

PENENTUAN KARAKTERISTIK MEKANIK MOTOR LISTRIK INDUKSI MENGGUNAKAN BEBAN DINAMOMETER HIDROLIK

Ella Sundari ¹⁾, Eka Satria Martomi²⁾, Tri Widagdo³⁾, Soengeng Witjahjo ⁴⁾

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139

e-mail:info@polsri .ac.id

RINGKASAN

Penelitian ini memiliki tujuan umum untuk mendapatkan metode untuk mengetahui karakteristik mekanik motor listrik induksi. Eksperimen dilakukan dengan memberikan beban kepada motor listrik uji menggunakan dynamometer yang bekerja secara hidrolis. Target khusus yang hendak dicapai melalui penelitian ini adalah panduan pengoperasian motor listrik induksi. Hal ini berguna bagi pengguna agar dapat mengoperasikan motor listrik secara efisien dan aman serta motor listrik memiliki usia pakai yang lebih lama. Metode penelitian yang dipergunakan adalah kaji Eksperimental dengan obyek pengujian satu unit motor listrik Induksi dengan daya 1 Hp menggunakan listrik AC 220 Volt. Pembebanan dipergunakan pompa hidrolis yang dilengkapi dengan katup pengatur beban. Instrumen yang akan dilibatkan antara lain: tachometer, indicator gaya serta lengan momen. Untuk menjamin stabilitas kerja obyek penelitian, maka pada lengan momen juga dilengkapi komponen peredam kejutan. Data-data yang dihasilkan adalah putaran poros serta momen torsi yang selanjutnya dipakai untuk menghitung daya mekanik obyek pengudalajian. Variasi data pengujian dilakukan dengan cara mengatur pembukaan katup pada dynamometer hidrolis. Data-data selanjutnya, secara statistik, dianalisis untuk mendapatkan kondisi kerja optimum dari obyek penelitian. Luaran penelitian antara lain artikel ilmiah yang akan dipublikasikan melalui jurnal nasional. Perangkat keras serta prosedur pengujian akan dijadikan modul ajar pada mata kuliah Mesin Konversi Energi untuk mahasiswa jurusan Teknik Mesin dan Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya. Dari data eksperimen, analisis statistik serta analisis kurva karakteristik diperoleh kesimpulan:

- Fungsi pendekatan polinomial derajat 2 : $Y = 0,000121 X^2 + 0,183 X + 0,582$

- Koefisien Regresi, $R^2 = 0,983$

Dengan metode turunan pertama diperoleh :

- Daya Mekanik Optimum, $P_{m, opt} = 756$ Watt dan

- Efisiensi maksimum, $\eta_{maks} = 69,8$ %

Dengan interpolasi antar data-data diperoleh :

- Putaran Optimum motor listrik, $n_{opt} = 2791$ rpm

- Arus optimum motor listrik, $I_{opt} = 5,6$ Ampere

Kata Kunci: Dynamometer, Energi, efisiensi

1. PENDAHULUAN

Motor listrik adalah salah satu jenis mesin konversi yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Penggunaannya sangat luas, baik untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan dunia industri. Dibandingkan dengan mesin pembangkit energi mekanik yang lain, motor listrik memiliki beberapa kelebihan, antara lain kemudahan dalam pengoperasian serta perawatan dan perbaikan. Di dunia industri, penggunaan motor listrik menjadi andalan karena dapat bekerja dalam waktu yang lama dan dapat dilakukan perawatan walaupun masih dalam keadaan beroperasi (*running maintenance*). Untuk keperluan rumah tangga motor listrik diminati karena penggunaannya yang praktis dan tersedia sebagai kapasitas.

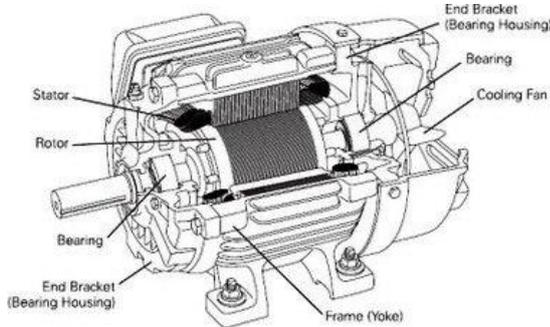


Gambar 1. Klasifikasi motor listrik (Zuhail, 2012)

Jika dibandingkan dengan pembangkit daya yang lain seperti motor bensin dan motor Diesel, maka motor listrik memiliki kelemahan dari segi efisiensi. Pada penelitian ini penulis menitik beratkan pada penggunaan motor listrik untuk keperluan rumah tangga yang menggunakan tenaga listrik dari PLN. Hal ini penulis anggap penting mengingat pengoperasian mesin-mesin rumah tangga yang melibatkan motor listrik, biasanya dilakukan oleh para ibu yang nota bene masih awam akan ambang batas "aman"

sedemikian rupa sehingga motor listrik dapat beroperasi secara aman serta hemat dalam pemakaian tenaga listrik. Jenis-jenis motor listrik yang akan menjadi obyek penelitian adalah motor listrik yang umum dan dapat dijumpai sehari-hari, antara lain:

- Motor listrik sinkron AC 220 Volt
- Motor listrik Induksi . AC 220 Volt
- Motor DC *Separately excited*



Gambar 2. Konstruksi motor listrik Induksi (Zuhal, 2012)

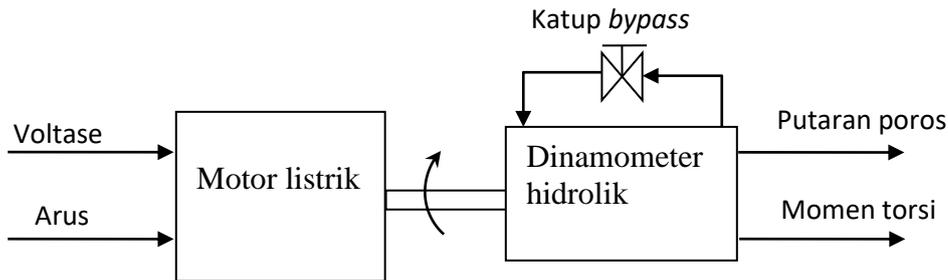
1.1 Perumusan Masalah

Permasalahan yang berkaitan dengan pengoperasian motor listrik untuk keperluan rumah tangga, berdasarkan hasil pengamatan yang penulis lakukan selama ini antara lain: Motor listrik cepat rusak, beroperasi pada suhu tinggi ataupun boros dalam pemakaian energy listrik. Hal ini bersumber, tidak lain, karena motor listrik

tersebut beroperasi di luar karakteristik mekanik yang seharusnya. Karakteristik mekanik yang dimaksud di sini adalah variable-variabel: putaran poros, momem torsi serta daya yang dihasilkan oleh motor listrik. Lingkup penelitian yang akan penulis lakukan adalah melkukan pengujian pembebanan untuk tiga jenis motor listrik menggunakan dinamometer yang bekerja secara hidrolik. Dinamometer akan dibuat dengan dengan rentang daya pengukuran 0,125 kWatt s/d 10 kWatt. Menggunakan pompa hidrolik sebagai subyek pembebanan serta dilengkapi dengan instrument pengukuraqn gaya pengereman yang bekerja secara digital. Untuk menjamin akurasi data pengukuran, maka pada pompa hidrolik dilengkapi dengan *sock absorber* yang bekarja secara pneumatic.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi mekanik yang dihasilkan oleh motor listrik dapat diukur dengan beberapa metode, antara lain metode pembebanan listrik (Zuhal, 2010), *prony brake dynamometer* (Kent's, 2001) dan lain-lain. Pada penelitian ini akan diterap-kembangkan suatu metode pembebanan hidrolik. yang mengacu pada pemanfaatan variasi energi potensial yang dihasilkan oleh satu unit pompa hidrolik. Variasi head (tekanan) pompa dilakukan dengan cara mengatur pembukaan katup *bypass* yang menghubungkan pipa *discharge* dan pipa *suction*.



Gambar 3. Skema pengukuran daya motor listrik yang diusulkan

Energi listrik yang dikonsumsi oleh motor listrik dihitung menggunakan rumus (Zuhal, 2010)

$$E_l = V \cdot I, \text{ Watt} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, V= voltase (tegangan listrik), volt
I = Arus (intensitas), Ampere

Energi mekanik yang dihasilkan oleh Dinamometer hidrolik dihitung menggunakan rumus (Kent's, 2001),

$$E_m = T \cdot \omega, \text{ Watt} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana, T : momen torsi, N-m = F.R
F: Gaya pengereman, N
R: Jari-jari penegereman, m

ω : kecepatan sudut poros dynamometer, rad/sec

Karena pengukuran putaran poros dynamometer menggunakan *tachometer*, maka kecepatan sudut poros dynamometer dihitung menggunakan rumus(Kent's 2001)

$$\omega = \frac{\pi \cdot N}{30}, \text{ rad/sec} \dots\dots\dots (3)$$

Efisiensi konversi energi listrik-mekanik dihitung menggunakan rumus (Pangaribuan J, 2015)

$$\eta = \frac{E_m}{E_l} \times 100 \% \dots\dots\dots(4)$$

Karakteristik mekani motor listrik uji ditentukan oleh variabel-variabel:

- Tegangan listrik yang disuplai ke motor listrik (Volt)
- Pemakaian Arus listrik ke motor listrik(Ampere)
- Pembacaan gaya pada *force gage* (Newton)
- Putaran poros motor listrik (rpm)

Motor listrik yang akan dijadikan obyek penelitian terdiri dari:

1. Motor listrik sinkron AC 220 Volt
2. Motor listrik Induksi . AC 220 Volt
3. Motor DC *Separately excited*

Rentang data pengujian disesuaikan dengan data-data teknis (*name plate*) yang dimiliki oleh masing motor listrik uji. Pembebanan terhadap obyek dilakukan oleh 1 unit dynamometer hidrolis yang berfungsi sebagai pengerem (*brake*). Kekuatan pengereman bergantung pada besar kecilnya pembukaan katup *bypass* yang menghubungkan pipa *suction* dan pipa *discharge*.

Eksperimen dilakukan untuk mengetahui karakteristik obyek penelitian pada berbagai variabel. Eksperimen bersifat *destructive*, yaitu dengan memberikan pembebanan sekitar 10 % (Febrian S, 2011) di atas kapasitas maksimum obyek pengujian.

3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan metode sederhana dalam menentukan karakteristik sebuah motor listrik induksi dengan daya nominal 1 Hp 1 fasa menggunakan sumber tegangan listrik AC 220 Volt. Pembebanan terhadap obyek pengujian dilakukan dengan menggunakan pompa hidrolis. Tinggi rendahnya pembebanan diatur menggunakan Katup kendali yang ditempatkan antara *suction* dan *discharge* pompa. Untuk selanjutnya metode ini dapat dikembangkan dalam menentukan karakteristik mesin-mesin penghasil daya dengan jenis dan ukuran yang berbeda. Penelitian dimulai dengan melakukan rancang bangun perangkat pengujian. Untuk memudahkan dalam pengambilan data, maka perangkat pengujian dilengkapi dengan instrumen s, sistem kendali serta sistem keamanan yang memadai. Metode pembebanan yang dilakukan adalah melalui pengereman menggunakan dynamometer sistem hidrolis. Variabel-variabel penelitian yang akan diamati antara lain: gaya pengereman, arus listrik serta putaran poros motor listrik. Jumlah data yang akan di ambil sebanyak 5 kelompok data. Data-data tersebut selanjutnya, secara statistik, dianalisis untuk mengetahui korelasinya.

3.2 Manfaat Penelitian

Data-data hasil penelitian bermanfaat bagi konsumen yang menggubakan motor listrik induksi dengan daya nominal 1 Hp. Data-data tersebut meliputi putaran optimum, arus optimum, daya maksimum serta efisiensi maksimum.

Hasil penelitian yang akan dipublikasikan akan memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan, yaitu yang berkaitan dengan penentuan karakteristik motor listrik secara mekanik. Perangkat keras serta SOP pengoperasian dynamometer akan dijadikan salah satu Job pada kegiatan praktikum mahasiswa, khususnya Jurusan Teknik Mesin untuk mata kuliah Mesin Konversi Energi.

4. METODE PENELITIAN

4.1 Prosedur Penelitian

Penelitian dipusatkan di laboratorium M&R Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya dengan melibatkan tiga orang staf pengajar dan tiga orang mahasiswa. Adapun tahapan kegiatan penelitian ini penulis uraikan sebagai berikut:

- 4.1.1 Kajian Akademik. Kegiatan ini bertujuan untuk mendukung rancang bangun mesin sebagai subyek penelitian. Teori dan rumus-rumus yang akan digunakan diperoleh dari buku teks, sedangkan data-data pendukung akan diperoleh dari artikel jurnal ilmiah serta penelusuran melalui beberapa *website* internet.
- 4.1.2 Observasi Lapangan. Bertujuan untuk mendapatkan data-data yang berkaitan dengan animo masyarakat akan penggunaan sepeda sebagai sarana transportasi jarak pendek yang murah dan praktis. Kegiatan ini dilakukan dengan sistem angket yang diberikan kepada beberapa responden. Hasilnya diperoleh kesimpulan bahwa sebagian besar masyarakat masih bersedia menggunakan sepeda sebagai alat transportasi. Selain itu juga dilakukan pendataan terhadap beberapa peralatan serta mesin yang akan dipakai sebagai sarana pendukung penelitian.
- 4.1.3 Diskusi tim pelaksana penelitian. Kegiatan ini dimulai dengan:
 - Pembuatan sketsa mesin. Hal-hal yang menjadi pertimbangan antara lain: kemudahan dalam pengoperasian, perawatan dan perbaikan jika terjadi kerusakan. Selain itu juga kemudahan dalam pembacaan instrumen pada saat pengambilan data eksperimen.
 - Menentukan langkah kegiatan. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang maksimal agar tidak terjadi pemborosan waktu dan biaya penelitian.

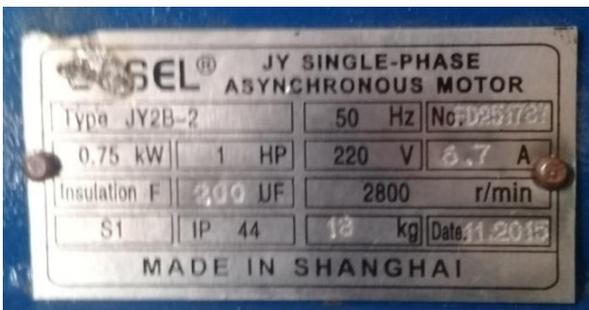
- Pembagian tugas anggota pelaksana penelitian. Bertujuan untuk memberikan beban tugas kepada semua anggota penelitian yang sesuai dengan kompetensi yang dimiliki. Hal ini berlaku bagi staf pengajar maupun mahasiswa yang terlibat.
 - Pengadaan Instrumen penelitian dan material penelitian. Bertujuan untuk memperoleh material dan instrumen penelitian yang sesuai dengan sketsa mesin yang telah dibuat.
- 4.1.4 Rancang bangun Dinamometer Hidrolik. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan perangkat keras penelitian yang sesuai dengan sketsa yang telah ditetapkan sebelumnya. Kegiatan meliputi pembuatan rangka, pemasangan instrument serta pengujian awal (*commissioning*). Pada pengujian awal, pembebanan terhadap obyek pengujian (motor listrik) akan diberikan beban maksimum, selanjutnya akan dilihat respon dinamometer. Jika terjadi kerusakan akan dilakukan perbaikan seperlunya. Jika kondisi sudah memungkinkan dilanjutkan dengan pengambilan data eksperimen.
- 4.1.5 Analisis data eksperimen. Bertujuan untuk mendapatkan data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Kegiatannya meliputi:
- Uji statistik data. Setiap perlakuan akan diambil sebanyak lima sampel data. Kelima data akan dilakukan uji statistik menggunakan metode *chi-square* untuk mengetahui keseragaman dengan tingkat kepercayaan (*confidence level 95 %*). Setiap obyek pengujian akan diambil sebanyak 10 populasi, selanjutnya ke 10 data akan diuji sebarannya menggunakan uji *t-student*. Jika data-data sudah valid, maka akan diambil nilai rata-ratanya menggunakan metode rata-rata statistik *Mean co variant*. Dengan pertimbangan segi kemudahan pada pembacaan instrument, maka variabel pengubah yang nilainya ditetapkan adalah gaya pengereman.
 - Pembuatan kurva (grafik) . Kegiatan ini bertujuan untuk melihat kecenderungan (*trend line*) untuk data-data diluar dari yang sudah ditetapkan. Kurva akan dibuat menggunakan program computer Excel dengan metode *curve fitting*. Kegiatan pembuatan kurva, dengan metode turunan pertam, juga bertujuan untuk mengetahui optimalisasi kinerja obyek penelitian.
- Pembuktian Hipotesa. Bertujuan untuk mengetahui kebenaran antara anggapan sementara yang diperoleh secara teoritik dengan data-data hasil eksperimen.
 - Kesimpulan.tujuan untuk mengetahui korelasi antara variable-variabel yang ditetapkan serta dihasilkan dari eksperimen.
- 4.1.6 Luaran Penelitian, terdiri dari:
- perangkat keras 'Dinamometer Hidrolik' yang dapat dijadikan sebagai modul ajar mata kuliah Praktek Mesin Konversi Energi di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.
 - Artikel ilmiah yang akan dipublikasikan melalui jurnal Nasional maupun local.
 - Hak Kekayaan Intelektual (HKI) yang akan diusulkan pada institusi yang kompeten dengan seperti Uber-Haki maupun yang lain.
- ## 4.2 Pengambilan data Eksperimen
- Kegiatan dimulai dengan kalibrasi inastrumen (alat ukur) yang akan dipakai pada pengujian. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan data pengukuran yang akurat. Selain dari pada itu juga untuk mendapatkan ordo pengukuran yang sesuai dengan variable yang akan diukur. Instrumen yang akan dilibatkan pada penelitian ini antara lain:
- 4.2.1 Amper meter, berfungsi untuk mengukur arus listrik yang dipakai oleh motor listrik
- 4.2.2 Volt meter, berfungsi untuk mengukur tegangan jatuh yang terjadi pada motor listrik ketika motor bekerja.
- 4.2.3 Tachometer, berfungsi untuk mengukur putaran poros motor listrik.
- 4.2.4 *Forece gage*, berfungsi untuk mengukur gaya pegereman.
- 4.2.5 *Dial indicator*, berfungsi untuk mengetahui penyimpangan gerakan poros motor listrik.
- Setelah rancang bangun perangkat keras selesai, dilanjutkan dengan pengujian awal (*comissioning*) dengan tujuan untuk melihat respon obyek penelitian (dinamometr hidrolik) terhadap perlakuan yang diberikan. Ketika respon menunjukkan kecenderungan membaik maka dilanjutkan dengan pengujian.
- Secara garis besar prosedur Eksperimen adalah sebagai berikut:
- Kopling yang menghubungkan poros motor listrik dan poros dinamometer dilepaskan, kemudian motor listrik dihidupkan tanpa beban. Data-data pengujian yang diamati dan dicatat adalah: putaran poros, arus listrik, tegangan listrik serta respon motor listrik. Setelah selesai lalu motor listrik dimatikan.

- Kopling yang menghubungkan poros motor listrik dan poros dinamometer diaktifkan. Katup pengatur pada dynamometer dibuka penuh. Jika semua sudah siap maka motor listrik dihidupkan. Data-data pengujian yang diamati dan dicatat adalah: Gaya pegereman, putaran poros, arus listrik, tegangan listrik serta respon motor listrik. Setelah selesai lalu motor listrik dimatikan..
- Pemeriksaan getaran mesin menggunakan *dial indicator*. Jika terjadi penyimpangan akan dilakukan pembetulan seperlunya.
- Kegiatan 2 sampai dengan 4 dilakukan selanjutnya untuk 4 jenis gaya penegereman yang lebih besar, dengan cara menutup katup pengatur pada pompa hidrolik..

5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Motor listrik yang menjadi obyek penelitian ini adalah motor listrik induksi dengan daya nominal 1Hp (0,75 kW). Sebelum dilakukan eksperimen, motor listrik diperiksa kondisinya, sedemikian hingga segala kendala yang akan terjadi dapat diantisipasi.



Gambar 4. Name plate Obyek Penelitian

Semua instrument dan alat kendali serta sistem keamanan diletakan pda perangkat

Tabel 1. Data Pengujian

No	Gaya pengereman, F, Newton	Putaran poros, N, rpm	Arus listrik, I, ampere	Tegangan listrik, V, Volt	Respon Motor listrik
1	0	2956	2,5	220	Baik
2	7,5	2879	3,1	220	Baik
3	14,6	2862	3,9	220	Baik
4	22,9	2733	6,9	220	Getaran tinggi
5	32,3	2615	13,6	220	Over load, Overheated

Selanjutnya menggunakan formula (1), (2) dan (3) data tersebut direkapitulasi guna pembuatan kurva sebagai mana tertera pad table berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi data pengujian

No	Daya mekanik, Watt	Daya Listrik, Watt	Efisisensi, %
1	0	550	0

eksperimen, keccuali tachometer yang bekerja secara *remote sensing* menggunakan sinar ifra merah.



Gambar 5. Tachometer

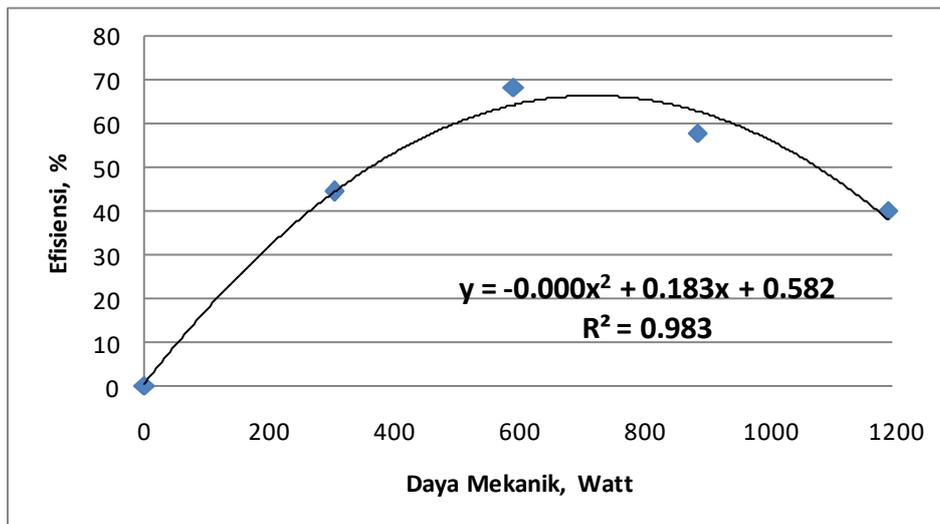
Untuk menjamin ketepatan pembacaan data, maka sebelum pengujian semua instrument yang dilibatkan dikalibrasi dan disesuaikan dengan ordo dimana data-data diprediksi akan tersebar. Perangkat uji dilengkapi dengan *sock absorber* yang bekerja secara pneumatik yang bertujuan untuk meredam fluktuasi pembacaan data, khususnya putaran poros.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium M & R Jurusan teknik Mesin Polstri, Melibatkan seluruh anggota tim penelitian serta dibantu oleh 3 orang mahasiswa. Setiap perlakuan terhadap obyek pengujian diambil sebanyak 10 data. Selanjutnya, secara statistic dengan metode *Chi-square* kesepuluh data diperiksa homogenitasnya dengan *confidence level* 95 %. Setelah kelompok data memenuhi syarat, maka dihitung nilai reratanya menggunakan teknik *Root mean square*. Jika uji ststistik gagal maka akan dilakukan pemeriksaan, baik terhadap obyek pengujian maupun instrument/ alat ukur yang dioergunakan..Matriks berikut menampilkan kelompok data yang sudah diperiksa secara ststistik dan memenuhi syarat untuk dianalisis sebagaimana yang direnanakan sebelumnya.

2	305	685,8	44,5
3	592	865,5	68,4
4	887	1526,7	58,1
5	1192	2986	40,2

Dengan program computer Excel data-data diatas dapat dibuat kurva karakteristik 2 dimensi .

Fungsi kecenderungan (*trend function*) yang dipakai adalah polynomial ordo 2



Gambar 6. Kurva karakteristik obyek penelitian dengan variabel Daya mekanik - Efisiensi

Diperoleh fungsi kecenderungan :
 $Y = 0,000121 X^2 + 0,183 X + 0,582$

Koefisien Regresi

$R^2 = 0,983$

Dengan metode turunan pertama diperoleh Daya Mekanik Optimum, $P_{m, opt} = 756$ Watt

Efisiensi maksimum, $\eta_{maks} = 69,8 \%$

Dengan interpolasi antara data-data pada table 1 dan table 2 diperoleh :

Putaran Optimum motor listrik,

$n_{opt} = 2791$ rpm

Arus optimum yang ke motor listrik,

$I_{opt m} = 5,6$ Ampere

6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengoperasian, pengambilan data eksperimen serta analisis statistic dapat disimpulkan antara lain:

- 6.1.1 Pembebanan menggunakan sistem hidrolik memberikan hasil yang maksimal, karena fluktuasi data sangat kecil.
- 6.1.2 Perangkat pengkat pengujian dapat dipergunakan untuk menentukan karakteristik pada mesin pembangkit daya yang lain.
- 6.1.3 Terdapat sedikit penyimpangan antara data hasil pengujian terhadap data yang ada pada *neme plate* yang tertera pada obyek pengujian. Hal ini bersumber dari kondisi pengujian yang fluktuatif.
- 6.1.4 Data-data motor listrik induksi dapat dijadikan referensi untuk pengguna motor listrik induksi 220 Volt, 1 phase, 1 Hp agar

mesin dapat beroperasi secara efisien serta memiliki usia pakai yang lama.

6.2 Saran

Kepada para pembaca yang berminat untuk menggunakan paket teknologi yang penulis kembangkan:

Penyambungan kedua poros harus betul-betul *insetric* dengan toleransi lateral maksimum 0,01 mm dan toleransi sudut maksimum 2^0

- 6.2.1 Pengujian dimulai dari beban paling rendah (pembukaan katup maksimum)
- 6.2.2 Pembawaan gaya peneraman maksimum 300 Newton hal ini penting untuk menghindari *over pressure* pada pompa hidrolik.
- 6.2.3 Pilih fungsi pendekatan dengan nilai koefisien regresi, R^2 terbesar (mendekati angka 1)

DAFTAR PUSTAKA

1. Beer F P, Johnston ER Jr dan Dewolf JT (2006), *Mechanics of Materials*, Four edition in SI Units, Mc Graw Hill Higher Education, Singapore.
2. Bose, Bimal K. (2006). *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*. Academic Press. ISBN 978-0-12-088405-6
3. Kent's (2011), *Mechanical Engineering Handbook*, Power Volume, 4th edition, Toppan Company, Tokyo
4. Martyr, A.; Plint, M. (2007). *Engine Testing - Theory and Practice (Fourth ed.)*. Oxford, UK: ELSEVIER. ISBN 978-0-08-096949-7.
5. Rosenblatt (2003), Jack; Friedman, M. Harold, *Direct and Alternating Current Machinery*, 2nd ed., McGraw-Hill.
6. Sailon dan Widagdo T(2002), *Dinamometer Mekanik dengan Pengatur Putaran Governoor Sentrifugal*, Laporan penelitian Dosen Muda DP2M.
7. Winther, J. B. (2013). *Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications*. Cleveland, Ohio: Eaton Corporation.
8. Zuhal, T dan Amran S(2012), *Dasar-dasar Tenaga Listrik, Teori dan Aplikasi*, Edisi 4, Penerbit ITB, Bandung
9.ESDM (2011), 'Data Statistik Konsumsi Energi Listrik di Indonesia, kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia

LAMPIRAN: Foto dokumentasi Perangkat Penelitian

