikan menggunakan software simulink matlab berdasarkan data nilai exhaust gas flow rate empat diesel engine sesuai Tabel 2.3. Blok-blok yang dipakai pada simulink seperti Gambar 3.5 di bawah.



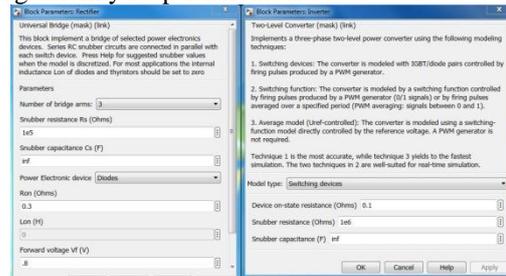
Gambar 3.5 Blok-blok yang dipakai pada simulasi simulink matlab.

Pengaturan blok-blok pada simulink didasarkan pada data lapangan yang diperoleh dan dari persamaan semua perhitungan yang diambil dari beberapa rujukan. Blok power supply diatur dengan nilai voltage phase to phase rms sebesar 440 V dengan frekuensi 50 Hz seperti Gambar 3.6 di bawah.



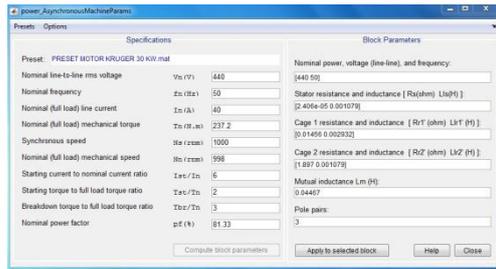
Gambar 3.6 Pengaturan Blok three phase source sebagai power supply utama.

Sedangkan blok VSD berdasarkan nilai default yang ada, saat simulasi nilai frekuensi dari PWM generator sebagai pengendali utama VSD yang dapat diubah sesuai frekuensi yang diinginkan. Blok VSD terdiri dari rectifier dan inverter, pengaturannya seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pengaturan Blok rectifier dan inverter sebagai satu kesatuan perangkat VSD..

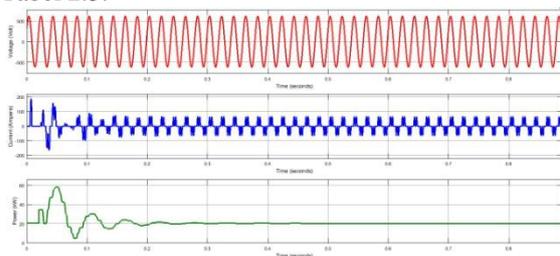
Blok selanjutnya yang digunakan pada simulasi simulink adalah blok motor induksi tiga fasa. Blok motor induksi atau asynchronous machine diatur berdasarkan data motor induksi aktual yang tertera pada name plate motor yaitu 440 V 50 Hz dengan hasil pengukuran kecepatan 998 rpm dan arus listrik 40 A. Pengaturan blok motor induksi ini seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pengaturan Blok motor induksi.

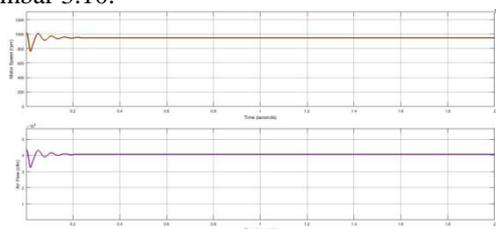
3.2.1 Simulasi Pengoperasian *Exhaust fan* saat *Load Test Engine* model C18.

Simulasi *simulink* ini menggunakan data *engine* dengan model C18 *caterpillar* seperti data Tabel 2.3.



Gambar 3.9 Hasil simulasi nilai tegangan, arus dan daya listrik motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* C18.

Variable komponen input yang diatur diantaranya nilai *exhaust flow rate* diatur dengan nilai 4.308 *cfm*, *heat rejection* 31.847 *btu/min* dan nilai frekuensi 47,4834 Hz. Hasil simulasi ditunjukkan seperti Gambar 4.9. Dari hasil simulasi didapatkan nilai arus listrik *rms* 32,39 A dan tegangan *rms* fasa ke fasa 440 V sehingga konsumsi daya listrik didapatkan senilai 20,24 kW. Grafik dari blok *scope* memperlihatkan nilai yang relatif stabil dimulai pada detik ke 0,2. Sedangkan visual grafik kecepatan motor ditunjukkan seperti Gambar 3.10.



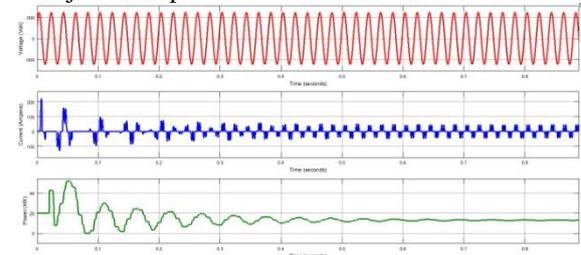
Gambar 3.10 Hasil simulasi nilai kecepatan dan *air flow* motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* C18.

Pada grafik Gambar 3.10 ditunjukkan nilai kecepatan motor senilai 950 rpm yang sebanding dengan nilai *air flow* 40.600 *cfm* pada saluran *exhaust fan*. Dari hasil simulasi ini didapatkan nilai kecepatan dan *air flow* yang cukup stabil dan dapat disimpulkan motor *exhaust fan* beroperasi normal.

3.2.2 Simulasi Pengoperasian *Exhaust fan* saat *Load Test Engine* model 3408.

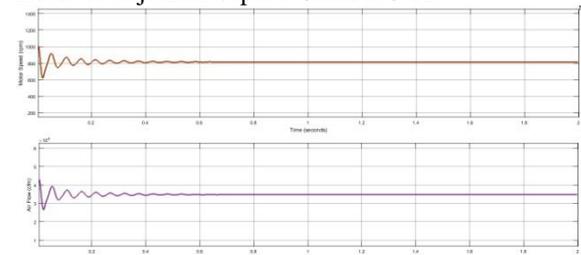
Simulasi *simulink* ini menggunakan data *engine* dengan model 3408 *caterpillar* seperti data

Tabel 2.3. *Variable* komponen input yang diatur diantaranya nilai *exhaust flow rate* diatur dengan nilai 3.686 *cfm*, *heat rejection* 26.956 *btu/min* dan nilai frekuensi 40,2984 Hz. Hasil simulasi ditunjukkan seperti Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Hasil simulasi nilai tegangan, arus dan daya listrik motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* 3408.

Dari hasil simulasi didapatkan nilai arus listrik *rms* 27,45 A dan tegangan *rms* fasa ke fasa 439 V sehingga konsumsi daya listrik didapatkan senilai 16,63 kW. Grafik dari blok *scope* memperlihatkan nilai yang relatif stabil dimulai pada detik ke 0,5. Sedangkan visual grafik kecepatan motor ditunjukkan seperti Gambar 3.12.

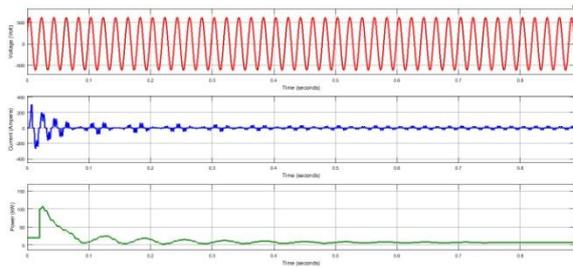


Gambar 3.12 Hasil simulasi nilai kecepatan dan *air flow* motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* 3408.

Pada grafik Gambar 3.12 ditunjukkan nilai kecepatan motor senilai 815 rpm yang sebanding dengan nilai *air flow* 34.830 *cfm* pada saluran *exhaust fan*. Dari hasil simulasi ini didapatkan nilai kecepatan dan *air flow* yang cukup stabil dan dapat disimpulkan motor *exhaust fan* masih beroperasi normal.

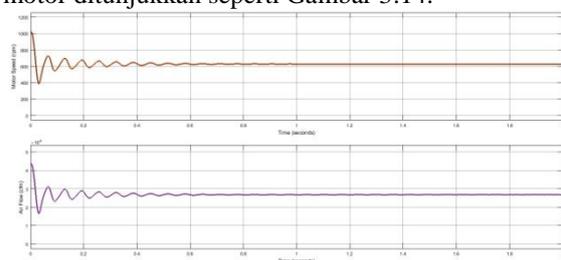
3.2.3 Simulasi Pengoperasian *Exhaust fan* saat *Load Test Engine* model 3406.

Simulasi *simulink* ini menggunakan data *engine* dengan model 3406 *caterpillar* seperti data Tabel 2.3. *Variable* komponen input yang diatur diantaranya nilai *exhaust flow rate* diatur dengan nilai 3.015 *cfm*, *heat rejection* 20.302 *btu/min* dan nilai frekuensi 30,7048 Hz. Hasil simulasi ditunjukkan seperti Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Hasil simulasi nilai tegangan, arus dan daya listrik motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* 3406.

Dari hasil simulasi didapatkan nilai arus listrik *rms* 12,12 A dan tegangan *rms* fase ke fase 441 V sehingga konsumsi daya listrik didapatkan senilai 6,962 kW. Sedangkan visual grafik kecepatan motor ditunjukkan seperti Gambar 3.14.

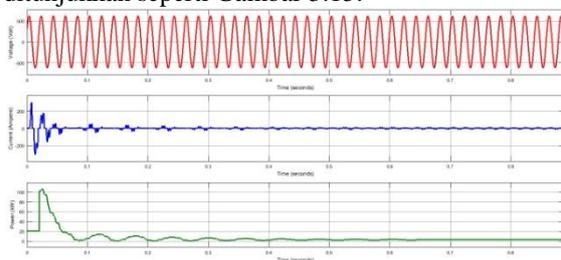


Gambar 3.14 Hasil simulasi nilai kecepatan dan *air flow* motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* 3406.

Pada grafik Gambar 3.14 ditunjukkan nilai kecepatan motor senilai 627 rpm yang sebanding dengan nilai *air flow* 26.810 *cfm* pada saluran *exhaust fan*. Dari hasil simulasi ini didapatkan nilai kecepatan dan *air flow* yang juga stabil dan dapat disimpulkan motor *exhaust fan* beroperasi normal.

3.2.4 Simulasi Pengoperasian *Exhaust fan* saat *Load Test Engine* model 3306.

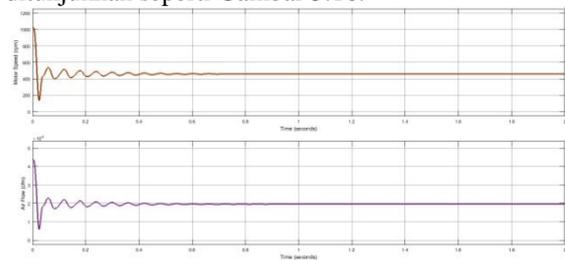
Simulasi *simulink* ini menggunakan data *engine* dengan model 3306 *caterpillar* seperti data Tabel 2.3. *Variable* komponen input yang diatur diantaranya nilai *exhaust flow rate* diatur dengan nilai 2.055 *cfm*, *heat rejection* 14.956 *btu/min* dan nilai frekuensi 22,3447 Hz. Hasil simulasi ditunjukkan seperti Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Hasil simulasi nilai tegangan, arus dan daya listrik motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* 3306.

Dari hasil simulasi didapatkan nilai arus listrik *rms* senilai 4,918 A dan tegangan *rms* fase ke fase 439 V sehingga konsumsi daya listrik didapatkan cukup tinggi senilai 3,073 kW. Grafik

dari blok *scope* memperlihatkan nilai yang cukup stabil. Sedangkan visual grafik kecepatan motor ditunjukkan seperti Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Hasil simulasi nilai kecepatan dan *air flow* motor *exhaust fan* dengan beban gas buang *engine* 3306.

Pada grafik Gambar 3.16 ditunjukkan nilai kecepatan motor senilai 457 rpm yang sebanding dengan nilai *air flow* 19.540 *cfm* pada saluran *exhaust fan*. Dari hasil simulasi ini didapatkan nilai kecepatan dan *air flow* yang juga stabil dan operasional motor *exhaust fan* terlihat normal.

3.2.5 Perbandingan Antara Hasil Perhitungan Dengan Simulasi.

Nilai-nilai yang didapatkan dari hasil perhitungan dan simulasi jika dilakukan *highlight* dalam satu waktu menunjukkan nilai yang relatif sama, perbedaan hasil simulasi *simulink* untuk pengaturan VSD dengan beberapa nilai frekuensi ini terletak pada waktu untuk mencapai nilai kecepatan motor yang stabil. Lebih jelasnya perbandingan nilai perhitungan dan simulasi seperti Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi.

No	Model Engine	Frekuensi (Hz)	Hasil Perhitungan		Hasil Simulasi	
			Kecepatan Motor (rpm)	Daya Listrik (kW)	Kecepatan Motor (rpm)	Daya Listrik (kW)
1	C 18	47,4834	947,7677	21,2343	950	20,240
2	3408	40,2984	804,3556	12,9801	815	16,630
3	3406	30,7048	612,8671	5,7416	627	6,962
4	3306	22,3447	446,0011	2,2128	457	3,073

Nilai-nilai yang didapat dari hasil simulasi mempunyai nilai yang mendekati dari hasil perhitungan. Yang perlu ditekankan disini adalah daya listrik yang terukur pada simulasi sebanding dengan perubahan yang terjadi pada nilai frekuensi VSD, hal ini sesuai dengan perhitungan-perhitungan yang dilakukan. Pengoperasian *exhaust fan* dengan beban gas buang dengan berbagai model *engine* ini menunjukkan nilai cukup stabil dan operasi motor normal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dalam bab pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan frekuensi sebesar 11% akan mengakibatkan meningkatnya kecepatan mekanikal *rotor* senilai 11%. Perubahan kecepatan mekanikal *rotor* sebesar 11% akan mengakibatkan meningkatnya aliran udara yang dihasilkan senilai 11%. Dari perubahan ketiga parameter tersebut maka nilai konsumsi daya listrik juga berubah, perubahan frekuensi, kecepatan motor dan aliran udara *fan* 11% akan meningkatkan atau menurunkan kebutuhan daya listrik 23%.
2. Jika memperhatikan proses pengetesan *engine* Cat 3306 daya mekanik 349 hp dengan putaran *exhaust fan* konstan sebelum penggunaan VSD memerlukan daya 24,7927 kW dan dari hasil perhitungan setelah penggunaan VSD jika disesuaikan dengan nilai *air flow rate Exhaust Gas engine 3306* tersebut, hanya memerlukan daya listrik 2,2128 kW saja, maka dari hasil ini didapatkan nilai penghematan cukup signifikan sekitar 90 % konsumsi daya listrik bias dikurangi.
3. Untuk *engine* C 18 *Caterpillar* kapasitas 831 hp yang sebelumnya juga membutuhkan operasional *exhaust fan* dengan daya 24,7927 kW nilai sama untuk semua model *engine*, setelah penggunaan VSD dapat dikurangi sebesar 14,35 % menjadi 21,2343 kW saja.
4. Selain penghematan operasional *exhaust fan* juga harus memperhatikan nilai-nilai yang efektif dan efisien dengan artian penghematan daya listrik tidak mempengaruhi kinerja dari *exhaust fan* itu sendiri, sehingga sistem *fan* tersebut tetap mampu membuang panas dan karbondioksida secara optimal dan aman untuk karyawan.

4.2 Saran.

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan dalam bab pembahasan maka ada hal-hal yang masih perlu diperdalam mengenai analisa-analisa selanjutnya sebagai berikut :

1. Penggunaan VSD sebagai pengatur kecepatan memang dapat menghemat konsumsi daya listrik. Namun pemakaiannya tetap saja memperhatikan biaya pemasangan apakah sebanding dengan keuntungan operasional nantinya. Untuk mengatasi nilai yang cukup mahal jika membeli VSD merk terbaik, diharapkan inovasi-inovasi kedepan tetaplh harus ada, jika kita mampu membuat rangkaian pengatur kecepatan sendiri dengan komponen-komponen relatif murah namun tidak kalah kualitasnya mungkin inilah yang terbaik.
2. Perlu penelitian lanjutan dengan analisa berdasarkan rujukan-rujukan mengenai

pengoperasian VSD berdasarkan pembacaan sensor

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anindita. Galih, Setiawan. Edi, Syahid. Achmad, 2016, *Optimasi Energi Pada Motor Induksi 3 Fasa Dalam Memproduksi Kebutuhan Air (Studi Kasus di PDAM Karang Pilang Surabaya)*, ISSN 2548-1509, Seminar Nasional Maritim Sains dan Teknologi Terapan Volume 1, Politeknik Perkapalan Negeri, Surabaya.
- Bodkhe. S B, Aware. M V, 2009, *A Variable-Speed, Sensorless, Induction Motor Drive Using DC Link Measurements*, ISSN 2158-2297, Department of Electrical Engineering, G H Rasoni College of Engineering, Visvesvarya National Insitute of Technology, Nagpur, India.
- Callawa. Cindy, M. Bagheri. Hassan, D. Aswegan. James, 2013, *ASRAE Handbook*, W. Stephen Comstock, Atlanta.
- Caterpillar*, 2015, *Application & Installation Guide Engine Room Ventilation*, *Caterpillar* All rights reserved.
- Chapman. Stephen J, 2012, *Electric Machinery Fundamentals Fifth Edition*, Mc Graw Hill Higher Education, New York.
- Dietzel. Fritz, 1980, *Turbinen Pumpen Und Verdichter*, Vogel-Verlag, Wurzburg.
- Kirshen. Daniel S, Novotny. Donald W, Lipo. Thomas A, 1985, *On-Line Efficiency Optimization of a Variable Frequency Induction Motor Drive*, ISSN 1939-9367, IEEE Transactions On Industry Applications Vol IA-21 No 4.
- Kumolo. Daru, Sugiyantoro. Bambang, Firmansyah. Eka, 2014, *Pengaruh Inverter Sebagai Alat Pengendali Frekuensi Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Sangkar Tupai*, ISSN EIS03058, Jurnal Penelitian Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Volume 1 Nomor 2, Yogyakarta.
- Latt. Aung Zaw, Win. Ni Ni, 2009, *Variable Speed Drive of Single Phase Induction Motor Using Frequency Control Method*, ISSN 2155-1812, International Conference on Education Technology and Computer, Myitkyina.

- Prasetyadi, 2006, *Modifikasi Putaran Fan Untuk Meningkatkan Efisiensi Pemakaian Listrik*, ISSN 1441-318X, Jurnal Teknik Lingkungan Edisi Khusus Hal 9-16, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Rashid. Muhammad H, 2011, *Power Electronics Handbook*, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Burlington.
- Rijono.Yon, 2004, *Dasar Teknik Tenaga Listrik edisi revisi*, Andi, Yogyakarta.
- Sanda, 2012, *Disain Blower Dan Cerobong Untuk Membuang Limbah Bau Dan Ozon Iradiator Gamma 500 kCi*, ISSN 1410-9565, Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah Volume 15 Nomor 1, Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-Batan, Tangerang.
- Theraja. BL, 1980, *A Textbook Of Electrical Technology*, Publication Division Of Nirja Contruccion and Development, New Delhi.
- Wang. Shan K, 2001, *Handbook Of Air Conditioning And Refrigerantion*, Mc Graw Hill, New York.
- Wessel. Dennis J, Reeves. George, Claridge. David E, 2000, *ASRAE Handbook*, W. Stephen Comstock, Atlanta.
- Zuhal, 2016, *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, PT Gramedia, Jakarta.