

**RANCANG BANGUN KOPLING SENTRIFUGAL PADA
TURBIN ANGIN PEMBANGKIT LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh:

AHMAD ROSYADA FAJRIN

NIM. 12640027



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

**RANCANG BANGUN KOPLING SENTRIFUGAL PADA
TURBIN ANGIN PEMBANGKIT LISTRIK**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**AHMAD ROSYADA FAJRIN
NIM. 12640027**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN *KOPLING SENTRIFUGAL* PADA
TURBIN ANGIN PEMBANGKIT LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh:

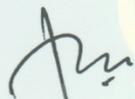
Ahmad Rosyada Fajrin

NIM. 12640027

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada Tanggal: 03 Oktober 2017

Pembimbing I

Pembimbing II



Farid Samsu Hananto, M.T

NIP. 19740513 200312 1 001



Umaiatus Syarifah, MA

NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M. Si

NIP. 19650504 199003 1 003

...

HALAMAN PENGESAHAN

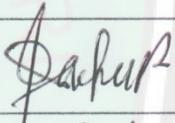
RANCANG BANGUN *KOPLING SENTRIFUGAL* PADA TURBIN ANGIN PEMBANGKIT LISTRIK

SKRIPSI

Oleh:

Ahmad Rosyada Fajrin
NIM. 12640027

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 20 Oktober 2017

Penguji Utama:	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	
Ketua Penguji:	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIDT. 19860325 20160801 2 074	
Sekretaris Penguji:	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji:	<u>Umayyatus Syarifah, MA</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Rosyada Fajrin
NIM : 12640027
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Rancang Bangun *Kopling Sentrifugal* Pada Turbin Angin
Pembangkit Listrik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang telah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 5 September 2017

Yang membuat pernyataan,




Ahmad Rosyada Fajrin
NIM. 12640027

MOTTO

"sekecil apapun kebaikan, lebih indah dari harta sedunia "



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:
Mamak, Bapak, Abah dan Keluargaku Tercinta yang telah memberikan segalanya.

Sahabat Fisika, Sahabat Galileo, Sahabat Phygal, Doelor mojkerto, rencang komunitas underwater dan photographer. Sahabat instrumen , terimakasih untuk canda tawa dan setia kalian untukku.

Dosen pak farid, bu umayyah, Pak abthoki, Mbak nia, pak irjan, bu muthmainna, terimakasih untuk ilmu yang telah diberikan.Mak wulan.Mak aziza. Dek patim. Dek jiji. Om vio. Om sevi. Pakde azhar. Kerabat doelor sedanten ingkan mbantu sedanten penguripan kulo.

“Dan untuk semuanya, terimakasih sudah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas support, canda tawanya, semangatnya dan terpenting trimakasih atas do'a-doa'anya”

“Terimakasih”



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah kami ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan taufiq serta hidayahNya kepada kita semua. Shalawat serta salam semoga senantiasa tetap tercurah limpahkan kepada nabi besar Muhammad SAW. Dengan ikhlas menuntun kita semua dari alam yang gelap gulita menuju alam yang yang terang benderang yakni dengan adanya al-Qur'an dan al-Hadist. Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Rancang Bangun *Kopling Sentrifugal* Pada Turbin Angin Pembangkit Listrik**" Penulis mengucapkan terimakasih seiring doa dan harapan jazakumullah ahsana Ijaza kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan skripsi.
4. Farid Samsu Hananto M.T selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan dan pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Umaiatus Syarifah, MA selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi sains dan al-Quran.
6. Segenap dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
7. Muhammad Alfanzuhri yang telah membantu dalam proses pembuatan alat penelitian pada skripsi ini.

8. Bapak Rahmat selaku laboran yang telah membantu melancarkan penyelesaian penelitian ini dan memberikan pelayanan yang baik selama penelitian berlangsung.
9. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan secara moril dan material, restu dan selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
10. Sahabat Fisika dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Teman teman yang telah membantu dan mensupport dalam pembuatan alat skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dalam segala hal. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua, terutama bagi perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya. Kritik dan saran yang membangun mengenai skripsi ini sangat diharapkan agar menjadi pembelajaran bersama yang dapat disampaikan melalui email rosyadafajrin31@gmail.com.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 3 Oktober 2017



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Angin	5
2.1.1 Angin Dalam Perspektif al-Qur'an	5
2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Angin	7
2.1.3 Konversi Energi Angin	8
2.2 Turbin Angin	9
2.2.1 Sejarah Perkembangan Turbin Angin	9
2.2.2 Jenis Turbin Angin	13
2.2.3 Efisiensi Turbin Angin	14
2.3 Kopling Sentrifugal	16
2.3.1 Kopling	16
2.3.2 Kopling Otomatis Sentrifugal	18
2.3.3 Sistem Transmisi Otomatis	20
2.3.4 Cara Kerja Transmisi Otomatis	25
2.3.5 Gaya Sentrifugal	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2.1 Alat dan Bahan Pembuat Kopling Sentrifugal	31
3.2.2 Alat dan Bahan Pembaca Kecepatan Putar (rpm)	32
3.4 Desain Penelitian	33
3.5 Langkah Percobaan	33
3.6 Teknik Pengumpulan Data	34
3.6.1 Pengukuran kecepatan Rpm dan Torsi Kopling sentrifugal	34
3.6.2 Perhitungan Torsi dan daya kincir angin	34
3.6.3 Tabel data Hasil Pengujian	35

3.7 Rancangan Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	37
4.1.1 Pembuatan Alat	37
4.1.2 Unjuk Kerja Kopling Sentrifugal	40
4.1.3 Analisis Data dan Perhitungan	41
4.2 Pembahasan	52
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan kecepatan angin terhadap ketinggian tertentu.....	10
Gambar 2.2	Variasi Tip Speed Ratio Dan Koefisien Daya Pada Berbagai Jenis Turbin Angin	18
Gambar 2.3	Clutch Carrier	20
Gambar 2.4	Cara Kerja Kopling Sentrifugal	21
Gambar 2.5	Clutch Outer	22
Gambar 2.6	Konstruksi Komponen Puli Primer.....	23
Gambar 2.7	Konstruksi Komponen Puli Skunder	24
Gambar 2.8	Cara Kerja Torsi Cam.....	26
Gambar 2.9	Cara Kerja CVT	27
Gambar 2.9	Roller CVT pada Movable Drive Face.....	29
Gambar 2.11	Cara kerja Roller CVT.....	30
Gambar 2.12	Ilustrasi Gaya Sentrifugal	32
Gambar 3.1	Desain Penelitian	35
Gambar 3.2	Rancangan Penelitian	38
Gambar 4.1	Kopling Sentrifugal	40
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Antara Beban dan Torsi.....	45
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Antara Beban dan Putaran Angin	46
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Daya dan Torsi.....	47
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Beban dan Torsi.....	48
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Beban dan Putaran Angin	48
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Antara Torsi dan Daya.....	49
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Antara Beban dan Torsi.....	50
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Antara Beban dan Putaran Angin	51
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Antara Torsi dan Daya.....	52
Gambar 4.11	Grafik Hubungan kontak putar dengan beban terhadap tipe rpm pegas.....	53
Gambar 4.12	Grafik perbandingan kontak putar dengan beban terhadap antara tipe pegas 1500rpm dengan 800rpm.....	54
Gambar 4.13	Grafik perbandingan kontak putar pegas tipe 1500 pada kamps standar dengan kamps -10%	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Hasil Pengujian Kopling Sentrifugal	37
Tabel 4.1	Material Kopling sentrifugal	41
Tabel 4.2	Material sensor	42
Tabel 4.3	Menggunakan Pegas 800 Rpm dan Kampas original	44
Tabel 4.4	Pegas variasi 1500	47
Tabel 4.5	Pegas modif + 10% kampas lebih ringan.....	50
Tabel 4.6	Perbandingan Kecepatan Putar Awal dengan variasi beban menggunakan Pegas 800rpm, 1500rpm dan kampas -10% dengan pegas 1500	52



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar Kampas kopling sentrifugal
- Lampiran 2 Gambar Inputan dan Sabuk Pemberat kopling sentrifugal
- Lampiran 3 Gambar cangkang dan penyangga kopling sentrifugal
- Lampiran 4 Gambar 1 set kopling dan pemberat
- Lampiran 5 Gambar sesor rpm



ABSTRAK

Rosyada, Ahmad Fajrin. 2017. **Rancang Bangun *Kopling Sentrifugal* Untuk Turbin Angin Pembangkit Listrik**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I): Farid Samsu Hananto M. T.; Pembimbing (II): Umayyatus Syarifah, MA

Kata Kunci: Rancang Bangun *Kopling Sentrifugal* Untuk Turbin Angin Pembangkit Listrik.

Kopling sentrifugal merupakan suatu alat yang memanfaatkan gaya sentrifugal sebagai pemutus antar poros input dan output pada suatu mesin motor matic. Sedangkan pemanfaatan kopling sentrifugal pada turbin angin dan cara menempatkannya diantara baling-baling dan generator sebagai pemutus putaran saat baling-baling mencapai kecepatan yang tertentu, sehingga memindahkan daya putar kepada poros generator bisa disebut sebagai rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua). Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik kopling sentrifugal, pengaruh perbandingan beban bandul dan pegas pada proses terjadinya rpm kontak. Kopling sentrifugal motor mio memiliki pegas standar 800 Rpm dan modif 1500 Rpm yang memiliki kecepatan perpindahan putaran yang berbeda. Pegas standar memiliki kecepatan awal gesekan ke cangkang kopling besarnya 186 rpm, beban 0 dan 387 rpm, beban 250 sedangkan pada pegas 1500 Rpm beban 0 sebesar 279 rpm dan beban 250 rpm didapat 387 rpm. Tetapi berbanding terbalik jika beban torsi besar maka kecepatan perpindahan putaran lebih cepat dibanding pegas standart dan daya yang didapat juga lebih besar seperti persamaan $P=Q*2\pi n/60$ karena daya dipegaruhi oleh torsi(beban), kecepatan peralihan pada awal perputaran juga dipengaruhi oleh beban bandul(kampas) yang digunakan, seperti pengujian kampas -10% lebih ringan didapat penurunan sebesar 306 rpm dari kecepatan kampas standar dengan pegas 1500 Rpm.

ABSTRACT

Rosyada, Ahmad Fajrin. 2017. **The Design of Centrifugal Clutch for Electric Wind Turbine. Thesis.** Department of Physics, Faculty of Science and Technology, the of State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor (I): Farid Samsu Hananto M. T .; Advisor (II): Umaiyatus Syarifah, MA

Keywords: The Design of Centrifugal Clutch for electric wind turbine.

The centrifugal clutch is a device that utilizes centrifugal force as a breaker between input and output shafts on an automatic motor machine, the use of a wind turbine is a new research that places a centrifugal clutch between the propeller and the generator as a propeller spin-off reaching a certain speed so moving the rotary power to the generator shaft, it can be called the contact rpm (first axis speed to start the second axis). The research aimed at determining the characteristics of centrifugal clutch, the influence of load of pendulum and spring on the process of contact rpm. The centrifugal clutch of the Mio motor has a standard spring of 800 Rpm and modification of 1500 rpm which had a different rotation speed, the standard spring that had speed of first friction to the clutch shell was faster 186 rpm, loads of 0 and 387 rpm, 250 loads, at 1500 rpm load 0 of 279 rpm and 250 loads were obtained 387 rpm, but it was inversely proportional to the large torque load then the speed of the rotation was faster than the standard spring, and the power was greater as in the equation $P=Q*2\pi n/60$ because the power was influenced by torque (load), the transition speed at the beginning of the rotation was also influenced by the load of pendulum, spring testing -10% was lighter, it was decreased by 306 rpm from standard spring speed with spring of 1500 Rpm

ملخص البحث

أحمد رشادا فجر. ٢٠١٧. تصميم القابض النابذة لتوربينات الرياح الكهربائية. البحث الجامعي. شعبة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا في جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف: فريد شمس هنانتو، الماجستير، وأمينة الشريفة، الماجستير

الكلمات المضاعفة: تصميم القابض النابذة لتوربينات الرياح الكهربائية.

القابض النابذة هو الأداة التي تستخدم قوة النابذة كما القاطع بين رمح المدخلات والمخرجات في محرك الجواله الاوتوميكية. و استخدام توربينات الرياح هو البحث الجديد الذي يضع القابض النابذة بين ريشة مع الكسارة الكسارة الجواله المروحة حتى تصل إلى سرعات معينة حتى نقل قوة دوار إلى المولد الرمح الذي يسمى rpm (سرعة المحور الاولي لبدء اللعب المحور الثاني). يهدف هذا البحث إلى التعرف على خصائص القابض النابذة ، وتأثير مقارنة تحميل البندول والريبع في عملية دورة في rpm. القابض النابذة الجواله ميو لديها ربيع مستوى ٨٠٠ Rpm و تعديل ١٥٠٠ Rpm التي لديها سرعة دورات مختلفة، إذا كان معاير الريع سرعة الاحتكاك الأولي لقصف القابض بشكل أسرع إلى ١٨٦ Rpm ، وتحميل ٠ و ٣٨٧ Rpm ، وحمولة ٢٥٠ ، في حين أنه في ربيع ١٥٠٠ Rpm الحمولة ٠ من هي ٢٧٩ rpm و حمولة ٢٥٠ حصلت ٣٨٧ rpm. ولكن عكسيا، إذا كان عزم الحمل أكبر وسرعة المتحرك اللفة هي أسرع من الريع المعيار والسلطة هي أكبر أيضا مع المعادلة $P=Q*2\pi n/60$ بسبب قوة تؤثر بعزم الدوران (الحمل)، وسرعة الانتقال في بداية دوران تؤثر أيضا بحمولة البندول (مخلب)، مثل اختبار المخلب -١٠٪. أخف منه أي بانخفاض ٣٠٦ rpm من سرعة المخلب المعيار مع الريع ١٥٠٠ rpm

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi pembangkit listrik dari bahan fosil tidak dapat diperbaharui dengan cepat karena proses yang panjang, sedangkan perkembangan manusia semakin cepat. Sehingga pembaharuan energi untuk pembangkit listrik haruslah segera dikembangkan dan diperbanyak. salah satu cara untuk menanggulangi berkurangnya energi fosil sebagai pembangkit tenaga listrik, dapat diperbaharui dengan memanfaatkan energi lain seperti energi air, angin, matahari, uap, dan terbaru lainnya.

Dalam Surat an-Nur (24); 43;

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يُزَيِّجُ سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُمْ ثُمَّ جَعَلَهُمْ رُكَامًا فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ
 وَيُنزِلُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ جِبَالٍ فِيهَا مِنْ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَصْرِفُهُ عَنِ مَنْ يَشَاءُ يَكَادُ
 سَنَا بَرْقِهِ يَذْهَبُ بِالْأَبْصَارِ ﴿٤٣﴾

“Tidaklah kamu melihat bahwa Allah mengarak awan, kemudian mengumpulkan antara (bagian-bagian)nya, kemudian menjadikannya bertindih-tindih, maka kelihatanlah olehmu hujan keluar dari celah-celahnya dan Allah (juga) menurunkan (butiran-butiran) es dari langit, (yaitu) dari (gumpalan-gumpalan awan seperti) gunung-gunung, Maka ditimpakan-Nya (butiran-butiran) es itu kepada siapa yang dikehendaki-Nya dan dipalingkan-Nya dari siapa yang dikehendaki-Nya. Kilauan kilat awan itu hampir-hampir menghilangkan penglihatan” (Q.S. an-Nur(24); 43).

Perpindahan awan yang dijelaskan dalam Q.S. an-Nur (24) ayat 43 di atas menceritakan proses terjadinya penumpukan butiran-butiran awan menjadi mendung dan menciptakan hujan. Proses tersebut tak luput dari keagungan Allah SWT, yang menggerakkan awan dengan angin untuk menggumpalkan awan

sehingga menciptakan hujan, petir, dan es yang membuktikan kebesaran sang pencipta segalanya.

Angin merupakan sumber daya alam yang sangat besar manfaatnya bagi kehidupan sehari-hari. Angin adalah udara yang bergerak karena perbedaan tekanan di permukaan bumi akibat perbedaan suhu dari pemanasan matahari yang tidak merata. Angin bergerak dari daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan rendah. Wilayah Indonesia yang berada di sekitar daerah ekuator memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif pembangkit listrik. Habibie (2011: 2).

Sistem pembangkit listrik terbarukan berfungsi untuk mengurangi konsumsi energi fosil sebagai bahan bakar utama dalam terciptanya energi listrik. Energi angin merupakan salah satu energi yang dapat diperbaharui dan di Indonesia masih belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai alternatif penghasil listrik. Pada prinsipnya terdapat energi terbarukan yaitu radiasi atau angin karena mudah diperoleh dibandingkan bahan bakar fosil salah satu fungsi angin yang digunakan sebagai pembangkit listrik yaitu daya dorong angin yang berhembus secara konsisten tanpa berkurang.

Menurut Daryanto (2007: 5), energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel, karena pemanfaatan angin dapat dilakukan dimana mana. Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana saja, daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya

Perkembangan pembangkit listrik tenaga angin sering mengalami permasalahan pada tempat, besar tenaga angin dan kestabilan dari angin untuk memutar baling-baling turbin. Maka dari itu, para pengembang energi tenaga angin selalu memikirkan bagaimana cara mengatasi masalah angin yang tak menentu tapi tetap menciptakan energi yang sangat besar, salah satu permasalahan yang terjadi yaitu angin yang tidak stabil dan tidak terlalu cepat, sehingga awal perputaran baling-baling sangatlah sulit terjadi. Putaran baling-baling suatu turbin sangat berat jika angin tidak stabil dan tidak menentu, permulaan putaran suatu baling-baling sangat penting guna menciptakan energi yang stabil dan besar.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik kopling sentrifugal dan pengarus beban pada turbin angin pembangkit tenaga listrik/guna memisahkan kinerja poros pertama dan kedua untuk memulai rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik kopling sentrifugal pada rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) pada pembangkit tenaga listrik ?
2. Bagaimana pengaruh berat bandul (kampus) dan pegas kopling sentrifugal terhadap proses rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) pembangkit tenaga listrik

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik kopling sentrifugal ketika rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) pada pembangkit tenaga listrik
2. Untuk mengetahui pengaruh berat bandul dan tipe pegas sentrifugal terhadap proses terjadi rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) pembangkit tenaga listrik

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kopling sentrifugal dan proses perbandingan berat bandul sentrifugal jika digunakan pada turbin angin dengan memanfaatkan rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) pada kopling. Sehingga terbentuknya kecepatan turbin yang lebih maksimal.

1.5 Batasan Masalah

1. Turbin angin yang digunakan yaitu tipe propeller sumbu horizontal dengan bantuan kopling sentrifugal pada mesin motor matic Yamaha mio pada patahan poros turbin antar baling-baling dengan generator.
2. Perbandingan pegas, kampas kopling dan variasi berat beban pada torsi(kg).

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Angin

2.1.1 Angin Dalam Perspektif al-Qur'an

Angin merupakan sumber daya alam yang sangat besar manfaatnya bagi kehidupan. Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi akibat perbedaan suhu dari pemanasan matahari yang tidak merata dan angin bergerak dari daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan rendah (Habibie, 2011: 2).

Angin dalam al-Quran disebut dalam 10 surat yang menjelaskan tentang kelebihan angin untuk memberikan kabar gembira serta membantu proses kehidupan baik alam maupun manusia, salah satunya di dalam Q.S. ar-Rum (30), 48:

اللَّهُ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَيَبْسُطُهُ فِي السَّمَاءِ كَيْفَ يَشَاءُ وَيَجْعَلُهُ كِسْفًا فَتَرَى
 الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خَلِيلِهِ ۖ فَإِذَا أَصَابَ بِهِ ۖ مِنْ يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ إِذَا هُمْ يَسْتَبْشِرُونَ

“Allah, Dialah yang mengirim angin, lalu angin itu menggerakkan awan dan Allah membentangkannya di langit menurut yang dikehendaki-Nya, dan menjadikannya bergumpal-gumpal; lalu kamu lihat hujan keluar dari celah-celahnya, maka apabila hujan itu turun mengenai hamba-hamba-Nya yang dikehendaki-Nya, tiba-tiba mereka menjadi gembira” (Q.S. ar-Rum: 48)

Allah SWT mengirimkan angin kemudian angin itu dapat menimbulkan awan yang menyebar serta mengumpulkannya di salah satu arah di langit, terkadang awan itu berjalan, terkadang berhenti dan terkadang bergumpal-gumpal, serta kamu dapat melihat air hujan keluar dari celah-celahnya. Maka, apabila

hujan itu menimpa sebagian hamba-hamba-Nya, maka mereka bersukaria, karena hujan sangat diperlukan di dalam kehidupan mereka (*Maraghi, 1974*).

Sebanyak 5 kali al-Quran menjelaskan proses angin dari mulai menyebarkan benih-benih tumbuhan pada Surat (al-Hijr): 22 untuk proses perkawinan, angin yang berguna untuk fase penciptaan hujan (ar-Rum): 48 dan (al-A'raf): 57, Surat (an-Naml): 63, dan Surat (Furqan); 48, juga menjelaskan angin sebagai pengirim kabar gembira. Beberapa fungsi angin yang dijelaskan didalam al-Quran mengingatkan bahwa, angin mempunyai manfaat baik berupa bantuan pertumbuhan, penyampai kabar gembira dan menggerakkan awan untuk menciptakan hujan, manfaat tersebut mengingatkan kita bahwa begitu banyak proses campur tangan Tuhan yang telah memberikan nikmat dunia dalam berbagai cara yang tak pernah kita ketahui.

Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Pembangkit daya bertenaga angin tidak menimbulkan polusi, ramah lingkungan, sehingga kincir atau turbin angin sering disebut sebagai sistem Konversi Energi Angin (SKEA) (Ikhwan dan Hipi, 2012).

Energi angin merupakan sumber energi yang tersedia dalam jumlah yang tidak terbatas di muka bumi. Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi gerak inilah yang nantinya bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia, contohnya seperti pada perahu layar. Guna menjalankan perahu selain diperlukan layar maka diperlukan juga penggerak atau pendorong, dalam hal ini adalah energi gerak yang dihasilkan oleh angin. Selain

itu, energi gerak ini dapat menggerakkan baling-baling turbin yang bergerak searah dengan arah aliran. Bergeraknya turbin angin, menghasilkan energi listrik sehingga turbin angin tersebut dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik. (Sucipto, 2008: 8-9).

2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Angin

Wilayah Indonesia merupakan daerah kepulauan dengan luas lautan lebih besar dari luas daratan angin darat-laut disebabkan karena daya serap panas yang berbeda antara daratan dan lautan. Perbedaan karakteristik laut dan darat tersebut menyebabkan angin di pantai akan bertiup secara kontinyu. Pada dasarnya, angin terbentuk sebagai hasil dari gerakan udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah tekanan rendah (Ihwan dan Sota, 2010).

Faktor yang paling penting dalam hal pembentukan angin adalah tekanan atmosfer dan angin dapat terjadi karena beberapa faktor antara lain (Ihwan dan Sota, 2010):

1. *Gradien Barometris*, semakin besar *gradient barometris* maka semakin cepat tiupan angin.
2. Letak Tempat, misalnya adalah angin yang bertiup didaerah khatulistiwa bergerak lebih cepat daripada yang bertiup di non daerah katulistiwa.
3. Ketinggian, yaitu semakin tinggi suatu tempat, maka angin bertiup akan semakin kencang.
4. Waktu, angin bergerak lebih cepat pada siang hari daripada di malam hari.

2.1.3 Konversi Energi Angin

Kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang memiliki dua fungsi sebagai berikut (Himran Syukri, 2006):

1. Daya Energi Angin

Energi yang dimiliki oleh angin dapat diperoleh dari persamaan:

$$W = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

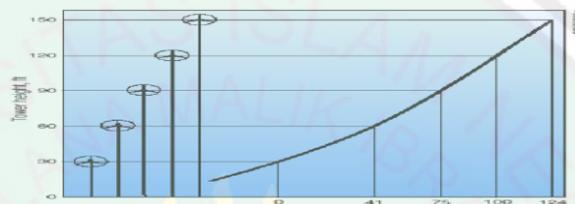
- W = Energi angin (Watt)
- ρ = Kerapatan udara (Kg/m³)
- A = Area penangkapan angin (m²)
- V = Kecepatan angin (m/s)

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak demikian karena terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbin angin dan efisiensi dari generator sendiri. Besar daya yang dapat dikonversi menjadi energi angin dapat diketahui dari persamaan.

2. Kecepatan Angin

Hal yang sering dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan angin. Kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat. Misalnya di Indonesia, kecepatan angin pada siang hari bisa lebih kencang dibandingkan malam hari. Pada beberapa lokasi bahkan pada malam hari tidak terjadi gerakan udara yang signifikan. Untuk situasi seperti ini, perhitungan kecepatan rata-rata dapat dilakukan dengan catatan pengukuran kecepatan angin

secara konsisten. Udara yang bergerak dekat dengan permukaan tanah, memiliki kecepatan angin kecil sehingga daya yang dihasilkan sedikit. Semakin tinggi tiang penyangga turbin maka angin yang diperoleh akan semakin baik dan keadaan ideal untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s, umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m.



Gambar 2.1 Hubungan kecepatan angin terhadap ketinggian tertentu (Himran Syukri, 2006).

2.2 Turbin angin

2.2.1 Sejarah Perkembangan Turbin Angin

Turbin angin awalnya disebut Persian Windmill yang merupakan evolusi dari kapal. Tekanan angin mengenai layar yang menyebabkan roda berputar. Jenis yang sama digunakan di China untuk menguapkan air laut dan memproduksi garam di Abad XIII dan terakhir di Crimea, Eropa, dan USA, yang masih ada sampai sampai saat ini (Pudjanarsa dkk,2006).

Setelah ide kincir angin sampai Eropa, sumbunya diubah ke arah horisontal. Mesin semacam ini terdapat di Perancis dan Inggris pada akhir Abad XII disebut sebagai *post mills*. Modifikasi kincir ini terjadi di Eropa dan Amerika, digunakan untuk penggiling gandum, drainase, penggergajian kayu, dan lainnya (A.Sorensen dan Harry, 1983).

Sistem pembangkit daya listrik dengan turbin angin sebagai penggerak alternator, telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dari tahun ke tahun hal ini menunjukkan suatu kemajuan yang sangat positif dimana daya terpasang terus ditingkatkan sementara biaya per kWh terus mengalami penurunan (Gates Robert, 2003).

Jenis turbin angin dengan daya terpasang yang besar dan banyak dipasang di berbagai belahan bumi adalah tipe turbin propeler tiga blade. Penelitian tentang model dan geometri blade rotor turbin angin telah dikembangkan meliputi profil airfoil baru dilakukan oleh para peneliti untuk meningkat efisiensi aerodinamik rotor, sehingga dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan. Kendala utama dalam proses konversi energi angin menggunakan turbin tipe propeler tiga blade adalah karakteristik blade rotor turbin angin kurang optimal terhadap perubahan kecepatan angin yang ekstrim. Rotor blade turbin angin secara aerodinamika harus menunjukkan efisiensi yang optimum untuk memaksimalkan daya mekanis yang dikonversi dari energi kinetik aliran udara bebas menjadi energi mekanik. (Ahlund Karin, 2004).

Sejak diperkenalkan pada tahun 1933, teori Betz untuk turbin angin jenis poros horisontal tipe propeler telah menjadi dasar dalam sejarah pengembangan turbin angin tiga blade dengan rotor tunggal. Teori ini menerapkan asumsi kondisi ideal pada aliran udara melalui suatu rotor sebagai disk yang berputar, analisisnya terdiri dari penerapan persamaan momentum aksial dan persamaan kontinuitas massa, serta teori blade elemen momentum secara ideal persamaan tersebut menunjukkan bahwa daya angin yang dapat dikonversi menjadi daya

mekanik adalah sebesar 59,3%. Dimana koefisien daya ini merupakan fungsi kecepatan aliran saat masuk rotor, $V = (2/3)V_a$ dan meninggalkan rotor, $V = (1/3)V_a$, dimana V_a adalah kecepatan udara bebas. Turbin angin rotor tunggal dengan diameter rotor berukuran besar menghasilkan daya output yang tinggi dalam kondisi kecepatan angin cukup kuat. Daya output dari rotor turbin angin yang berukuran kecil relatif rendah dan cocok untuk kondisi angin lemah. Artinya, ukuran rotor turbin angin harus tepat dipilih sesuai dengan kondisi angin potensial (Sterzinger G, 2004).

Pada umumnya turbin angin dilengkapi dengan mekanisme kontrol pitch, untuk mengontrol kecepatan akibat rotasi abnormal dan overload dihasilkan pada angin kuat, dan untuk menjaga perputaran alternator dan daya output tetap konstan (Hansen Morten, 2005).

Turbin angin untuk pembangkit daya listrik skala besar dirancang pada kecepatan angin rata-rata 10-12 m/s, artinya operasional turbin tidak akan efisien pada kecepatan angin rendah. Selain itu, turbin angin rotor tunggal dengan daya besar, memiliki diameter rotor yang besar, sehingga turbin akan membutuhkan torsi awal yang besar pula untuk bisa berputar (Eggleston D, 1987).

Beberapa tahun terakhir, beberapa peneliti berhasil menyajikan penemuan yang menarik tentang suatu model pintar turbin angin tipe propeler tiga blade, yang dikenal dengan nama turbin angin dual rotor lawan arah (doble rotor contra rotating wind turbine) turbin ini dapat meningkatkan koefisien daya turbin angin lebih tinggi dari pada kondisi satu rotor yakni 59,3%. Turbin angin pintar terdiri dari dua buah rotor yang diameternya berbeda, sama-sama menggerakkan satu

alternator dengan arah putaran saling berlawanan. Rotor berukuran besar ditempatkan di depan, sedangkan yang berukuran kecil di belakangnya atau sebaliknya. Kecepatan rotasi dari kedua rotor ini cukup sinkron bekerja sama dan saling suport untuk menggerakkan alternator. Peningkatan kecepatan angin membuat kecepatan rotasi kedua rotor meningkat, dan kecepatan rotasi dari rotor belakang menjadi lebih cepat dibandingkan dengan rotor depan karena ukurannya yang kecil. Bagian belakang rotor akan mencapai kecepatan rotasi maksimum pada kondisi tersebut. Dengan meningkatnya kecepatan angin, rotor belakang berkurang kecepatannya secara bertahap dan mulai berputar pada arah yang sama dari rotor depan sehingga bertepatan dengan torsi yang lebih besar diterima oleh alternator (Wei Yuan, 2013).

Ide pembuatan jenis turbin ini diadopsi dari teori Curtis untuk turbin uap multi tingkat. Prinsipnya tingkat kecepatan dimana energi terkonversi sepanjang tingkat rotor mencapai 75% (Kari Appa, 2003),

Menerapkan prinsip ini, melalui eksperimennya pada turbin angin double rotor contra rotating menunjukkan peningkatan daya output hingga 40% pada kecepatan angin rendah dan 50% pada kecepatan angin lebih tinggi (Newman, 1983).

Melalui teori aktuator disk untuk menganalisa daya yang dikonversi pada dua buah rotor yang dipasang secara seri memiliki asumsi rotor sebagai disk yang berputar. Kondisi koefisien daya maksimum dicapai pada kecepatan aliran masuk rotor pertama $0,8 V_a$ dan $0,4 V_a$ pada rotor kedua (Ushiyama et al, 1996).

2.2.2 Jenis Turbin Angin

Jenis turbin angin dalam perkembangannya, dibagi menjadi dua jenis yaitu turbin angin Propeller dan turbin angin poros lurus. Kedua jenis turbin ini memperoleh perhatian besar peneliti untuk dikembangkan karena biasa digunakan untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik antara lain (Alamsyah, 2007):

1. Turbin Angin Poros Horizontal (HAWT)

Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya. Mukund R. Patel menambahkan seperti yang terlihat dalam persamaan daya angin sebelumnya, keluaran daya dari turbin angin bervariasi linear dengan daerah yang melewati rotor blade. Untuk turbin sumbu horisontal, daerah yang melewati rotor blade adalah:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 (\text{m}^2) \dots \dots \dots (2.2)$$

2. Turbin Angin Poros Vertical (VAWT)

Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh GJM Darrieus tahun 1920. Keuntungan dari turbin jenis Darrieus adalah tidak memerlukan mekanisme orientasi pada arah angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya) seperti pada turbin angin propeller. Mukund R. Patel menambahkan, untuk turbin angin sumbu vertical penetapan luasnya melibatkan integral elips. Namun, dengan menganggap blade sebagai parabola persamaannya menjadi:

$$A = \frac{2}{3} (\text{maximum rotor width at center}) \dots \dots \dots (2.3)$$

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman.

2.2.3 Efisiensi Turbin Angin

Efisiensi turbin angin guna memaksimalkan hasil kinerja yang diperoleh tergantung dari beberapa komponen sebagai berikut (Daryanto, 2007):

1. Efisiensi rotor

Efisiensi rotor daya angin maksimum yang dapat konversi oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah:

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ (W)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Angka 16/27 (59.3%) ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung blade, efisiensi aerodinamik rotor (η) akan lebih kecil yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 untuk blade yang dirancang dengan sangat baik. Maka efisiensi rotor turbin angin menjadi:

$$P_{\text{rotor}} = C_p \left(\frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A V^3 \right) \text{ (W)} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- Pt = Daya turbin (watt)
- Cp = Coefisien Power
- ρ = Massa jenis angin (kg/m³)
- A = Luas penampang melintang aliran (m²)
- v = Kecepatan angin (m/s)

2. Efisiensi Transmisi dan Generator Gearbox

Mengubah laju putar menjadi lebih cepat, konsekuensinya dengan momen gaya yang lebih kecil, sesuai dengan kebutuhan generator yang ada di belakangnya. Generator kemudian mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik. Efisiensi transmisi gearbox dan bearings (Nb bisa mencapai 95%), dan efisiensi generator (Ng~80%). (Pikatan, 1999). Sehingga efisiensi total turbin angin dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{total}} = C_p \cdot N_b \cdot N_g \dots \dots \dots (2.6)$$

Daya turbin angin dengan menggabungkan persamaan 2.5 dan persamaan 2.6 sehingga diperoleh persamaan daya turbin angin:

$$P = \eta_{\text{total}} \left(\frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A V^3 \right) \text{ (W)} \dots \dots \dots (2.7)$$

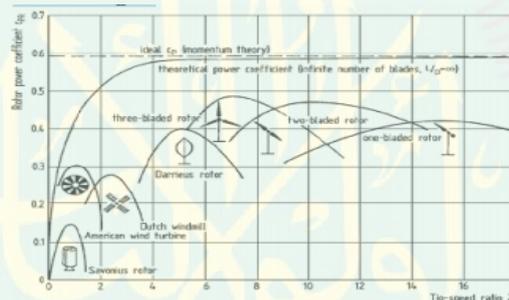
Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Turbin angin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin drag. Tip speed ratio dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot n \cdot r}{60 \times v} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

- λ = Tip speed ratio
- r = Jari-jari rotor (m)
- n = Putaran rotor (rpm)
- v = Kecepatan angin (m/s)

Gambar 2.2 menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 2.2 Variasi Tip Speed Ratio Dan Koefisien Daya Pada Berbagai Jenis Turbin Angin. (Hau, 2006)

2.3 Kopling sentrifugal

2.3.1 Kopling

Kopling adalah salah satu bagian penting kendaraan yang penggerak utamanya diperoleh dari hasil pembakaran pada tahap pertama mesin dihidupkan tanpa digunakan tenaganya. Oleh karena itu, pada tahap pertama mesin harus dapat berputar dahulu dan kemudian memindahkan tenaganya perlahan-lahan pada roda belakang sehingga kendaraan akan bergerak perlahan-lahan. Pemasangan kopling yang letaknya di antara mesin dan transmisi sangat

diperlukan karena berfungsi untuk menghubungkan dan membebaskan putaran mesin. Bila tenaga dipindahkan pada roda-roda penggerak saat kendaraan sedang berhenti, maka kendaraan akan melompat apabila tenaga terlalu besar dan mesin akan mati apabila tenaga mesin terlalu kecil, juga kendaraan tidak dapat bergerak dengan lembut. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan kopling yang dapat memindahkan tenaga dengan perlahan-lahan. Setelah sebagian besar tenaga berpindah maka perpindahan akan berlangsung tanpa terjadinya selip (tergelincir) juga kopling harus dapat bekerja dengan sederhana (Willem M E. Wattimena, 2013).

Kopling adalah alat yang harus memenuhi pesyaratan sebagai berikut (Willem M E. Wattimena, 2013):

- 1) Dapat meneruskan perputaran poros engkol ke transmisi.
- 2) Dapat melepaskan hubungan antara poros engkol dengan transmisi.
- 3) Dapat meneruskan perputaran poros engkol mesin ke transmisi secara berangsur-angsur secara merata tanpa hentakan

Serta kopling juga terdiri atas dua bagian utama, yaitu (Willem M E. Wattimena, 2013):

- 1) Rumah Kopling, yang ikut berputar dengan poros engkol (digerakan oleh roda gigi pada ujung poros engkol).
- 2) Pusat kopling, yang dipasang pada ujung utama transmisi. Untuk meneruskan perputaran rumah kopling ke pusat kopling dipakai susunan plat-plat gesek (kanvas kopling) dan pelat-pelat baja yang saling bersentuhan:

- a. Plat-plat gesek mengikuti gerak memutar rumah kopling (lidah-lidahanya terkait pada rumah kopling).
- b. Plat-plat baja mengikuti gerak memutar pusat kopling (lidah-lidahanya terkait pada rumah kopling).

2.3.2 Kopling Otomatis Sentrifugal

Kopling otomatis sentrifugal merupakan jenis kopling dimana penghubung dan pemutusan tenaga berlangsung secara otomatis. Biasanya kopling ini ditempatkan pada bagian poros engkolnya, pemakaian kopling ini secara umum banyak dipakai pada sepeda motor jenis bebek dan bagian dalam kopling otomatis sentrifugal terdiri dari (Willem M E. Wattimena, 2013):

1. Hub kopling
2. Pelat kopling
3. Rumah kopling
4. Pelat gesek

Prinsipnya kopling otomatis ada dua bentuk perlengkapan yang memutus dan menyambungkan tenaga dari hub kopling yang berhubungan secara langsung kepada bagian poros engkol. Di sini kopling kedua dapat memutuskan dan menyambungkan tenaga dari rumah kopling ke bagian hub kopling, tapi terlebih dahulu lewat plat gesek dan plat penekannya. Kedua kopling ini bisa bekerja sama dengan jalan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh mesinnya atau putaran mesin bahan kopling sentrifugal (Willem M E. Wattimena, 2013):

1. Clutch Carrier

Clutch carrier merupakan bagian dari driven pulley yang terkopel pada bos terletak di bagian fixed sheave. Clutch carrier yang terkopel menggerakkan sepatu-sepatu kopling sehingga bergerak keluar dan memindahkan tenaga melalui gaya sentrifugal (Yamaha. 2003).



Gambar 2.3 Clutch Carrier (Yamaha. 2003).

Kopling berguna untuk menyalurkan tenaga dari mesin ke gearbox dan diteruskan ke roda. Kopling terkopel Sepatu kopling bergerak keluar dan memindahkan tenaga melalui gaya sentrifugal (Yamaha. 2003).



Gambar 2.4 Cara Kerja Kopling Sentrifugal (Yamaha. 2003).

Kopling memegang peran yang tidak kalah penting dengan V-belt (jika kemampuan pengkopelan sangat rendah maka perpindahan tenaga juga rendah),

Sehingga pengaruh yang ditimbulkan dengan adanya pada perubahan (Yamaha. 2003).

Kopling yang terkopel penuh, sama pentingnya dengan V-belt. Tetapi hal ini tidak kalah pentingnya dengan kemampuan mesin, rangkaian gerak V-belt, dan permukaan gesek (Yamaha. 2003).

2. Clutch Outer

Clutch Outer merupakan bagian dari driven pulley yang terletak dibagian luar atau penutup. Disaat clutch carrier terkopel sehingga sepatu kopling bergerak keluar dengan gaya sentrifugal yang bergesekan dengan bagian dalam clutch outer sehingga ikut berputar (Yamaha. 2003).



Gambar 2.5 Clutch Outer (Yamaha. 2003).

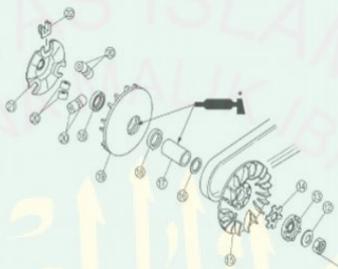
2.3.3 Sistem Transmisi Otomatis CVT

Transmisi otomatis umumnya digunakan pada sepeda motor jenis *scooter* (skuter). Transmisi yang digunakan yaitu transmisi otomatis "V" belt atau yang dikenal dengan CVT (*Continuously Variable Transmission*). CVT merupakan transmisi otomatis yang menggunakan sabuk untuk memperoleh perbandingan

gigi yang bervariasi, adapun komponen utama yang CVT sebagai berikut (Julius Jama 2008: 335):

1. Puli Penggerak/ Puli Primer (*Drive Pulley/ Primary Pulley*).

Puli primer adalah komponen yang berfungsi mengatur kecepatan sepeda motor berdasarkan gaya sentrifugal dari roller, yang terdiri dari beberapa komponen berikut:



Gambar 2.6 Konstruksi Komponen Puli Primer (Sumber: Yamaha Motor Co. Ltd: Service Manual Mio, 2003).

a. Puli Tetap dan Kipas Pendingin.

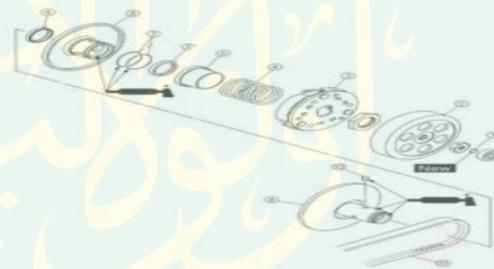
Puli tetap merupakan komponen puli penggerak tetap. Selain berfungsi untuk memperbesar perbandingan rasio di bagian tepi komponen ini terdapat kipas pendingin yang berfungsi sebagai pendingin ruang CVT agar belt tidak cepat panas dan aus.

b. Puli Bergerak/Movable Drive Face.

Puli bergerak adalah komponen puli yang bergerak menekan CVT agar diperoleh kecepatan yang diinginkan.

c. Bushing/Spacer/Collar. Komponen ini berfungsi sebagai poros dinding dalam puli agar dinding dalam dapat bergerak mulus sewaktu bergeser.

- d. Roller/Primary Sheave Weight adalah bantalan keseimbangan gaya berat yang berguna untuk menekan dinding dalam puli primer sewaktu terjadi putaran tinggi.
 - e. Plat penahan /Cam/Slider. Komponen ini berfungsi untuk menahan gerakan dinding dalam agar dapat bergeser ke arah luar sewaktu terdorong oleh roller.
2. Puli yang digerakkan/ puli skunder (*Driven Pulley/ Secondary Pulley*).
- Puli sekunder adalah komponen yang berfungsi yang berkesinambungan dengan puli primer mengatur kecepatan berdasar besar gaya tarik sabuk yang diperoleh dari puli prime.



Gambar 2.7 Konstruksi Komponen Puli Skunder (Sumber: Yamaha Motor Co.Ltd: Service Manual Mio, 2003)

- a. Dinding luar puli sekunder (*Secondary Sliding Sheave*)

Dinding luar puli sekunder berfungsi menahan sabuk/sebagai lintasan agar sabuk dapat bergerak ke bagian luar. Bagian ini terbuat dari bahan yang ringan dengan bagian permukaan yang halus agar memudahkan belt untuk bergerak.

- b. Dinding dalam puli sekunder (*Secondary fixed Sheave*)

Bagian ini memiliki fungsi yang kebalikan dengan dinding luar puli primer yaitu sebagai rel agar sabuk dapat bergerak ke posisi paling dalam puli sekunder.

c. Pegas Pengembali CVT

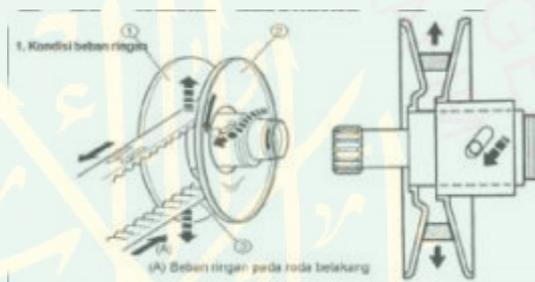
d. Pegas pengembali berfungsi untuk mengembalikan posisi puli ke posisi awal yaitu posisi belt terluar. Prinsip kerjanya adalah semakin keras pegas maka belt dapat terjaga lebih lama di kondisi paling luar dari driven pulley.

e. Kampas kopling dan Rumah Kopling.

Fungsi dari kopling adalah untuk menyalurkan putaran dari putaran puli sekunder menuju gigi reduksi. Cara kerja kopling sentrifugal adalah pada saat putaran stasioner/langsam (putaran rendah), putaran poros puli sekunder tidak diteruskan ke penggerak roda. Ini terjadi karena rumah kopling bebas (tidak berputar) terhadap kampas, dan pegas pengembali yang terpasang pada poros puli sekunder. Pada saat putaran rendah (stasioner), gaya sentrifugal dari kampas kopling menjadi kecil sehingga sepatu kopling terlepas dari rumah kopling dan tertarik ke arah poros puli sekunder akibatnya rumah kopling menjadi bebas. Saat putaran mesin bertambah, gaya sentrifugal semakin besar sehingga mendorong kampas kopling mencapai rumah kopling dimana gayanya lebih besar dari gaya pegas pengembali.

f. Torsi Cam (Guide Pin)

Apabila mesin membutuhkan torsi yang lebih atau bertemu jalan yang menanjak maka beban di roda belakang meningkat dan kecepatannya menurun. Dalam kondisi seperti ini posisi belt akan kembali seperti semula, seperti pada keadaan diam. Drive pulley akan membuka sehingga kedudukan belt membesar, sehingga kecepatan turun dan saat inilah torsi cam bekerja. Torsi cam ini akan menahan pergerakan driven pulley agar tidak langsung menutup, jadi kecepatan tidak langsung jatuh.



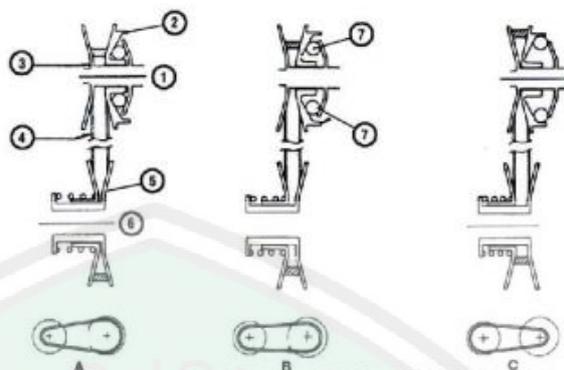
Gambar 2.8 Cara Kerja Torsi Cam (Arsa, 2012).

g. V belt

Berfungsi sebagai penghubung putaran dari puli primer ke puli sekunder. Besarnya diameter V-belt bervariasi tergantung pabrikan motornya. Besarnya diameter V-belt biasanya diukur dari dua poros, yaitu poros crankshaft poros primer drive gear shift. Vbelt terbuat dari karet dengan kualitas tinggi, sehingga tahan terhadap gesekan dan panas.

2.3.4 Cara Kerja Transmisi Otomatis

Transmisi CVT terdiri dari dua buah puli yang dihubungkan oleh sabuk (belt). Sebuah kopling sentrifugal terhubung ke penggerak roda belakang ketika throttle gas di buka (diputar), dan gigi transmisi satu kecepatan untuk mereduksi (mengurangi) putaran. Puli penggerak/drive pulley sentrifugal unit diikatkan ke ujung poros engkol (*crankshaft*) dan bertindak sebagai pengatur kecepatan berdasarkan gaya sentrifugal. Puli yang digerakkan/driven pulley berputar pada bantalan poros utama (input shaft) transmisi. Bagian tengah kopling sentrifugal (centrifugal clutch) dipasangkan ke puli dan ikut berputar bersama puli tersebut. Drum kopling drum berada pada alur poros utama (*input shaft*) dan akan memutar poros tersebut jika mendapat gaya dari kopling. Kedua puli masing-masing terpisah menjadi dua bagian, dengan setengah bagiannya dibuat tetap dan setengah bagian lainnya bisa bergeser mendekat atau menjauhi sesuai arah poros. Pada saat mesin tidak berputar, celah puli penggerak berada pada posisi maksimum dan celah puli yang digerakkan berada pada posisi minimum. Pergerakan puli dikontrol oleh pergerakan roller. Fungsi roller hampir sama dengan plat penekan pada kopling sentrifugal. Ketika putaran mesin naik, roller akan terlempar ke arah luar dan mendorong bagian puli yang bisa bergeser mendekati puli yang diam, sehingga celah pulinya akan menyempit (Jama, 2008: 337).



Gambar 2.9 Cara Kerja CVT (Jama, 2008: 337).

Ketika celah puli mendekat, maka akan mendorong sabuk ke arah luar. Hal ini akan membuat puli tersebut berputar dengan diameter yang lebih besar. Setelah sabuk tidak dapat diregangkan kembali, maka sabuk akan meneruskan putaran dari puli ke puli yang digerakkan. Jika gaya mendorong sabuk ke arah luar lebih besar dibandingkan dengan tekanan pegas yang menahan puli, maka puli akan tertekan melawan pegas dan sabuk akan berputar dengan diameter yang lebih kecil. Kecepatan sepeda motor saat ini sama seperti pada gigi tinggi untuk transmisi manual (lihat ilustrasi bagian C). Jika kecepatan mesin menurun, roller puli penggerak akan bergeser ke bawah lagi dan menyebabkan bagian puli penggerak yang bisa bergeser merenggang. Secara bersamaan tekanan pegas pada puli akan mendorong bagian puli untuk sabuk berputar dengan diameter yang lebih besar pada bagian belakang dan diameter yang lebih kecil pada bagian depan. Kecepatan sepeda motor saat ini sama seperti pada gigi rendah untuk transmisi manual (lihat ilustrasi bagian A) (Jama, 2008: 337).

Roller merupakan salah satu komponen yang terdapat pada transmisi otomatis atau CVT. Roller adalah suatu material yang tersusun dengan Teflon

sebagai permukaan luarnya dan tembaga atau aluminium sebagai lapisan dalamnya. Roller berbentuk seperti bangun ruang silinder yang mempunyai diameter dan berat tertentu. Roller berfungsi untuk menekan dinding dalam puliprimer sewaktu terjadi putaran tinggi. Prinsip kerja roller, hampir sama dengan plat penekan pada kopling sentrifugal. Ketika putaran mesin naik, roller akan terlempar ke arah luar dan mendorong bagian puli yang bisa bergeser mendekati puli yang diam, sehingga celah pulinya akan menyempit (Jalili Jama, 2008: 337).

Roller bekerja akibat putaran yang tinggi dan adanya gaya sentrifugal (Mohamad Yamin: 2011).



Gambar 2.10 Roller CVT pada Movable Drive Face/Primary Sliding Sheave
(Sumber: Yamaha Motor Co., Ltd: Service Manual Mio, 2003)

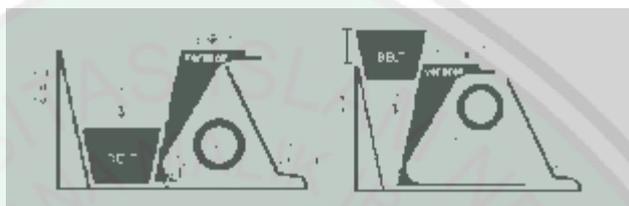
Semakin berat rollernya maka akan semakin cepat bergerak mendorong movable drive face pada drive pulley sehingga bisa menekan belt ke posisi terkecil. Supaya belt dapat tertekan hingga maksimal dibutuhkan roller yang beratnya sesuai artinya jika roller terlalu ringan maka tidak dapat menekan belt hingga maksimal, efeknya tenaga tengah dan atas akan berkurang. Harus diperhatikan juga jika akan mengganti roller yang lebih berat harus

memperhatikan torsi mesin. Sebab jika mengganti roller yang lebih berat bukan berarti lebih responsif, karena roller akan terlempar terlalu cepat sehingga pada saat akselerasi perbandingan rasio antara puli primer dan puli sekunder terlalu besar yang kemudian akan membebani mesin (Ngarifin: 2010).

Besar kecilnya gaya tekan roller sentrifugal terhadap sliding sheave (*movable*) drive face ini berbanding lurus dengan berat roller sentrifugal dan putaran mesin. Semakin berat roller sentrifugal semakin besar pula gaya dorong roller sentrifugal terhadap movable drive face sehingga semakin besar diameter dari puli primer tersebut. Sedangkan pada puli sekunder pergerakan puli diakibatkan oleh tekanan pegas, puli sekunder ini hanya mengikuti gerakan sebaliknya dari puli primer. Jika puli primer membesar maka puli sekunder akan mengecil, begitu juga sebaliknya. Berat roller sentrifugal sangat berpengaruh terhadap perubahan ratio diameter dari puli primer dengan puli sekunder (Made Dwi Budiana, 2008).

Diameter roller juga sangat berpengaruh terhadap kinerja dari roller itu sendiri. Artinya semakin kecil diameter roller maka berat roller juga akan berkurang. Sehingga gaya sentrifugal yang dihasilkan roller akan berkurang karena gaya tekan terhadap puli primer dan sheave drive face menurun. Selain itu dengan berkurangnya diameter roller maka akan mengakibatkan performa mesin semakin lambat untuk ketercapaiannya. Hal ini di karenakan diameter roller yang semakin kecil akan memperlambat perubahan ratio diameter dari puli primer dan puli sekunder. Berkurangnya diameter roller ini di karenakan bahan penyusun roller bagian luar adalah teflon yang selalu bergesakan dengan rumah roller

sehingga ketebalan diameternya akan semakin berkurang dan menyebabkan keausan, maka dari itu setiap pabrikan sepeda motor matic memberikan batas pemakaian roller berdasarkan diameter dari roller itu sendiri. Artinya, apabila roller sudah mencapai batas minimum pemakaian maka harus dilakukan pengantian roller.



Gambar 2.11 Cara kerja Roller CVT (Sumber: Kaskus- The Largest Indonesian Community, 2011)

2.3.5 Gaya Sentrifugal

Gaya sentrifugal ialah sebuah gaya yang timbul akibat adanya gerakan sebuah benda atau partikel melalui lintasan lengkung atau melingkar. Semakin besar massa dan kecepatan suatu benda maka gaya sentrifugal yang dihasilkan akan semakin besar (Mohamad Yamin: 2011).

Gaya sentrifugal adalah gaya yang arahnya menjauhi pusat, seperti dalam kasus gerak melingkar beraturan. Gaya sentrifugal didefinisikan sebagai negatif dari hasil kali massa benda dengan percepatan sentripetalnya. Artinya gaya sentripetal dan gaya sentrifugal mempunyai besar yang sama, akan tetapi arahnya berbeda. Gaya sentrifugal adalah gaya yang arahnya menjauhi pusat sedangkan gaya sentripetal adalah gaya yang arahnya menuju pusat (Sutopo: 1997).

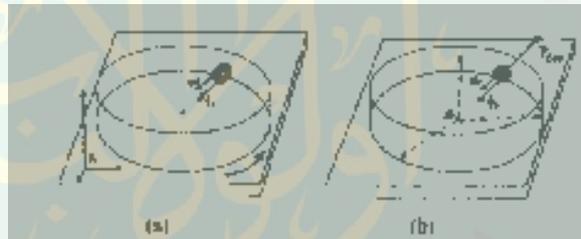
Dengan kata lain, rumus menentukan besarnya gaya sentrifugal sama dengan gaya sentripetal (Sumber, Sutopo: 1997) yaitu:

$$\Sigma F = ma \rightarrow \Sigma F_r = ma_r = m \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

- Fr = Gaya Sentrifugal (N)
- m = Massa (kg)
- ar = Percepatan Tangensial (m/s)
- V = Kecepatan Tangensial (m/s)
- R = Jari-jari (m)

Gaya sentrifugal hanya ada jika kita bekerja pada kerangka non inersial (tepatnya kerangka berputar). Jika kita berada di kerangka inersial (misalnya kerangka yang diam terhadap pusat kerangka berputar maka gaya sentrifugal tadi hilang).



Gambar 2.12 Ilustrasi Gaya Sentrifugal
(a) kerangka yang diam, (b) kerangka yang berputar (Sutopo: 1997)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu penelitian eksperimental yang bertujuan untuk memperoleh desain kopling sentrifugal yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin untuk memaksimalkan kinerja turbin angin dengan memutus poros baling-baling dengan poros generator.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan September 2016-Januari 2017. Tempat penelitian di Laboratorium Termodinamika dan Laboratorium Elektronika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat dan Bahan Pembuatan Kopling Sentrifugal

- | | |
|---|----------|
| 1. Kopling ganda mio | 1 set |
| 2. Pegas kopling mio | 3 biji |
| 3. Pegas kopling sentrifugal mio 800 rpm <i>custem</i> 1500 rpm | 1 biji |
| 4. Alas penyangga Plat U 10 cm | 4 biji |
| 5. Plat U penyangga 7 cm | 4 biji |
| 6. Roller Bearing diameter 2,4. 4 dan 6 cm | 3 biji |
| 7. Pemberat 1-2 kg | 2 biji |
| 8. Mur dan baut ukuran 8. 12. 14 dan 16 | 3 pasang |

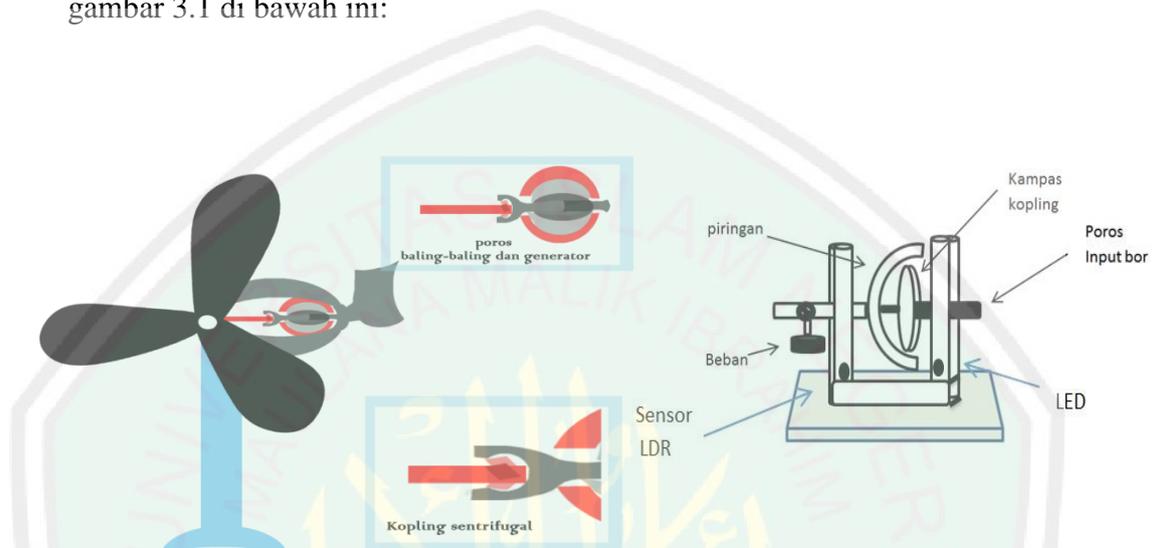
9. Ass roda motor ukuran 12	1 biji
10. Alas 10x7 cm	1 biji
11. Tali/sabuk kulit 2 m	1 biji
12. Bor	1 set
13. Jangka sorong	1 biji
14. Meteran	1 biji
15. Gergaji besi	1 biji
16. Las karbit	1 set
17. Las listrik	1 set

3.3.2 Alat dan Bahan Pembuatan Sensor RPM

1. Mikrokontroler Arduino Uno	1 biji
2. Sensor LDR	3 biji
3. Lampu Led Blue	3 biji
4. USB Kabel input arduino	1 biji
5. Resistor 334 ohm dan 1k	3 biji
6. Program Arduino uno	1 aplikasi
7. Program rpm	1 program
8. Laptop	1 biji

3.4 Desain Penelitian

Pada penelitian ini akan menggunakan desain rangkaian turbin angin plopeller dengan penambahan kopling sentrifugal pada poros kedua seperti pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Desain Penelitian

3.5 Langkah Percobaan

1. Rangkai alat dan bahan seperti pada gambar 3.1 dengan menambah variasi beban bandul dari tanpa pemberat, 250, 500, 750 gram 1 kg dan 2 kg pada poros 2.
2. Posisikan baling-baling pada posisi tetap atau diam
3. Putar poros baling-baling dengan bor untuk mulai start awal pengujian data pertama tanpa beban
4. Catat awal perputaran turbin angin saat memulai kontak rpm
5. Hitung awal perputaran poros generator dan catat sampai perputaran stabil

6. Ulangi percobaan dengan mengganti pegas standar 800 rpm dengan pegas variasi 1500 rpm dan kumpas 10% lebih ringan
7. Catat hasil kecepatan awal putar, kecepatan pelan, standar dan kecepatan tinggi

3.6 Teknik Pengumpulan Data

3.6.1 Pengukuran Kecepatan Rpm dan Torsi Kopling Sentrifugal

Teknik pengambilan data pada turbin angin menggunakan kopling sentrifugal yaitu dengan mengukur proses awal dari perputaran kumpas kopling sampai menciptakan gaya sentrifugal yang menimbulkan gesekan pada piringan, sehingga menciptakan perputaran awal dari mulai pelan, sedang dan maksimum piringan yang diteruskan pada poros generator. Di dalam poros generator ditempatkan beban sehingga diketahui seberapa besar torsi putaran kopling sentrifugal menggunakan sensor LDR dengan sistem arduino uno.

3.6.2 Perhitungan Torsi dan Daya Kincir Angin

1. Torsi Kincir

Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan sistem pengereman dengan menggantungkan beban pada piringan yang berputar. Yang dapat diketahui hasilnya dengan persamaan:

$$Q = F * r \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

Q = torsi (N.m)

F = gaya pembebanan (N)

r = jari-jari (m)

2. Daya Kincir

Daya kincir merupakan output dari daya angin, daya kincir dapat di peroleh dengan persamaan;

$$P = Q * \omega \dots\dots\dots(3.2)$$

$$P = Q * 2\pi n/60 \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

P = daya (Watt)

Q = torsi (N.m)

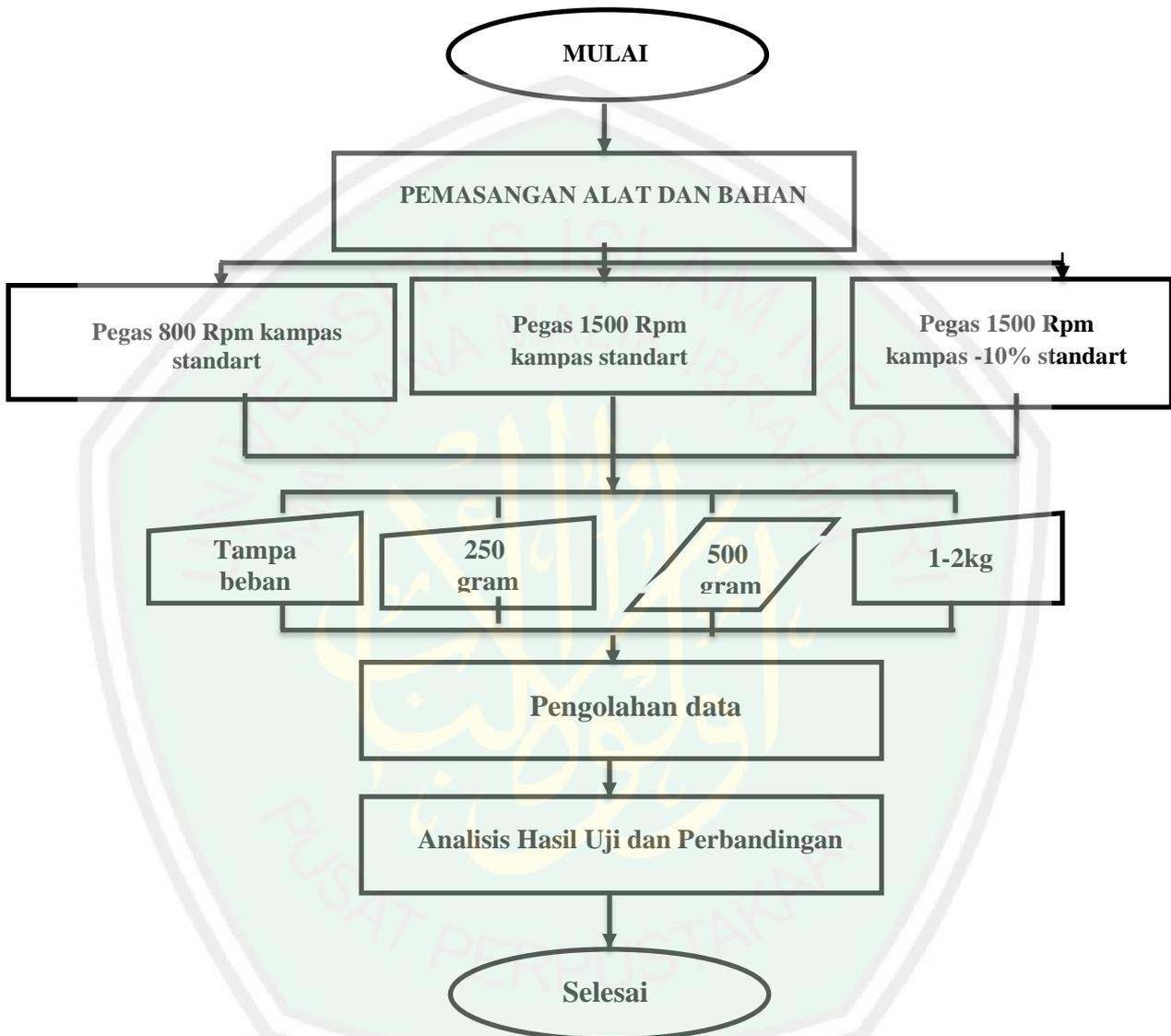
ω = Kecepatan angular (rad/s)

3.6.3 Tabel Data Hasil Pengujian

Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian Kopling Sentrifugal

No	Variasi Beban	Kecepatan Putaran (rpm)			Torsi (N/m)	Daya (W)		
		Rendah	Sedang	Tinggi	Q1	R	S	T
1	0							
2	250							
3	500							
4	750							
5	1000							
6	2000							

3.7 Rancangan Penelitian



Gambar 3.2 Rancangan Penelitian

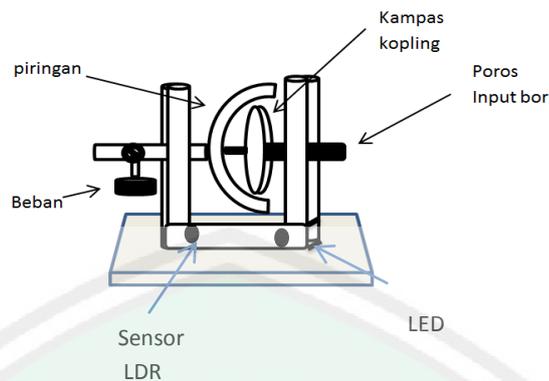
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian rancang bangun turbin angin menggunakan sistem *kopling Sentrifugal* pada pembangkit tenaga listrik ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh kopling sentrifugal pada poros turbin yang memanfaatkan gaya sentrifugal mesin motor, sehingga proses awal putaran blade tidak terpengaruh pada gaya magnet generator dan mengetahui pengaruh berat bandul atau tipe pegas sentrifugal terhadap awal proses perputaran blade. Variabel yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah perbandingan berat bandul, tipe pegas kopling dan beban pada poros generator dengan menetapkan kuat kecepatan angin dan daya putar blade kincir angin konstan, hasil yang dapat diperoleh pada proses tersebut didapatkan kecepatan (v) gaya sentrifugal pada piringan dan kuat daya putar atau torsi (T) yang berpengaruh pada daya (Watt) generator.

4.1.1 Pembuatan Alat

Proses pembuatan turbin angin menggunakan sistem sentrifugal ini mempunyai beberapa tahap, mulai dari perancangan tempat kopling sentrifugal yang kurang lebih sama seperti pada motor mio. Akan tapi proses perpindahan dari kampas kopling sentrifugal ke piringan yang awalnya menggunakan vanbelt searah diubah menjadi proses input output yang terpisah. Sehingga proses awal perputaran kincir angin tak terpengaruh pada gaya magnet generator dan pengukuran kuat torsi pada awal proses sentrifugal.



Gambar 4.1 kopling sentrifugal

Gambar 4.1 kopling sentrifugal terdapat beberapa komponen yang menjelaskan fungsi mulai dari inputan putar pada poros bor dan komponen kampas kopling sentrifugal yang dipisahkan porosnya dengan piringan agar proses perputaran poros inputan bor tidak terpengaruh pada awal putaran, pada fungsi sentrifugal yaitu memanfaatkan dua bentuk perlengkapan pemutus dan penyambung tenaga dari hub kopling yang berhubungan secara langsung.

Bagian poros engkol ke tenaga dari rumah kopling ke bagian hub kopling, tapi terlebih dahulu lewat plat gesek dan plat penekannya yang saling bekerja sama dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh mesinnya atau putaran mesin (Willem M E. Wattimena, 2013).

Disaat kondisi stabil dan clutch carrier yang merenggang menggerakkan sepatu-sepatu kopling untuk bergerak keluar dan memindahkan tenaga melalui gaya sentrifugal (Yamaha, 2003).

Pada poros generator gantungkan beban (N) yang menyambung piringan/rumah kopling, beban tersebut akan menciptakan pengereman berupa gesekan antara pully dan tali nylon sehingga terjadi momen puntar pada poros

yang biasa dikenal dengan Torsi (Q) yang disimpulkan sebagai: $Q=F*r$. Setelah torsi didapatkan maka kita bisa ketahui kuat daya tegangan (Watt) dengan persamaan: $P=Q*\omega$ (Himran, Syukri. 2005).

Selanjutnya merancang alat pengukur kecepatan (rpm) yang ditaruh pada kedua penyangga kopling sentrifugal dengan led yang mengarah ke LDR. Pada kampas kopling sentrifugal ditempatkan sebuah plat kecil sebagai penghalang sensor yang menjelaskan sepeputaran kopling sentrifugal (D.122mm) dilanjutkan ke arduino uno dan diproses menggunakan program Tachometer untuk membaca kecepatan putar dari percepatan waktu persekon (rps), permenit (rpm), dan perjam (rpj), karena daya putar yang digunakan adalah bor berkecepatan tinggi kurang lebih 1400 rpm.

Tahap selanjutnya yaitu pembuatan alat pengujian dengan komposisi bahan sebagai berikut:

Tabel. 4.1 Material Kopling sentrifugal

BAHAN	Material	Keterangan
Kopling ganda mio	Baja	1 set
Pegas kopling mio tipe 1000	Baja	3 biji
Pegas kopling sentrifugal mio 800 Rpm dan custem 1500 rpm	Baja	1 biji
Alas penyangga Plat U	Besi	10 cm 4 biji
Plat U penyangga	Besi	7 cm 4 biji
Roller Bearing diameter 2,4. 4 dan 6 cm	Besi	3 biji
Pemberat 1-2 kg	Besi	2 biji

Mur dan baut ukuran 8. 12.14 dan 16	Baja	3 pasang
Ass roda motor ururan 12	Besi	1 biji
Alas	Kayu	10x7 cm
Tali/sabuk kulit 2M	Kulit	2M
Bor	-	1
Jangka sorong	-	1
Meteran	-	1
Gergaji besi	-	1
Las karbit dan Las listrik	-	1

Tabel 4.2 Material sensor

Arduino	UNO	1
Sensor LDR	-	3 cm
Led 3inc	Biru	1 biji
Kabel	Merah dan biru	2 meter
Kabel input	Biru	1
Resistor	334 Ohm	4 bijij
Laptop	-	1

4.1.2 Unjuk Kerja Kopling Sentrifugal

Rancang bangun turbin angin dengan sistem sentrifugal dapat digunakan untuk memaksimalkan kondisi kecepatan angin yang tidak menentu karena daya dorong angin yang kurang kuat untuk mendorong baling baling turbin angin yang

mendapatkan gaya magnet generator, dan memisahkan proses perputaran awal kincir angin dan generator sehingga kinerja kincir angin lebih maksimal. Proses masuknya daya putar dari sebuah kincir yang dipasangkan pada poros kampas kopling memberikan putaran secara perlahan-lahan, perputaran tersebut menggeser atau melebarkan bandul sehingga lama-kelamaan bandul menggesek rumah kopling sampai pada penekanan yang mengakibatkan rumah kopling ikut berputar dan poros yang mengarah pada generator menggerakkan generator serta menciptakan daya. Proses perkompelan atau pergeseran pada kampas ke rumah kopling tidak bisa stabil seperti kinerja sepeda motor matic, kecepatan dan kuat peralihan kinerja kampas kopling dipengaruhi pegas dan beban kampas kopling untuk mendorong rumah kopling sehingga lebih cepat peralihan dari inputan ke output pada poros generator.

4.1.3 Analisis Data dan Perhitungan

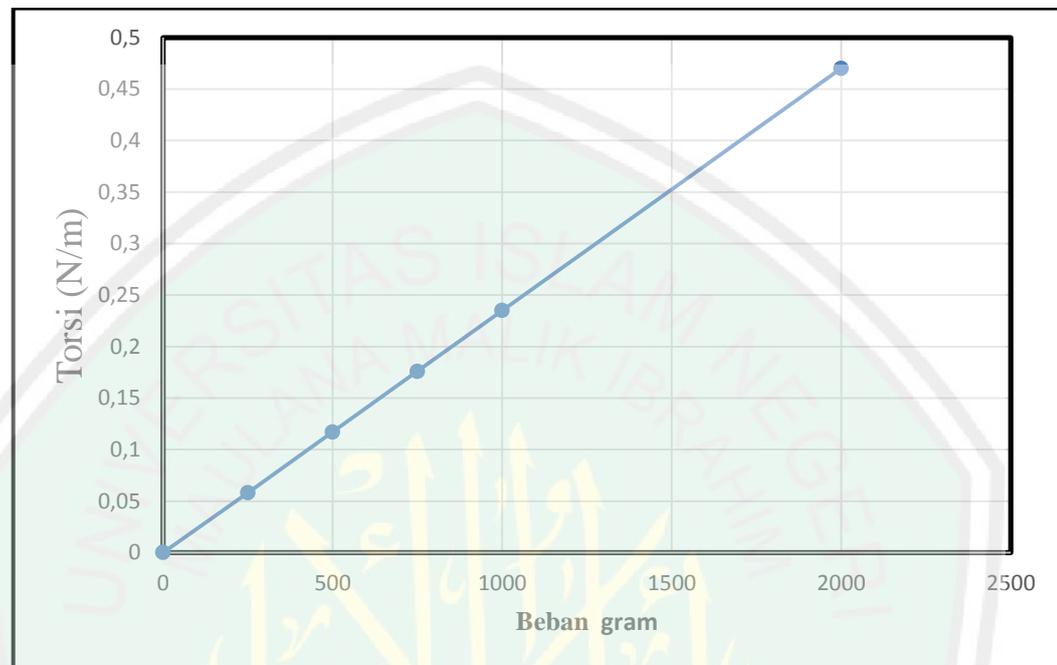
Hasil data yang telah diperoleh dari perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Menggunakan Pegas 800 Rpm dan Kampas original

No	Variasi Beban	Kecepatan Putaran (rpm)			Torsi (N/m) Q1	Daya (W)			
		Rendah	Sedang	Tinggi		R	S	T	
1	0	186	2471	3539	0	0	0	0	
2	250	604	1793	2276	0,058	3,721	11,04	14,02	
3	500	711	1690	2200	0,117	8,760	20,82	27,10	
4	750	763	1638	2162	0,176	14,10	30,28	39,95	
5	1000	815	1587	2124	0,235	20,08	39,10	52,34	
6	2000	1023	1381	1972	0,470	50,41	68,06	97,19	

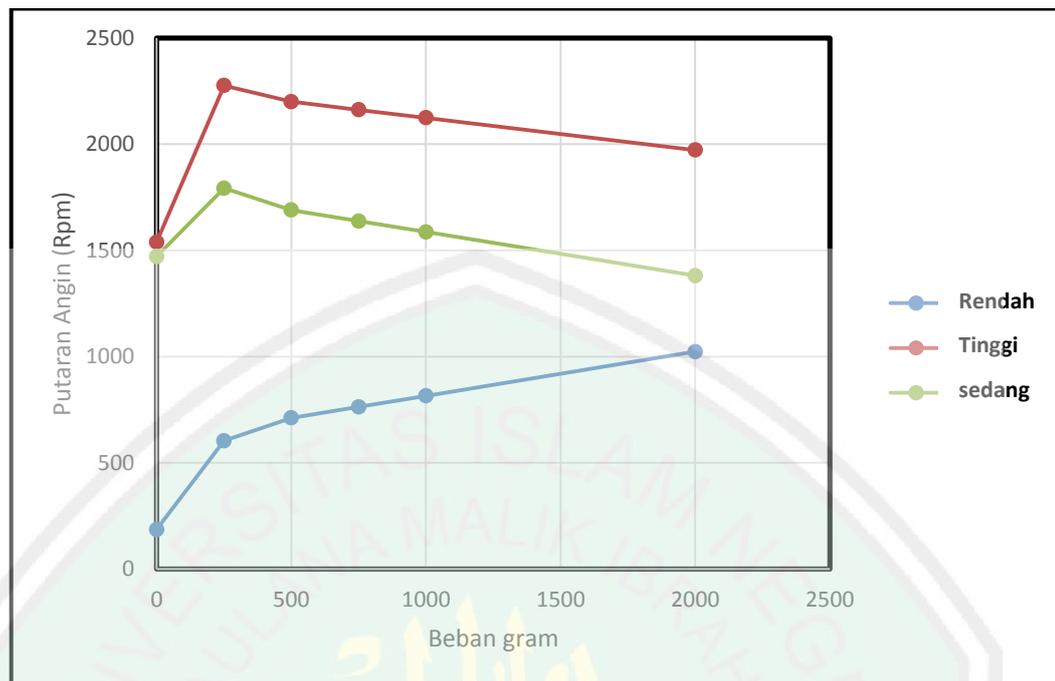
Pada tabel 4.3 merupakan hasil variasi beban dengan menggunakan kampas kopling dan pegas original yang menghasilkan kecepatan putaran, torsi

dan daya. Pada beban 2000 gram kecepatan awal adalah 1023 rpm dan kecepatan maksimum 1972 rpm, torsi 0,470 N/m serta daya 50,41 w dan 97,19 w.



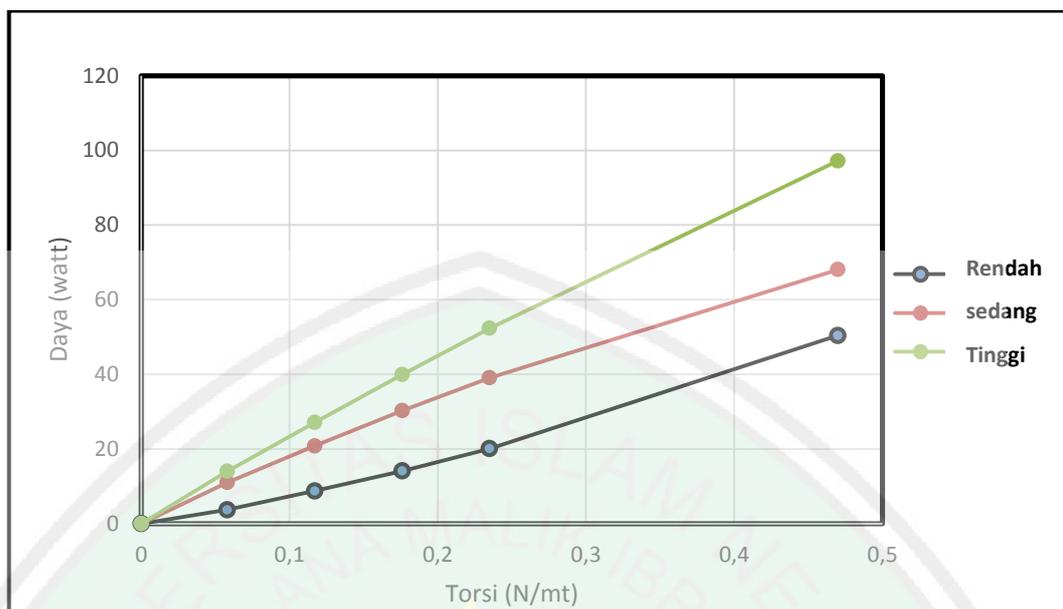
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Beban dan Torsi

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar nilai beban yang digunakan maka semakin besar nilai torsi akan tetapi kecepatan putar awal untuk mengkompel pada mangkok kopling hanya mengalami perbandingan yang tidak terlalu signifikan yaitu 300 rpm. Pada kecepatan maksimum terjadi percepatan yang besar. Kecepatan awal untuk memutar mangkok kopling pada kopling standar harus mencapai kecepatan di atas 1000 rpm agar perpindahan kerja putar poros pertama ke poros kedua dapat terjadi.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara beban dan putaran angin

Gambar 4.3 menunjukkan putaran awal pada poros baling-baling membutuhkan kinerja putaran yang lebih besar karena beban yang disematkan semakin besar. Pada saat disematkan beban yang ringan kecepatan perpindahan poros baling-baling ke generator memiliki kecepatan transmisi begitu cepat. Pada grafik ditunjukkan bahwa kecepatan awal berbanding lurus dengan beban, akan tetapi berbanding terbalik dengan kecepatan standart dan kecepatan tertinggi grafik menunjukkan penurunan disaat beban semakin besar.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara daya dan torsi

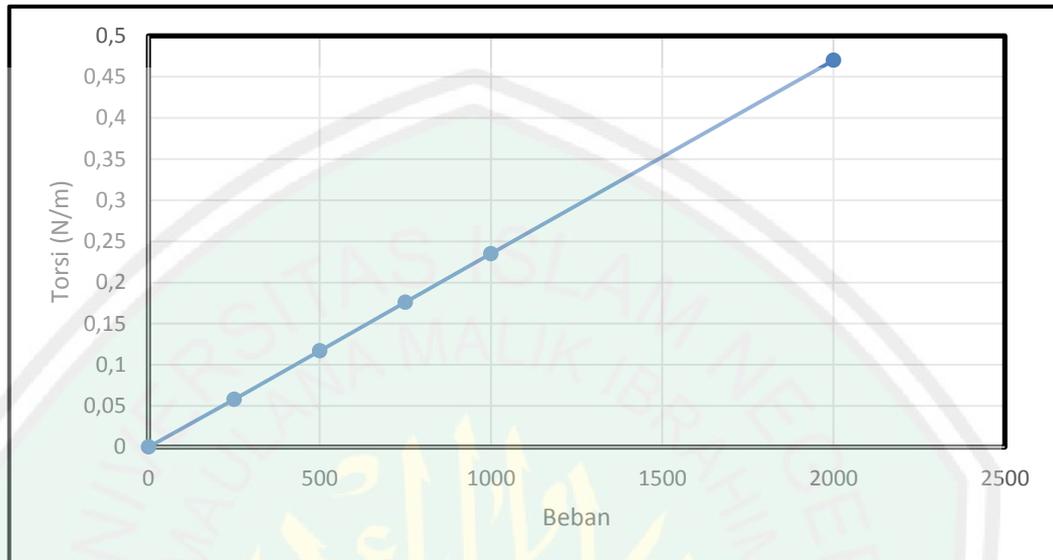
Gambar 4.3 menunjukkan semakin besar nilai torsi maka semakin besar nilai daya yang diperoleh baik kecepatan awal, standart dan terakhir. Grafik tersebut menjelaskan persamaan perolehan daya yang berbanding lurus dengan torsi.

Tabel 4.4 Pegas variasi 1500 rpm

No	Variasi Beban	Kecepatan Putaran (rpm)			Torsi (N/m)	Daya (w)			
		Rendah	Sedang	Tinggi		Q1	R	S	T
1	0	479	811	1988	0	0	0	0	
2	250	387	1308	1848	0,058	2,384	8,058	11,38	
3	500	496	1282	1804	0,117	6,117	15,79	22,23	
4	750	551	1269	1782	0,176	10,18	23,45	32,94	
5	1000	606	1256	1761	0,235	14,93	30,95	43,39	
6	2000	825	1204	1674	0,470	40,66	59,33	82,50	

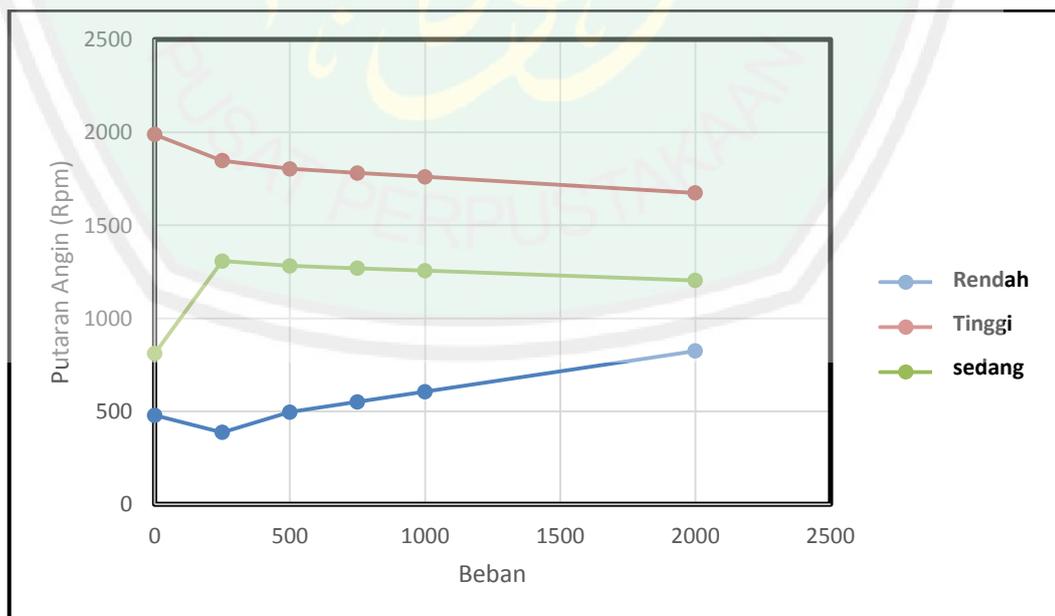
Tabel 4.4 menunjukkan menggunakan pegas variasi 1500 rpm memiliki kecepatan putaran angin tertinggi pada beban 0 yaitu 1988 Rpm, torsi tertinggi pada beban 2000 gram dengan nilai 0,470 N/m dan daya tertinggi pada beban 2000 gram

dengan nilai 82,50 watt. Berdasarkan pengujian kopling dengan beban 1500 gram dihasilkan gambar 4.5, 4.6 dan 4.7.



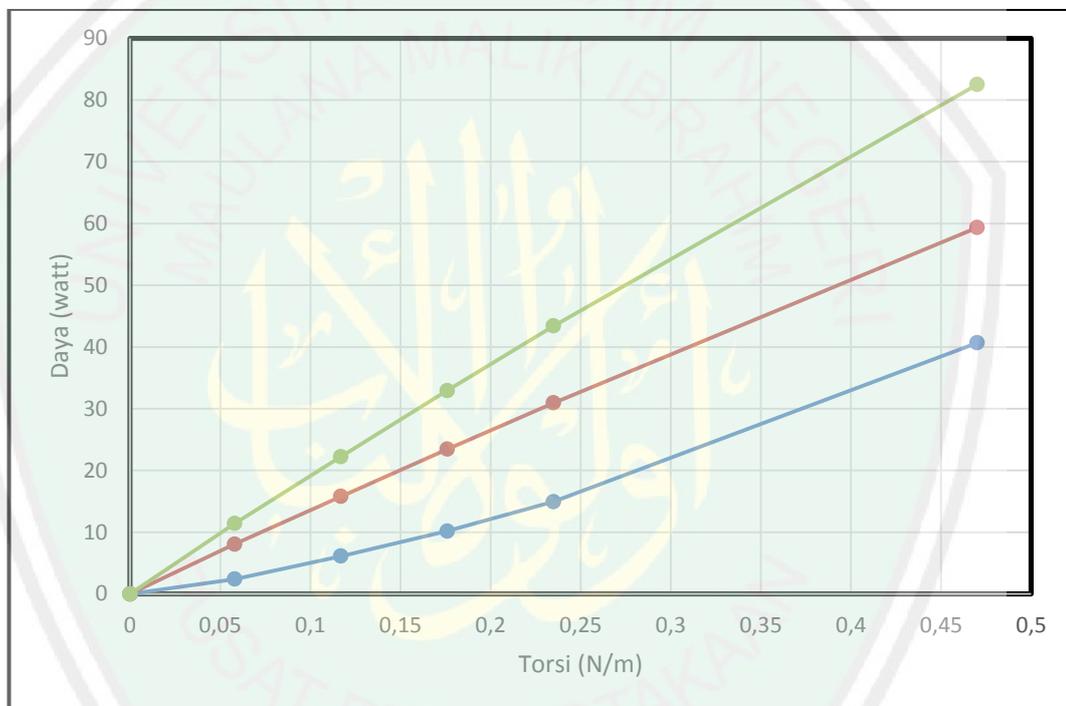
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara beban dan torsi

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara beban dan torsi untuk pegas 1500 rpm nilai yang didapat stabil dan meningkat seiring beban yang digunakan.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara beban dan putaran angin

Pada gambar 4.6 menunjukkan nilai kecepatan putaran angin pada awal dan sedang nilainya tidak stabil ketika beban yang digunakan adalah 250 gram. Putaran awal mengalami penurunan dan mulai bertahap naik, sedangkan pada putaran sedang mengalami kenaikan dan lama kelamaan menurun seiring penambahan beban. Nilai kecepatan putaran angin maksimum mengalami penurunan ketika beban yang digunakan semakin besar.



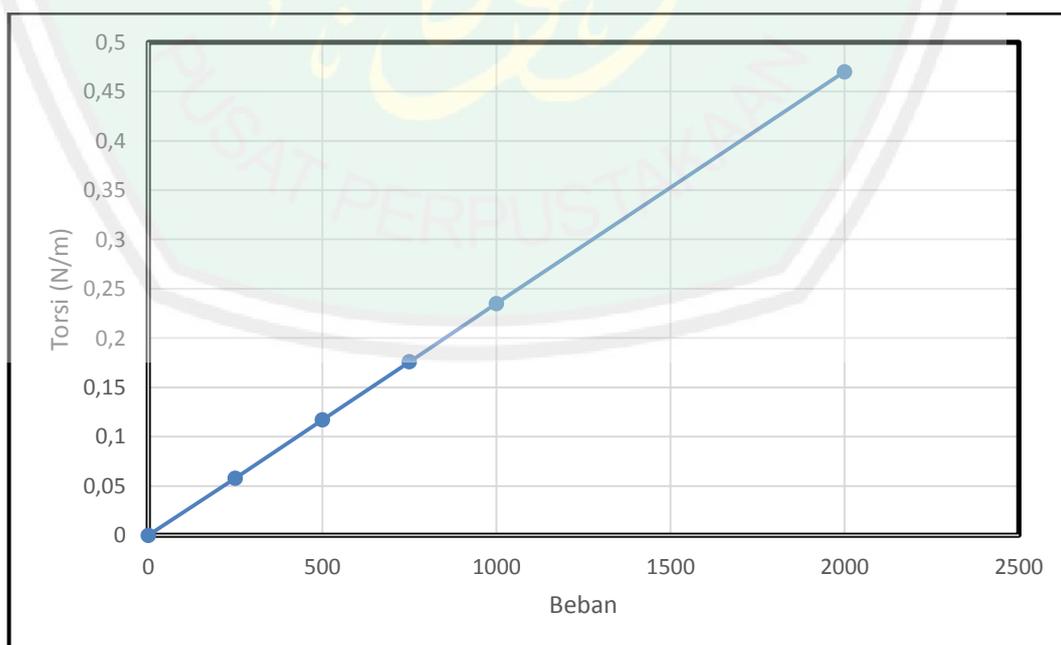
Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara torsi dan daya

Gambar 4.7 nilai torsi dan daya berbanding lurus. Semakin besar nilai torsi maka semakin besar nilai daya yang digunakan.

Tabel 4.5 Pegas modif + 10% kanvas lebih ringan

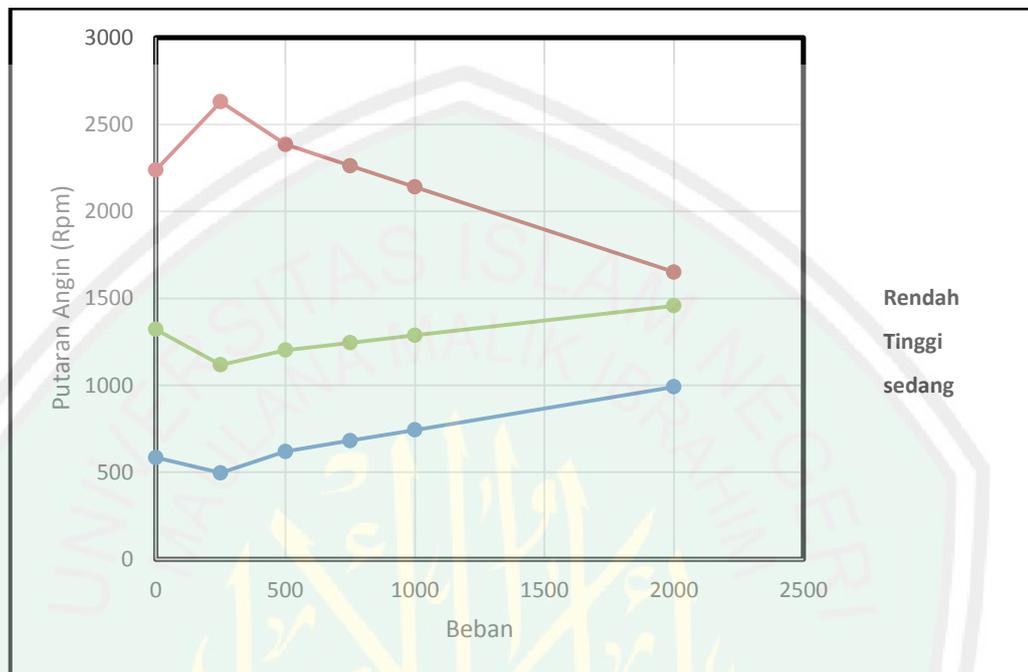
No	Variasi Beban	Kecepatan Putaran (rpm)			Torsi (N/m) Q1	Daya (w)			
		Rendah	Sedang	Tinggi		R	S	T	
1	0	585	1322	2238	0	0	0	0	
2	250	497	1118	2631	0,058	3,061	6,887	16,20	
3	500	620	1203	2386	0,117	7,645	14,82	29,39	
4	750	682	1245	2263	0,176	12,60	23,01	41,83	
5	1000	744	1288	2141	0,235	18,33	31,73	52,76	
6	2000	991	1458	1651	0,470	48,84	71,85	81,37	

Pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa pegas modif dan kanvas 10% lebih ringan menghasilkan putaran angin rendah dan sedang dengan nilai tertinggi yaitu pada beban 2000 gram dan nilai kecepatan putar 991 rpm dan 1458 rpm. Sedangkan putaran angin akhir tertinggi dihasilkan pada beban 250 gram yaitu 2631 pm. Nilai torsi dan daya tertinggi dihasilkan pada beban 2000 gram yaitu 0,470 N/m dan 48,84 Watt, 71,85 Watt, 81,37 Watt. Berdasarkan tabel 4.5 dihasilkan grafik pada gambar 4.8, 4.9 dan 4.10.



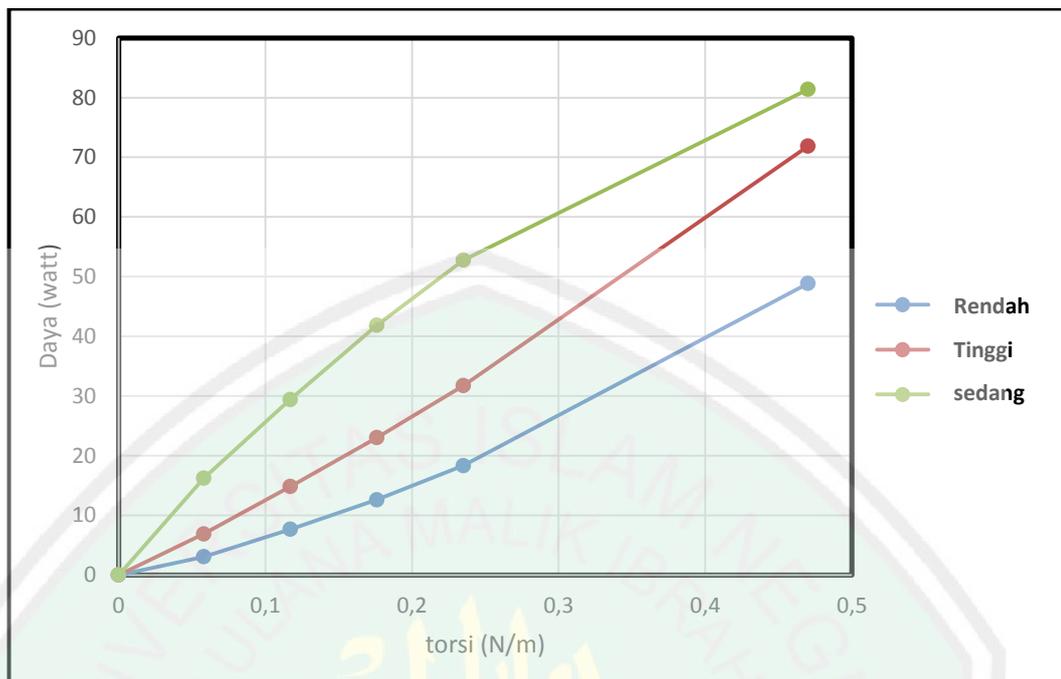
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban dan Torsi

Pada gambar 4.8 menunjukkan semakin besar beban yang digunakan maka nilai torsi semakin besar.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Beban dan Putaran Angin

Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai putaran angin tidak stabil ketika nilai beban semakin besar. Kecepatan awal berbanding lurus dengan kecepatan standar ketika putaran tanpa beban besar dan saat ditambahkan beban pertama mengalami penurunan, dan Semakin besar penambahan beban akan berbanding terbalik disaat kecepatan maksimum.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara torsi dan daya

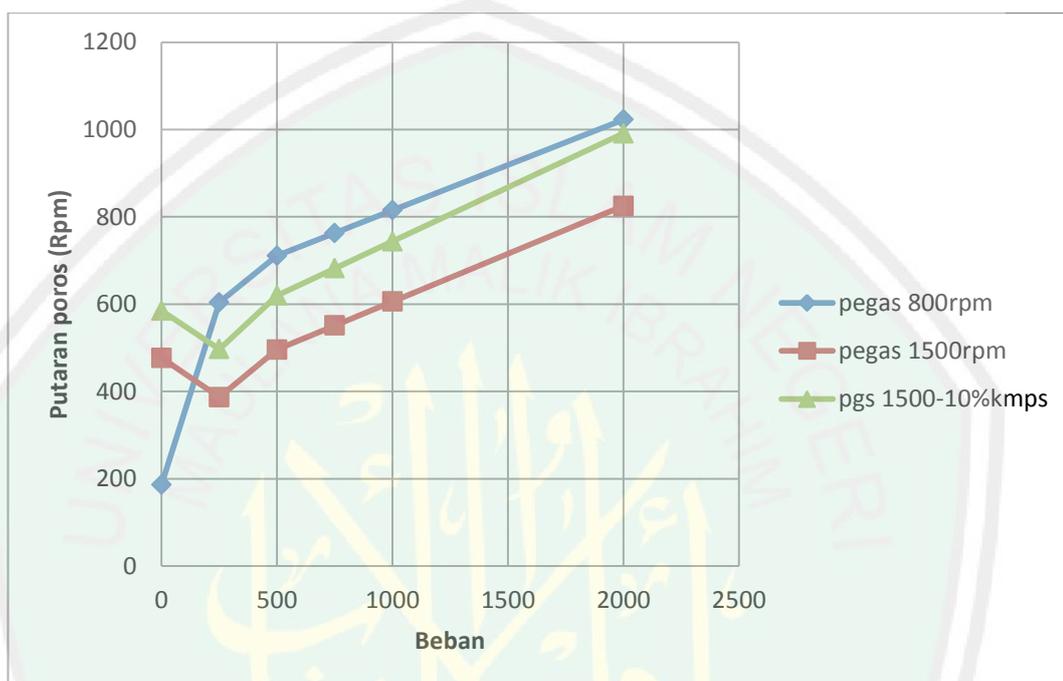
Gambar 4.10 menunjukkan nilai daya mengalami kenaikan seiring torsi yang semakin besar baik dari kecepatan awal, standar dan maksimum.

Tabel 4.6 Perbandingan Kecepatan Putar Awal dengan variasi beban

No	Variasi Beban	Putaran Angin (rpm)		
		pegas 800 rpm	pegas 1500 rpm	pegas 1500 -10% kampak
1	0	186	477	585
2	250	604	387	497
3	500	711	496	620
4	750	763	551	682
5	1000	815	606	744
6	2000	1023	825	991

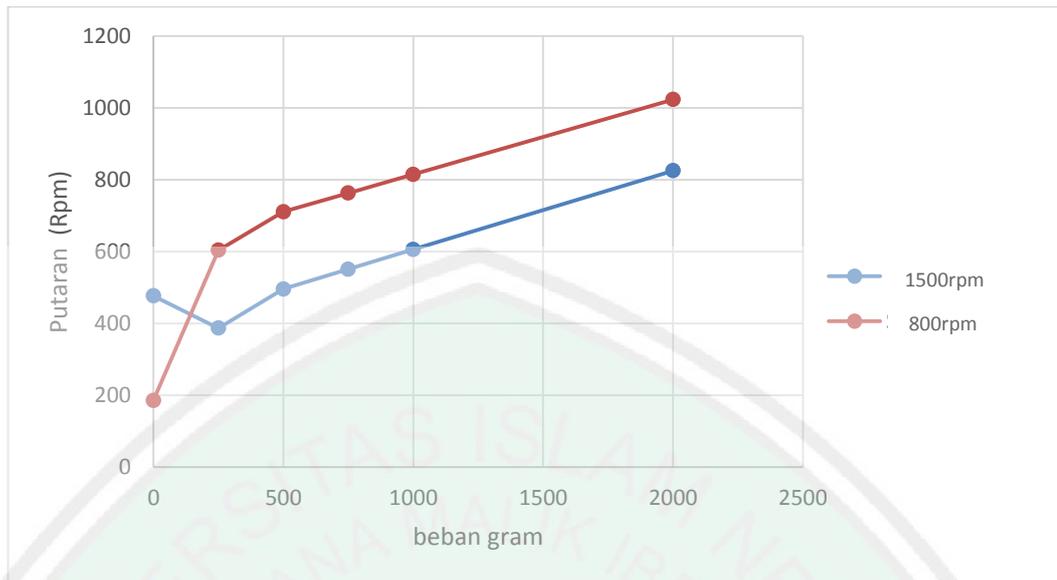
Tabel 4.6 menunjukkan kecepatan perpindahan putar poros baling-baling ke generator. Pada beban 2 kg kecepatan tertinggi putaran awal yaitu pegas 1500 rpm

dan 825 rpm. Beban ringan 250 gram memiliki kecepatan putar 1500 rpm dan 387 rpm. Untuk perpindahan tanpa beban kecepatan perpindahan tertinggi pada pegas 800 rpm dan terendah pada pegas 1500 rpm dengan kampas lebih ringan.



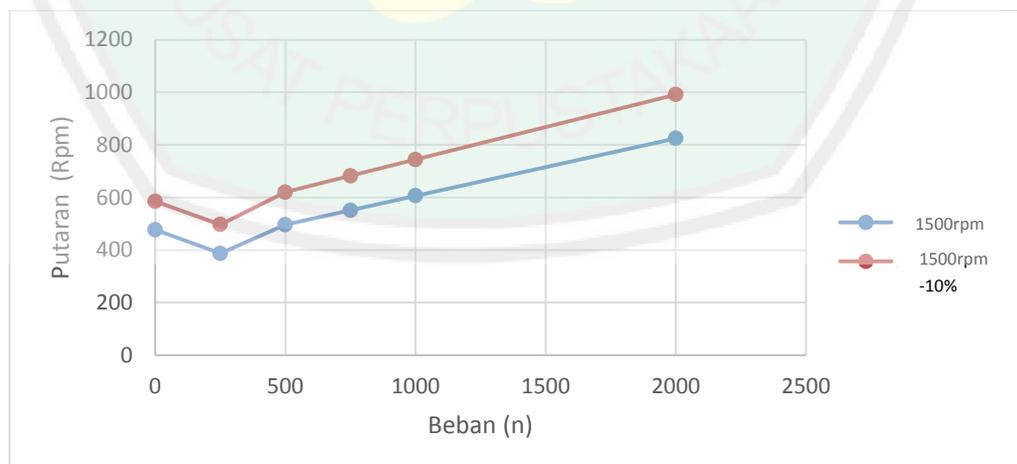
Gambar 4.11 Grafik hubungan kontak putar dengan beban terhadap tipe rpm pegas

Gambar 4.11 menunjukkan besar elastisitas pegas mempengaruhi beban dan kecepatan perpindahan putar awal. Semakin besar elastisitas pegas saat diberikan beban besar maka kecepatan perpindahan semakin cepat. Semakin kecil elastisitas pegas saat diberi beban yang semakin besar maka kecepatan perpindahan putar semakin besar untuk memindahkan putaran. Pegas 1500 rpm dengan beban 2 kg didapat 825 rpm sedangkan pegas 800 rpm dengan beban 2 kg hanya 1023.



Gambar 4.12 perbandingan Putaran awal dengan beban dengan pegas 1500 rpm dengan 800 rpm

Gambar 4.11 Menunjukkan bahwa proses awal perputaran tanpa beban lebih dominan dengan pegas tipe 800 rpm dari pada pegas 1500 rpm. Tipe 800 rpm yang ditambahkan beban pada poros generator memiliki kecepatan putar perpindahan lebih lambat dari pada pegas tipe 1500 rpm, dan kecepatan awal putar berbanding lurus disaat penambahan beban meningkat.



Gambar 4.13 Perbandingan Putaran awal pegas 1500 rpm pada kumpas standart dengan kumpas -10%

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa hasil pegas 1500 rpm dengan kumpas standart lebih cepat terjadi rpm kontak dari pada penggunaan kumpas yang lebih ringan 10% perbandingan tersebut terlihat pada grafik di atas perbandingan mencapai 100rpm, peralihan kecepatan putar terpengaruh pada beban pegas yang digunakan

4.2 Pembahasan

Berdasarkan dari data yang telah didapatkan pada tabel 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6 diketahui bahwa semakin besar beban yang digunakan maka semakin besar nilai kecepatan putaran angin, torsi dan daya yang digunakan. Hal ini sesuai dengan pernyataan ikhwan, dan M. A. Hipi bahwa hubungan antara torsi dan pembebanan berbanding lurus dan daya kincir angin dipengaruhi oleh besar beban/torsi yang digunakan. Semakin cepat kecepatan angin maka torsi maksimum yang terjadi juga semakin besar dan terjadi di atas putaran poros kecepatan angin sebelumnya, demikian pula sebaliknya.

Saat tidak ada beban maka daya tidak dapat diketahui karena perumusan daya terpengaruh pada torsi= Q yakni $P=Q*2\pi n/60$. Pada saat ditambahkan beban sebesar 250 g pada poros kincir turbin, maka besar daya yang didapat pada turbin mulai diketahui dengan menggunakan persamaan $Q=F*r$. Proses tersebut adalah proses terjadinya perlambatan dengan gaya magnetik yang digantikan dengan beban sebagai torsi. Setelah ditambahkan pembebanan tersebut maka pemasangan generator pembangkit listrik akan lebih mudah diketahui karakter maksimum dan minimum turbin angin tersebut. Ketika kincir berputar dan digantungkan beban maka akan terjadi pengereman berupa gesekan antara pully dan tali nylon sehingga terjadi momen puntir pada poros. Hubungan daya maksimum, torsi

maksimum dan putaran adalah Torsi maksimum terjadi di bawah putaran daya maksimum.

Rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) adalah pengaruh kecepatan peralihan karena elastisitas suatu pegas seperti dijelaskan pada hukum Hooke $F = k \Delta x$. Panjang pegas berbanding lurus dengan gaya tarik. Pegas pada kopling sentrifugal memiliki gaya tarik terpengaruh pada kecepatan putar poros. Elastisitas pegas standar 800 rpm dan modif 1500 rpm memiliki kecepatan rpm kontak yang berbeda. Pegas standar memiliki rpm kontak dengan beban 0 didapat kecepatan putar 186 rpm dan beban 250 gram kecepatan putar 604 rpm, sedangkan pada pegas 1500 rpm rpm kontak beban 0 sebesar 279 rpm dan beban 250 gram didapat 387 rpm. Hasil tersebut menjelaskan bahwa rpm kontak dipengaruhi oleh elastisitas pegas dan besar beban.

Kopling sentrifugal yang digunakan pada motor dipengaruhi pegas dan kampas kopling (bandul). Pegas pada pengujian di atas menjelaskan kecepatan rpm kontak antara kopling standart dan modif yang memiliki kekurangan dan kelebihan, jika modifikasi diperuntukan guna mengatasi kinerja motor disaat mengalami lintasan vertikal/naik. Hasil pengujian di atas kurang begitu signifikan jika digunakan pada turbin angin, karena turbin angin tidak ada pengaruh untuk menarik cangkang kampas dengan beban yang semakin besar seperti lintasan vertikal yang gaya geseknya semakin meningkat.

Pengujian pada bandul (kampas kopling) yang lebih ringan 10% dari standar dengan pegas modif 1500 rpm tidak mengalami perubahan yang signifikan mulai dari perpindahan putar poros awal tanpa beban kampas standar

279 rpm, kampas -10% 585 rpm, beban 2 kg perputaran awal kampas standar 825 rpm, kampas -10% 991 dan untuk kecepatan yang tertinggi kampas standart 1674 rpm, sedangkan kampas -10% hanya 1651 rpm. Hasil yang didapat menjelaskan bahwa kampas -10% cenderung menurun dengan hasil yang didapat dengan kampas standart. Hal ini menjelaskan bahwa kampas kopling dan pegas kopling berpengaruh pada kecepatan perpindahan awal putar, dan semakin besar pegas/kampas semakin lambat peralihan awal perputaran disaat beban rendah, sedangkan hasil tersebut berbanding terbalik jika beban hambatan semakin besar maka rpm kontak semakin cepat untuk menggesek mangkok kopling, tidak terkecuali hasil dengan kampas/pegas yang lebih rendah. Semakin rendah elastisitas pegas dan beban bandul (kampas) semakin cepat rpm kontak dengan beban rendah, akan tetapi berbanding terbalik jika beban yang digunakan semakin besar maka perpindahanya lebih lambat karena terpengaruh oleh beban torsi, semakin besar beban torsi juga menciptakan daya yang lebih besar karena torsi berbanding lurus dengan torsi seperti pada grafik gambar 4.8.

Karakteristik kopling sentrifugal yang digunakan pada bagian turbin angin sebagai rpm kontak dengan memindahkan energi putar guna mempermudah dan memaksimalkan kinerja turbi angin, diketahui bahwasanya rpm kontak dengan beban rendah lebih cepat menggunakan kampas dan pegas kopling yang lebih rendah akan tetapi kampas kopling dan pegas yang rendah tidak berfungsi untuk beban yang lebih tinggi, tapi untuk kampas dan pegas yang lebih besar/ maka lebih cepat perpindahan disaat beban (torsi) lebih besar, hasil tersebut juga berbanding lurus dengan perolehan besar daya (Watt) yang didapatkan.

Penggunaan kopling sentrifugal terpengaruh oleh seberapa besar pegas yang digunakan jika dibutuhkan pada rpm kontak yang cepat serta daya yang standart maka komponen kopling menggunakan kampas dan pegas yang standar. Jika daya angin yang digunakan tinggi maka lebih baik menggunakan kampas, pegas dan torsi yang lebih besar agar rpm kontak lebih cepat, dan daya yang diperoleh lebih besar serta cepat. Penggunaan kopling sentrifugal tergantung dari besar kuat/kecepatan angin, beban generator (torsi) dan besar daya, keseimbangan antara pegas, kampas dan besar kecepatan putar yang digunakan sangat berpengaruh pada output yang diperoleh jika perputaran dan besar torsi yang digunakan tidak seimbang maka elastisitas pegas akan terhambat untuk menekan mangkok akibat dari kampas kopling yang tidak sesuai untuk pegas tersebut seperti pada grafik gambar 4.12.

Elastisitas pegas dan berat kampas kopling yang digunakan pada saat memutar sebuah kopling sentrifugal tidak mempunyai gaya yang difungsikan atau diperuntukkan untuk tipe lokasi tersebut, sehingga membuat kerja putar peralihan poros utama akan menjadi lebih lambat akibat dari tidak seimbangnya antar dua komponen. Keseimbangan dan kecocokan suatu kerja mesin, komponen tubuh, dan kerja dari alam semesta yang telah diciptakan Allah SWT, juga telah memberikan sebuah contoh dan pernyataan tegas atas keseimbangan segala ciptaanNya seperti dalam Surat al-Mulk (67), 3:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ طِبَاقًا ۗ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوتٍ ۗ فَأَرِجِ الْعَبَصَرَ ۗ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ﴿٦٧﴾

“yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, Adakah kamu Lihat sesuatu yang tidak seimbang” (Q.S. al-Mulk(67); 3).

Firman Allah SWT dalam Surat al-Mulk (67); 3, memberikan penekanan yang sangat jelas mengenai ciptaanNya yang tak pernah diciptakan tidak seimbang, Surat lainnya juga memberikan afirmasi dari sudut tubuh komponen manusia dalam Q.S. al-Infithaarm (82); 7. Dalam Surat yang lain juga disebutkan beberapa kali atas keseimbangan yang telah Allah SWT ciptakan, mulai Q.S. Yasin (36), tentang keseimbangan makluknya yang diciptakan dengan berpasangan mulai dari hewan ternak Q.S. az-Zukhruf (43); 12, dan tidak terkecuali untuk tumbuhan, gunung, sungai, langit, buah-buahan, serta segala apa yang terjadi di alam semestanya telah di atur dengan seimbang oleh Allah SWT.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan variasi pegas dan beban dapat disimpulkan:

1. Rpm kontak (kecepatan putar poros pertama untuk mulai memutar poros kedua) pada pegas a 800 rpm kampak original; 186 rpm, pegas b 1500 rpm; 477 rpm dan pegas 1500 kampak -10%; 585 rpm
2. Beban (m) yang bandul yang semakin besar berbanding lurus dengan torsi (Q) dan daya (watt) yang didapatkan, akan tetapi berbanding terbalik dengan rpm kontak. Besar beban bandul untuk mulai rpm kontak berbanding lurus dengan besar rpm pegas, pada beban 250 gram pegas a 800 rpm kontak; 604 rpm, pegas b, 1500 rpm kontak; 387 rpm.

5.2 Saran

Jika standart kecepatan angin yang digunakan pada lokai rendah pergantian pegas digunakan yang lebih ringan gaya pegas, jika kondisi angin lokasi besar maka pegas yang digunakan yang original ataupun modifikasi. Jika penelitian ini dilanjutkan maka lebih baik digunakan program yang lebih presisi dan variasi beban yang signifikan.