

APLIKASI INVERTER DALAM PROSES KONVERSI ENERGI DI TINJAU DARI ASPEK BIAYA

Indra Kusuma

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains dan Teknologi Nasional - Jakarta
Email : indraemte@gmail.com

Abstrak

AHSRAE Indonesia Chapter Seminar 2016 always improve the systems and implementation for efficiency energy actually the method and the technical, Chillers plant efficiency with the Green Chiller Concept. In general, as the Building Manager (Management Building) has a target of quality management on Energy (ISO 50001), such as Cost Effective and Saving Energy on the use and maintenance of the units Equipment available on, especially those closely related to the mechanical and electrical components of control, The use and regular maintenance is essential in the mechanical and electrical components where it is very related to the work function of equipment (Unit Equipment) such support; Air Conditioning Engineering (AHU / HVAC / Chiller), Heater (Steam Boiler), Pumps Hydrant and Water (WTP). That on the part of this equipment is widely available induction motor (3 phase) as well as the need of electric power consumption is very frequent and quite large when the engine start switch, due to the Inrust current (6x fold) when the machine Turned ON. Inverters or Variable Speed Drive (VSD) is an electronic device that functions as a controller rounds induction motor 3 phase in Variable star-stop (Soft Start, Smooth, Stage) that the inverter can be in Settings (adjustable) drive the rotation Fan or AC Induction Motor 3 phase in Air flow requirements to transfer flow (CFM) on the unit for the purpose of cooling machine efficiency "Energy Saving and Cost Effective".

Keyword : Motor 3 phase in Variable star-stop ; Inverters or Variable Speed Drive (VSD); Air Conditioning Engineering (Chiller); Cost Effective and Saving Energy

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini diberberapa negara sudah sangat peduli terhadap pemanfaatan Energi Listrik secara Efektif dengan kata lain *Saving Energy* atau "*Hemat Energi-Hemat Biaya*". Salah satu contoh negara yang telah meng-Amandemenkan *Saving Energy* tersebut adalah Negara Jepang pada bulan April 2003. Negara berkembang, termaksud Indonesia sebagai produsen berbagai macam industri contohnya pabrik makanan, minuman, kimia. Infrastruktur tersebut membutuhkan supplay Energi Listrik yang cukup besar, dan yang cukup banyak membutuhkan konsumsi energy listrik tersebut di bagian unit Motor Listrik /*Induction Motor* (3 phasa) sehingga dapat diperkirakan kebutuhan supplay energy ini bisa mencapai $\pm 70\%$ dari total kebutuhan.

Inverter

Merupakan VSD (Variable Speed Drive) atau INVERTER adalah komponen elektrik yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan putaran

motor, bahwa VSD ini dapat di Setting (adjustable) menyesuaikan kebutuhan putaran motor untuk tujuan "Energy Saving". Beberapa Unit Mesin yang menggunakan Motor Induksi (3 phasa), dapat di aplikasikan menggunakan *Inverter*, contoh : Conveyor, HVAC/AHU, Fan & Pump. Inverter dalam proses konversi tegangn DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa *step up transformer*, inverter dapat dibedakan menjadi :

- *Sine wave inverter*, yaitu inverter yang memiliki tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. Inverter jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (Induktor) atau motor listrik dengan efisiensi daya yang baik.
- *Sine wave modified Inverter*, yaitu inverter dengan tegangan output berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. Inverter jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk

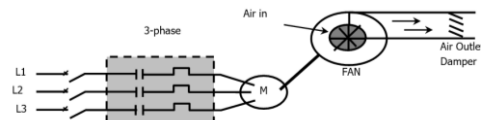
mensupplay beban induktor atau motor listrik.

- *Square wave Inverter*, yaitu inverter dengan output berbentuk gelombang kotak, inverter jenis ini tidak dapat digunakan untuk mensupply tegangan ke beban induktif atau motor listrik.

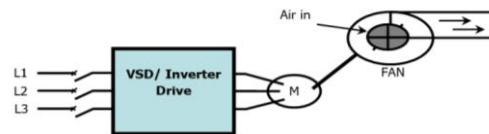
Dalam perencanaan suatu proses kerja mesin yang berkaitan dengan sistem instalasi aliran Fluida *Liquid/Gas/Steam* yang secara *conventional*, masih terdapat instrumen tambahan berupa penggunaan *valve* atau *dampner* seperti terlihat pada Gambar 1a dan 1b. Walaupun disaat konsumsi aliran fluida *liquid/gas/steam* masih sering berubah-ubah dalam kurun waktu yang berpariasi (jam/hari). Maka instrumen *valve* atau *dampner* tersebut difungsikan untuk menyesuaikan laju aliran dengan cara mengurangi volume debit aliran tersebut sesuai dengan yang dibutuhkan. Sedangkan fungsi dari inverter bekerja sebagai pengendali (*adjustment*) pada kecepatan putaran motor induksi, guna mengontrol laju aliran yang dapat disesuaikan dan berubah-ubah dalam perhitungan waktu tertentu (jam/hari). Penerapan penggunaan VSD/*Inverter* dalam proses kerja pada mesin pendingin ruangan dapat memanfaatkan perangkat ini sebagai pengendali laju aliran *flow* secara otomatis dan dapat mengurangi konsumsi listrik secara efektif dan efisien dengan mengatur kecepatan (Rpm/Hz).

Saving Energy

Apabila energi listrik suatu mesin pendingin central di gedung perkantoran, menggunakan inverter sebagai penggerak motor induksi 3 phase dengan kapasitas daya motor 15kW/380V/3 phase, saat motor induksi bekerja dengan frekwensi < 50/60Hz atau <100% Rpm dari kapasitas beban sesungguhnya, Maka asumsi aliran rata-rata didapat 2000 m³/jam, dan penggunaan daya motor 60% dengan laju aliran rata-rata untuk 2000 m³/jam dari total pemakaian 4000 jam /tahun.



Gambar-1a. Penggunaan Damper



Gambar-1b. Penggunaan Inverter

Kapasitas Daya Motor Induksi

Dimana saat motor induksi mulai jalankan maka akan mengalami lonjakan arus yang sangat tinggi hal ini yang sering menyebabkan *droptvolt* tegangan tidak stabil. Beberapa kapasitas daya motor induksi: 7.5 kW; 11 kW; 15 kW; 18.5 kW dan 22 kW.

Jika dibutuhkan kapasitas motor induksi 12 kW, maka akan didapat daya motor yaitu sebesar kW x factor safety = 15.6 kW, dimana untuk design dengan kapasitas motor induksi kebutuhan secara *actual* adalah **15.6 kW** tersebut susah didapat. Maka sebagai alternative dapat ditentukan berdasarkan tabel kapasitas daya motor yang lebih tinggi (> 15.6 kW), yang paling ideal adalah 18.5 kW. Sedangkan jika menggunakan Inverter (VSD), maka kapasitas daya motor 12 kW tanpa kali factor sehingga daya kapasitas motor induksi mudah untuk di tentukan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Data jenis VSD yang digunakan Inverter FRENIC MULTI dengan Spesifikasi

- Input rating : 380-480 Volt, 3phase
- Output Overload : 150% (1min) – 200% (0,5s) of rate current
- Output Frequency : 50/60Hz
- Starting Torque : 200% over
- Braking : 40% (2,2kW – 3,7kW)
- Control Methode : V/F Control, Dina mic Torque, Vector control, PG Card (option).
- Acceleration & : 0,00 up to 3600s Dece leration
- Multi step - : 16 steps Frequency
- Frequency – : 0 to 5V DC & 0 to 10V DC, 4 to 20 mA (inverse mode) Setting controll
- Function mode : Torque Boost, Motor Sound, RS-485 communication, Power-on

star (V type), Reverse-phase sequence - lock (V type), Auto restart after momentary power - failur

- Protection : Short circuit, Ground fault, Overvoltage, Undervoltage, Over heating, Motor Overload, Stall Prevention
- Enclosure : IP 20
- Cooling Methode : Natural 0,75kW, Fan coolong 1,5kW
- Standard : EC, UL (certification)

Pemeriksaan Breakdown maintenance

Tujuan *Maintenance Management* mesin-mesinini diharapkan agar tercapai reabilitas tinggi, produksitas tinggi, kualitas memenuhi standard mutu dan dengan biaya cukup ekonomis. Jenis mesin lain memerlukan pemeriksaan berkala untuk menjaga kondisi tetap prima, dan bisa diprediksi kapan diadakan penggantian partnya. Maka perlu mengadakan kombinasi system pemeliharaan dengan pertimbangan sifat mesin, operasi mesin, ongkos

Uraian pemeriksaan nya adalah:

- Kesalahan fungsi dan analisa dampak kerusakan - *Failure mode & effects analysis*.
- Analisa akar permasalahan - *Root cause analysis*.
- Perbaikan dan pengecekan secara berkala - *Continue Improvement & Correction*.
- Mendesain dan Merancang ulang - *Redesign & Re-engineering*.

Kontrol Controls

Pendingin yang lebih baru dikendalikan secara otomatis, sistem kontrol Chiller meliputi keamanan dan kontrol operasi. Jika alat ini mengalami kerusakan, kontrol keamanan menutup chiller ke bawah untuk mencegah kerusakan serius pada mesin. Operasi kontrol memungkinkan penyesuaian untuk beberapa parameter pengoperasian Chiller. Pengendalian langsung secara digital. Untuk lebih memantau kinerja chiller, sistem kontrol chiller harus

berkomunikasi dengan kontrol digital di fasilitas itu (Direct Digital Control /DDC).

Pemeliharaan Mesin Chiller Secara Optimal

Ada beberapa langkah dasar bahwa fasilitas profesional dapat dilakukan untuk memastikan pendingin mereka sedang dipertahankan dengan benar, diantaranya.

Mengurangi Skala atau Fouling

Evaporator dan kondensor tabung bundel mengumpulkan mineral dan endapan lumpur dari air, jika skala penumpukan korosi yang dapat menyebabkan kegagalan dinding tabung, sehingga mengurangi efisiensi chiller.

Tabel 1. Parameter Pemeriksaan dan Pemeliharaan Mesin Pendingin

Jadwal Pemeliharaan CHILLER		
Deskripsi	Catatan	Frekuensi Pemeliharaan
Mengisi log harian	Periksa semua set <u>points</u> untuk pengaturan yang tepat dan fungsi. Pastikan tidak ada suara yang tidak biasa dan suhu ruang dapat diterima.	Harian (4x)
Menggunakan Chiller / sequencing	Matikan pendingin atau urutan yang tidak perlu.	Harian
Periksa pengaturan ulang air dingin dan fungsi	Periksa pengaturan untuk disetujui urutan operasi pada setiap awal musim pendingin.	Setiap tahun
Periksa setpoint chiller lockout	Periksa pengaturan untuk disetujui urutan operasi pada setiap awal musim pendingin.	Setiap tahun
Bersihkan evaporator dan kondensor tabung	Ditunjukkan ketika penurunan tekanan di laras (berkas tabung) melebihi rekomendasi pabrik, tapi setidaknya setiap tahun.	Setiap tahun
Verifikasi batas beban motor amper	Amper Motor tidak boleh melebihi spesifikasi pabrik.	Setiap tahun
Kompresor motor dan perakitan	Melakukan analisis getaran: Periksa semua keberpihakan dengan spesifikasi. Check all seals. Periksa semua segel. Lumasi jika diperlukan.	Setiap tahun
Kompresor minyak system	Melakukan analisis minyak dan filter. Ubah bila perlu. Periksa pompa minyak dan segel Periksa pemanas minyak dan thermostat Periksa semua saringan, katup, dll	Setiap tahun
Sambungan listrik	Periksa semua sambungan listrik dan terminal untuk kontak penuh dan kekakuan.	Setiap tahun
Periksa kondisi refrigerant	Tambahkan refrigerant jika rendah. Rekam jumlah dan mengatasi masalah-masalah kebocoran.	Setiap tahun
Periksa kondensor dan evaporator tabung korosi dan bersih yang diperlukan.	Indikasi meliputi: kualitas air yang buruk, fouling berlebihan, dan umur chiller. Pengujian eddy saat ini dapat dilakukan untuk menilai kondisi tabung.	Yang diperlukan

Ada dua tindakan preventif utama: Perawatan Pada Unit Inverter

Langkah pertama dalam pencegahan serta penyelesaian dari berbagai permasalahan yang terjadi pada Inverter/VSD adalah perlunya mengisolasi (*parameter setting*) sebelum sistematis bekerja hingga dapat menimbulkan permasalahan yang di sebabkan dari systems Inverter (VSD) itu sendiri.

Dalam kondisi pemecahan masalah yang melibatkan motor, lebih dari setengah perjalanan ini hanya mengisolasi permasalahan yang terjadi pada motor yang di aplikasikan pada *Fan* dan *Pump*. Kapanpun kondisi motor bekerja, maka ada beban dan ada pula semacam motor penggerak/*controller*, diantaranya peningkatan kinerja pada *Variable Speed Drive (VSD)*. Maka ketika terjadi masalah, bagaimana kita dapat mengetahui apakah masalah yang di timbulkan dari VSD, Motor, atau beban Motor Induksi tersebut (*Application*) dan memahami bagaimana motor beroperasi, bagaimana menerapkannya dalam aplikasi tertentu. Cara terbaik untuk mengendalikan motor induksi, serta menjamin bahwa inverter dapat bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan. Memahami alat Instrumentasi tes untuk digunakan pada saat pemasangan, pemelihara/perawatan, dan troubleshooting mereka menjamin bahwa hal tersebut dapat mengamankan kondisi beroperasi selama jangka waktu yang panjang hingga dapat mengurangi kerugian waktu kerja (*downtime minimal*).

Kegagalan Umum pada Sistem VSD Tegangan Berlebih Dan Penurunan Tegangan

Sebuah VSD memiliki kode diagnostik, yang mengidentifikasi penyebab kegagalan dalam sistem pengoprasian. Secara umum, mereka diklasifikasikan sebagai kelebihan tegangan *over-volt*, penurunan tegangan *under volt*, atau kelebihan arus tegangan *over-current*.

Kedip tegangan pada input Inverter/VSD dapat disebabkan penurunan tegangan dari eksternal atau sumber arus. Masalah juga bisa terjadi pada internal dengan arus DC link Capacitor dan atau DC reaktor. Dalam banyak hal VSD terdapat pions tes untuk mengukur tegangan DC/AC. Untuk memeriksa tegangan Capacitor, gunakan min / max fungsi multimeter digital, atau yang lebih disukai, fungsi trans dari analisa kualitas listrik atau alat tes ScopeMeter untuk memantau kinerja Inverter/VSD dengan mengukur Arus yang

bekerja di dalamnya Refleksi Terhadap Tegangan berlebih

Bagian yang terpenting dari pulsa PWM (*Pulse Width Motor*) dapat memiliki nilai puncak jauh lebih tinggi (hingga 200 persen secara teori) dari normal. Ini lebih dari refleksi tegangan yang dapat menyebabkan kerusakan pada gulungan motor.

Solusi di tentukan dalam tiga kategori:

- Memperpendek panjang kabel Inverter/VSD ke Motor Induksi.
- Menggunakan motor dengan Isolasi (*coil*) kelas yang lebih tinggi.
- Menggunakan Harmonic filter.

Kebocoran Arus Pada Motor Induksi

Frekuensi tinggi dapat menyebabkan peningkatan kebocoran antara gulungan stator dan frame motor. Arus *grounding* atau kebocoran arus dapat mengganggu sinyal kontrol dan sistem komunikasi VSD. Solusi yang umum adalah penggunaan kabel peredam insulator EMI atau modus umum tersedak. Alat-alat penting dan efektif diperlukan untuk Pemeliharaan VSD dalam rangka untuk mempertahankan sistem VSD agar bekerja secara efektif, ada beberapa alat penting bahwa para teknisi harus selalu menyediakan alat-alat tersebut di dalam toolbox mereka, diantaranya:

Digital Multi Meter (DMMs)

Pengembangan model *Digital Multi Meter* biasanya memiliki lima digit display atau memiliki kapasitas jumlah yang lebih tinggi untuk pengukuran yang lebih akurat, dapat menangkap dan menyimpan pengukuran nanti melihat, dapat dihubungkan ke PC/komputer untuk *download* pengukuran, atau menyertakan fitur berarah yang memungkinkan pengukuran yang dilakukan dari waktu ke waktu yang akan ditampilkan sebagai satu baris pada grafik. Hal ini juga harus memiliki fitur pada penyaring tegangan liar (dikenal sebagai *Ghost Voltage*) yang menginduksi dari kabel energi yang berdekatan. Untuk mengukur dari sistem VSD di mana ada frekuensi tinggi, *built-in Low Pass Filter (LPF)* fitur ini akan berguna untuk menyaring noise frekuensi tinggi yang tidak

diinginkan dan memastikan pengukuran akurat.

Pengukur Kualitas Power Meters *Power Quality Meters*

Argometer kualitas daya adalah alat tes yang mengukur, tampilan kinerja inverter serta daya kerja Motor Induksi, dan pencatatan tegangan saat bekerja, dan kekuatan selain masalah listrik khusus seperti mengecilnya, membengkak, transien, dan harmonik. Daya meter berkualitas yang tersedia di kedua model fase tunggal dan tiga fase. Model tunggal-fase dapat digunakan untuk menguji sirkuit tiga fase dengan menghubungkan meter uji mengarah ke fase yang berbeda dalam rangkaian.

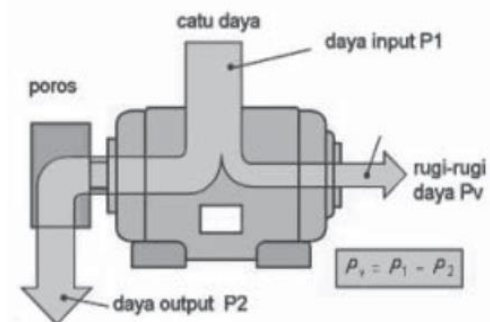
Oscilloscope portabel

Osiloskop portabel memiliki bandwidth yang jauh lebih tinggi pengukuran dan sampling rate daripada kekuasaan meter kualitas, yang sangat ideal untuk mencari masalah listrik, elektronik, dan digital dalam sirkuit yang kompleks. Hal ini juga penting untuk memiliki masing-masing saluran yang akan diisolasi untuk memastikan keamanan para teknisi ketika bekerja di tegangan tinggi tersebut dan lingkungan yang tinggi saat ini. Osiloskop portabel merupakan alat tes yang paling efektif yang mengukur dan menampilkan bentuk gelombang tegangan tinggi, kontrol tegangan rendah, dan sinyal digital. Ini memiliki keuntungan lebih dari osiloskop bangku-top karena mereka portabel, genggam, baterai yang dioperasikan, dan benar Peringkat CAT untuk melakukan pengukuran di lingkungan komersial dan industri.

Perhitungan Daya Kerja Motor Induksi

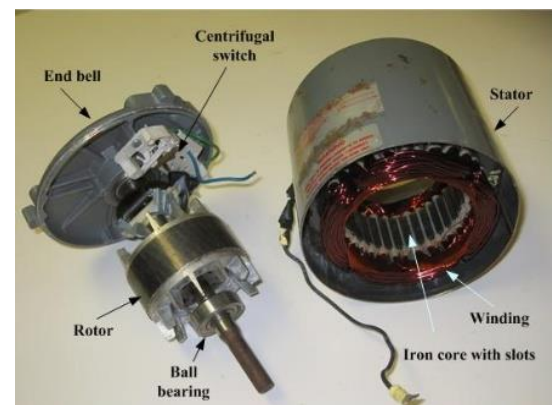
Fungsi motor induksi yang terdapat di dalam unit mesin pendingin central (*fan and pump*) adalah sebagai penggerak atau sebagai sumber energi listrik yang di rubah menjadi energi mekanik, bahwa motor listrik tersebut berfungsi guna melayani kehendak beban yang sesungguhnya, agar seluruh system dapat beroperasi sesuai kehendak. Di dalam perhitungan beban motor induksi

memungkinkan adanya perbedaan karakteristik beban pada motor yang akan menyebabkan kegagalan maupun kerusakan dalam proses kerja mesin (*fan and pump*). Transmisi sebagai pemindah daya energi yang di hasilkan pada motor induksi di teruskan melalui sambungan (*Couple, V-belt and V-belt Pulley*) dapat menimbulkan- beberapa perbedaan karakteristik putaran (*slip*). Beban penggerak dalam pemilihan Motor Induksi digunakan dalam suatu unit yang sangat diperlu diperhatikan adalah karakteristtik kecepatan putaran, selain itu pula tergantung dari keadaan pada saat start (*torque*), berhenti atau pengereman jika ada (*breaking unit*), akselerasi dan deseleraksi (*speed*), frekuensi (Hz), pemidah daya (*transmision*), perubahan putaran motor induksi (rpm) hal ini dapat di tentukan berdasarkan perhitungan dasar pada motor induksi.



Gambar-2. Motor Induksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Arus pada motor : (Ampere)

$$i_2 = \frac{sE_z}{Z_2} = \frac{sE_z}{\sqrt{[I_2]^2 + (S.X_2)^2}}$$

$$= \frac{E_z}{\sqrt{\left[\frac{r_z}{S}\right]^2 + (X_z)^2}}$$

Proses Kerja Motor Induksi pada Mesin Pendingin Central

Motor induksi yang terdapat pada mesin pendingin central tidak memiliki beban torsi yang besar (*normal duty*), dimana motor induksi hanya bekerja menggerakkan *fan* dan *pump* dengan media Air dan Udara secara linier. Inverter berperan dalam menjaga putaran motor saat *start* dan *stop* agar akselerasi-deselerasi dapat stabil tanpa mengalami lonjakan arus *inrush current* (5 – 8 kali). Proses kerja mesin pendingin central ini di aplikasikan dengan sistim pengendalian *multiple speed* agar dapat menyesuaikan konsumsi energi yang dikeluarkan *flow rate* dapat mencapai suhu yang dikehendaki secara konstan.

Pengujian

Pelaksanaan pengtesan dan percobaan dilakukan di lokasi Jakarta pada gedung perkantoran bertingkat, dengan pengtesan pada unit mesin pendingin central CHWP dan AHU (HVAC).

Tapping data Kondisi Pemakaian Energi Listrik

Aktifitas daya kerja motor induksi dapat di asumsikan dengan rata-rata 50/60Hz, dimana umumnya bahwa putaran motor induksi tersebut berkisar 50Hz, berdasarkan proses percobaan terhadap mesin pendingin central di sebuah gedung perkantoran yaitu:

- Lokasi : Mayapada Tower
- Percobaan: Aplikasi Inverter pada unit AHU (*fan*)
- Kapasitas : motor 2.2 kW / 380Volt
- Alat ukur :Hioki dan F-MPC (*portable measurment*)
- Inverter : 2.2 kW / 380 V / 3 phase

Kondisi Pemakaian Tanpa menggunakan Inverter

Proses pengambilan data berdasarkan alat ukur, tanpa menggunakan VSD Inverter di

dapat, dimana pengumpulan data konsumsi daya listrik dilakukan pada kondisi operasional normal, dengan menempatkan temperatur logger di 3 posisi (1 unit di *return duct*, 2 unit di *outlet ducting* terjauh), seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel-2. Pengecekan Daya Tanpa Inverter

DATE	TIME	Tegangan (V)				Arus Listrik (A)				Daya (P) (kW)			
		U-V	U-W	V-W	E_Ave	I_u	I_v	I_w	I_ave	P_u	P_v	P_w	P_ave
5/12/2011	1007:27	375.19	377.46	374.36	375.19	102.49	102.95	106.25	103.89	15.44	14.97	16.38	46.80
5/12/2011	1008:27	374.92	377.39	374.14	374.92	104.8	103.36	107.97	105.38	15.71	15.24	16.66	47.62
5/12/2011	1009:27	374.6	377.1	373.86	374.6	104.57	103.53	108.19	105.43	15.75	15.28	16.71	47.75
5/12/2011	1010:27	374.94	377.38	374.2	374.94	104.66	104.91	107.77	105.78	15.79	15.32	16.75	47.87
5/12/2011	1011:27	374.95	377.46	374.26	374.95	104.07	104.33	108.75	105.72	15.81	15.33	16.77	47.92
5/12/2011	1012:27	374.99	377.57	374.39	374.99	106.68	103.97	108.64	106.43	15.85	15.37	16.81	48.04
5/12/2011	1013:27	375.21	377.66	374.42	375.21	103.3	103.45	107.72	104.82	15.52	15.05	16.46	47.04

Kondisi Pemakaian Dengan Inverter

Data konsumsi daya listrik Air Handling Unit 1t.31 Tower 2 Plaza BII Jakarta. Saat trial, inverter di running pada frekuensi 40Hz ,dan temperatur ruang masih stabil. Dapat ditentukan dari berbagai faktor guna mencapai efektifitas daya kerja motor induksi seperti di terlihat pada Tabel 3.

Tabel-3. Pengecekan Daya Menggunakan Inverter

DATE	TIME	Tegangan (V)				Arus Listrik (A)				Daya (P)			
		U-V	U-W	V-W	E_ave	I_u	I_v	I_w	I_ave	P_u	P_v	P_w	P_ave (kW)
5/16/2011	10:07:27	375.94	378.21	375.11	376.42	66.55	72.5	75.89	71.65	9.75	10.97	11.61	32.34
5/16/2011	10:08:27	375.67	378.14	374.89	376.23	68.05	72.79	77.12	72.65	10.04	10.98	11.87	32.90
5/16/2011	10:09:27	375.35	377.85	374.61	375.94	67.9	72.91	77.28	72.69	10.04	11.023	11.92	32.99
5/16/2011	10:10:27	375.69	378.13	374.95	376.25	67.96	73.88	76.98	72.94	10.04	11.13	11.89	33.08
5/16/2011	10:11:27	375.7	378.21	375.01	376.31	67.58	73.47	77.68	72.91	10.01	11.09	12.01	33.12
5/16/2011	10:12:27	375.74	378.32	375.14	376.4	69.27	73.22	77.6	73.36	10.22	10.99	11.96	33.18
5/16/2011	10:13:27	375.96	378.41	375.17	376.52	67.08	72.85	76.94	72.29	9.80	10.90	11.79	32.50
5/16/2011	10:07:27	375.94	378.21	375.11	376.42	66.55	72.5	75.89	71.65	9.75	10.97	11.61	32.34

Perbedaan dalam hasil keluaran *output* daya konsumsi energi secara keseluruhan berdasarkan data yang di dapat dari alat ukur, dapat di lihat pada Tabel 4.

Tabel-4. Hasil Pengukuran Tanpa dan dengan VSD

Parameter	Data	Tanpa VSD	VSD	Effisiensi
Frekuensi (HZ)	50/60Hz	50	47	3
Voltage (V)	U-V	375.19	375.94	- 0.75
	U-W	377.46	378.91	- 1.45
	V-W	374.36	375.11	- 0.75
	E-ave	375.19	384.60	- 9.41
Amper (I)	I-U	102.49	66.55	35.94
	I-V	102.95	72.50	30.45
	I-W	106.25	75.89	30.36
	I-ave	103.89	71.65	32.24
Daya (P)	P-U	15.44	9.75	5.69
	P-V	14.97	10.79	4.18
	P-W	16.38	11.61	4.77
	P-ave (kW)	46.80	32.34	14.46

Berdasarkan data yang di dapat :
Effisiensi daya (kW)

$$= \frac{\text{Tanpa VSD} - \text{Dengan VSD}}{\text{Tanpa VSD}}$$

$$= \frac{46,80 - 32,34}{46,80} = 45 \% \text{ (saving)}$$

Hasil tanpa menggunakan VSD Inverter :

Total daya aktifitas per tahun, tanpa menggunakan VSD Inverter, adalah :

$$= \text{Konsumsi daya} \times \text{jam operasional} \times \text{total hari (per tahun)}$$

$$= 46.80 \text{ kW} \times 11 \text{ Jam} \times 312 \text{ hari (tahun)}$$

$$= 160,617 \text{ kW/tahun}$$

Total biaya (kwh/tahun) tanpa menggunakan Inverter, didapat sbb :

$$= 160,617 \text{ kwh/tahun} \times \text{Tarif dasar Listrik Rp. 850/kwh}$$

$$= \text{Rp. 136,524,450 kwh/tahun}$$

Hasil menggunakan VSD Inverter :

$$= \text{Konsumsi daya} \times \text{jam operasional} \times \text{total hari (per tahun)}$$

$$= 32.34 \text{ kw} \times 11 \text{ jam} \times 312 \text{ hari}$$

$$= 110,990.- \text{ kwh/tahun}$$

Total biaya (kwh/tahun) tanpa menggunakan Inverter, didapat sbb :

$$= \text{Rp. 110,990 kwh/tahun} \times \text{Tarif dasar Listrik Rp. 850/kwh}$$

$$= \text{Rp. 94,341,500.- kwh/tahun}$$

Total Effisiensi Biaya Energi Listrik pertahun sebagai berikut :

Maka di dapat penghematan biaya untuk penggunaan per tahun sebesar, sbb :

$$= [\text{tanpa menggunakan inverter}] - [\text{dengan menggunakan inverter}]$$

$$= \text{Rp. 136,524,450 kwh} - \text{Rp. 94,341,500 kWh}$$

$$= \text{Rp. 42,182,950.- Total /tahun}$$

Pengembalian Modal Investasi Menggunakan Inverter (ROI)

Biaya yang perlu di dikeluarkan untuk proses pengerjaan ini dapat di perhitungkan sebagai berikut :

Biaya Panel Inverter untuk kapasitas 2.2kW/380V

Kapasitas : 2.2kW / 380Volt

Harga Panel : Rp. 30,000,000.-

Jasa Instalasi : Rp. 1,500,000.-

Maka Pengembalian Biaya Modal Investasi dengan menggunakan Inverter bisa didapat, sbb :

$$\frac{1 \text{ Unit Panel Inverter} - \text{Total Biaya Listrik Pertahun}}{\text{Total Biaya Listrik Pertahun}}$$

$$= \frac{\text{Rp 31,500,000} - \text{Rp 42,182,950}}{\text{Rp 0,747 (tahun/12bulan)}}$$

$$= 8,96 \text{ bulan (kurang dari 1 tahun)}$$

- Putaran Motor Listrik besifat Variable (*speed*) dalam penggunaan motor listrik atau motor induksi ini tidak selalu bekerja pada kapasitas sesungguhnya, dimana penggunaan Damper sebagai instrument yang berfungsi memampatkan aliran *flow Air/Udara/Gas* terkadang harus di pampatkan, guna menyesuaikan kondisi yang dibutuhkan. Namun putaran motor listrik akan tetap bekerja pada putaran yang sama (100%-rpm). Maka energy listrik pada motor tersebut masih dapat di reduksi menggunakan Inverter, karena kondisi yang dibutuhkan bersifat *Variable*.
- Menggunakan Inverter/VSD pada saat di hidupkan : pergerakan putaran motor meningkat secara perlahan-stabil-konstan hingga mencapai pada titik putaran (*Rpm/Hz*) yang di harapkan, tidak ada

resiko *watter hummer*, tidak ada resiko arus balik atau akselerasi putaran rotor tetap normal.

- Torsi Motor Listrik pada Beban awal : pada umumnya motor listrik memiliki karakteristik yang berbeda yaitu $\cos-\mu$ (± 0.8) pada motor yang dapat membedakan hasil perhitungan *Amper/current* motor yang sesungguhnya. Hingga torsi motor listrik tersebut dapat berlainan, begitu pun dalam pemilihan Inverter dimana Aplikasi yang di gunakan untuk *Fan & Pump* seperti yang terdapat pada unit *Chiller & AHU (HVAC)*.
- Kebutuhan Daya Efektif Motor
Pencapaian reduksi energi berkisar antara 0% s/d 85% (Hz/Rpm), dengan perhitungan $\cos-\mu$ (± 0.8) yang tepat serta karakter jenis Motor Listrik yang baik, dengan kondisi kerja motor listrik seperti ini dapat memperpanjang usia motor listrik, karena beban motor tidak selalu bekerja pada putaran maksimal *full load* (100%-rpm).

4. SIMPULAN

Dimana penggunaan Inverter (VSD) yang mengendalikan Motor Induksi Tiga Fasa dengan kecepatan putaran yang dapat bervariasi *Variable*, maka dapat di simpulkan dalam hasil percobaan tersebut, diantaranya sebagai berikut :

- Dengan menggunakan Inverter/VSD, pemilihan Kapasitas Daya Motor bisa lebih Efektif & Efisien.
- Jika proses kerja Motor bisa di *Adjust* sesuai kebutuhan (Debit/Flow) suatu Energi, maka tidak akan ada Energi yang terbuang secara percuma.
- Beban kerja Motor selalu Maksimal 100% akan lebih cepat rusak, dibandingkan dengan Beban kerja Motor yang dapat di Reduce (95%; 90%; 85%).
- Formulasi Hemat Energi ini memberikan dampak Hemat Biaya, serta peduli terhadap Lingkungan.
- Pemanfaatan Inverter : Smooth, Soft Star, Adjustable (Variable Speed).
- Inverter / VSD tidak di rekomendasikan pada putaran motor Full Load (100%) dan tanpa berhenti (24 jam), karena tidak ada Saving.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE 1981, "*ASHRAE Handbook – 1981 Fundamental*" America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, Atlanta.
2. *Automation Industrial Magazin* "Maintenance of VSD System" May 2011 by Jeremy Ong.
3. PT. Duta Fuji Electric "*Trial and Test Saving Energy with VSD for HVAC or AHU*", project Mayapada and BII Tower.
4. Fuji Inverter, *Frenic Multi Series Multi Step Application for Fan and Pump*.
5. Arif Setiadi, Perencanaan Mesin Pendingin Pada Gedung Bertingkat Lantai 1, 2 dan 3, Jakarta 2007.
6. "Polytechnisch Zakboekje", Buku Politeknik Cetakan ke Sepuluh dalam Bahasa Indonesia, Bandung 1982.