

Mekanisme Torak Engkol dan Penggunaan Persamaan Relatif untuk Analisa Kincir Air Garam

Tungga Bhimadi^{1,*}, Agus Sudibyo¹

¹ Jurusan Mesin Universitas Gajayana, Mertojoyo Blok L Dinoyo Malang

* E-mail: tunggabhimadi@yahoo.com

Abstrak. Tujuan dari penelitian adalah analisa prestasi operasional kincir air garam dengan menggunakan model torak engkol untuk merumuskan persamaan relatif dari data pengamatan yang diperoleh. Penelitian dilakukan dengan membuat prototip kincir kemudian dioperasikan untuk menaikkan permukaan air laut ke tambak garam pada daerah Segoro Tambak, Sedati, Sidoarjo. Kincir dilengkapi dengan alat untuk mendapatkan data: kecepatan angin, daya torak, dan kecepatan rata-rata torak. Hasil yang diperoleh dari pengukuran adalah: kecepatan angin 4.4 m/detik, daya torak 7.5, dan kecepatan torak 3 m/det. Perhitungan teoritis dengan penerapan dimensi kincir yang sama, diperoleh daya torak 5.148 Watt. Hasil perhitungan lain adalah torsi torak 414.52 Nm, dan percepatan torak 85.42 m/det². kecepatan sudut 17.6 rad/detik, dan percepatan sudut 19.36 rad/det², dengan asumsi koefisien gesek torak 0.3. Signifikansi hasil penelitian didapat dari harga perhitungan lain untuk langkah selanjutnya yaitu desain mekanisme torak engkol kincir dan aplikasi desain menjadi produk *knock down* atau siap pasang.

Kata Kunci: Desain kincir, Persamaan Relatif, Siap Pasang, Torak Engkol

1. Pendahuluan

Angin sudah digunakan sebagai tenaga untuk pelayaran berabad-abad sebelum perannya digantikan mesin kapal mulai abad ke- 18. Sampai saat ini angin merupakan satu satunya cadangan tenaga yang masih dieksploitasi dalam bentuk kincir atau wind turbines. Pada abad ke-3 BC, Aleksander menggunakan *a simple horizontal axis wind turbines* atau kincir angin horisontal satu sumbu untuk pelayaran. Dunia baru (benua amerika) ditemukan atas bantuan tenaga angin dari kapal Colombus. Denmark merupakan negara pertama yang memanfaatkan angin untuk pembangkit listrik. Kincir diameter 23 meter dibangun pertama kali tahun 1890. Sampai tahun 1910 ratusan kincir di bangun di Denmark, dan belanda yang memberikan daya sampai 25 kW, [1].

Angin merupakan sumber energi yang tersedia berlimpah di alam, dimana penerapannya telah dimulai yaitu: sejak 5000 BC sebagai penerangan perahu sepanjang sungai Nil, sejak 200 BC oleh masyarakat China sebagai pompa air, dan sampai sekarang masyarakat Timur Tengah memanfaatkan angin untuk pengolahan makanan. Indonesia belum termasuk 10 negara teratas dalam pemanfaatan angin untuk pembangkit tenaga. Sepuluh negara tersebut berurut dari yang paling atas adalah; Jerman, Spanyol, Amerika Serikat, Denmark, India, Itali, Belanda, Inggris, China, dan Jepang. Potensi Indonesia untuk menghasilkan pembangkit tenaga dari angin sangat besar. Sungguh sayang karena, peta angin global dunia menempatkan Indonesia dengan kecepatan angin rata-rata sedikit dibawah 5.9 m/det pada ketinggian 80 meter, dimana pembangunan PLT-angin skala besar secara ekonomi layak, [2].

Dalam upaya mengalirkan air ke permukaan yang lebih tinggi, pompa tangan yang ada dipasaran digunakan. Pompa ini cenderung cepat rusak terutama pada bagian badan pompa yang mudah pecah. Disamping itu karet terpat terjadi gesekan torak dengan engkol yang digunakan dapat berkualitas buruk sehingga cepat rusak, dan pompa mudah bocor. Ukuran pompa tangan lebih kecil dari kebanyakan pompa dari kincir angin, yaitu 0.6 liter per stoke. Penggunaan kincir angin dengan diameter blade 4(empat) meter, mengharuskan desain pompa dengan 3 liter per-stroke dan diameter pompa 6 inc. Pompa dengan ukuran ini dipergunakan untuk mengalirkan air pada kebun mangga di Indramayu sekaligus sebagai wisata ilmu pengetahuan masyarakat, [3].

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki 17.508 pulau kurang, karena sebagian besar sudah tenggelam oleh pemanasan global, dan memiliki 81.290 garis pantai dan yang ini dapat bertambah. Indonesia dikatakan pulih dari krisis ekonomi masih menggunakan bahan bakar fosil, belum dengan nabati dalam jumlah besar. Persoalan timbul bila penggunaan pompa air garam menggunakan bahan bakar fosil (minyak), kendala operasional pada lokasi menimbulkan permasalahan, misalnya cuaca sangat panas, dan perangkat pompa berat. Hal ini akan menambah biaya produksi. Alternatif penggunaan pompa untuk air garam paling efisien menggunakan bahan bakar alternatif, yaitu konversi kecepatan angin. Energi angin sebagai salah satu energi yang terbarukan merupakan energi yang bersih dan gratis. Energi angin dapat diubah menjadi energi kinetik dan dapat dimanfaatkan menjadi energi yang menggerakkan pompa, [3].

Sebagai tindak lanjut penelitian yang diharapkan, kami melakukan upaya desain kincir angin dengan daya berguna untuk petani garam. Rencana setelah prosedur desain sebagai hasil penelitian ini dibuat, produk kincir untuk petani garam *knock down* atau siap pasang dapat dilakukan tetapi perlu persiapan dalam hal pembuatan prosedur desain dan proses produksi kincir yang dapat dipertanggungjawabkan dari segi keamanan dan kelayakan. Hembusan angin yang menerpa sudu kincir dan *mekanisme torak engkol* dipasang seporos dengan poros kincir, dimana fungsi torak dengan gerakan turun-naik dapat sebagai pompa air. Aplikasi desain kincir garam yang akan datang selain menggunakan data daya berguna, kecepatan angin, dan kecepatan torak kincir, juga data penunjang dari perhitungan teoritis misalnya adalah: torsi torak, percepatan torak, kecepatan sudut crank, dan percepatan sudut crank

2. Landasan Teori

Kecepatan angin 'V' dalam m/detik mengandung energi kinetik 'E_k' sama dengan $\frac{1}{2} mV^2$, dimana: E_k dalam Joule dan masa 'm' dalam kg. 'm' merupakan perkalian dari masa jenis udara 'ρ' dan luas putaran sudu 'A' sehingga E_k dengan $\frac{1}{2} \rho A V^2$. Penentuan waktu pengamatan menjadi penentu harga energi kinetik. Itulah sebabnya energi ini lebih populer dinyatakan sebagai daya angin atau 'P' sama dengan $\frac{1}{2} \rho A V^3$. Daya ini merupakan daya maksimum yang dihasilkan. Batang atau *link* mekanisme torak engkol terdiri dari: *crank shaft* atau batang poros, *connecting rod* atau batang penghubung, dan torak. Daya berguna untuk menaikkan air garam dari muka laut ke permukaan tambak menjadi gaya berguna pada torak yang lebih kecil karena pengurangan daya oleh antara lain oleh: kelembaman sudu, gesekan bantalan sudu poros kincir, kelembaman tiang penyangga, pengurangan tekanan masa udara, gesekan air laut dengan torak, kerugian tekanan karena kenaikan air laut mencapai torak, gesekan silinder pompa dengan torak, gesekan bantalan torak dengan poros. dan gesekan mekanisme torak engkol. Gesekan mekanisme ini akibat dari: gesekan batang poros dengan batang penghubung dan gesekan batang penghubung dengan poros.

2.1 Mekanisme Torak Engkol

Crank Shaft merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah gerak translasi piston dari pembakaran dengan bantuan batang torak menjadi gerak berputar yang nantinya gerakan tersebut akan diteruskan ke koping dan transmisi, dan ketiga komponen ini bekerja dalam suatu mekanisme yang disebut mekanisme torak engkol, [4]. Dengan istilah lain untuk motor bakar, input mekanisme berasal dari torak, Sedangkan mekanisme torak engkol kincir menggunakan input mekanisme berasal dari angin yang sampai menjadi putaran poros crank shaft. Posisi, gaya, percepatan, dan kecepatan torak, merupakan output yang diinginkan untuk operasional kincir menaikkan air garam dari laut menuju pengeringan. Solusinya menggunakan salah satu dari 4(empat) penyelesaian mekanisme kinematika yaitu metoda: persamaan relatif, bilangan kompleks, loop vektor, dan persamaan konstrain, [5].

Metoda persamaan relatif berawal dari penggambaran poligon kecepatan-percepatan-gaya untuk setiap posisi dengan sudut input tertentu. Sampai saat ini, program komputer belum dapat mendukung perhitungan dari prosedur metoda yang diberikan. Metoda ini sangat berguna untuk kepentingan *quickcount* atau perhitungan cepat dengan melakukan penggambaran poligon kecepatan dan percepatan, karena hasil yang diperoleh langsung dibutuhkan di lapangan meskipun tingkat ketelitian paling rendah dibandingkan 3(tiga) metoda lainnya. Metoda loop vektor menyatakan bahwa posisi ujung vektor resultan merupakan hasil akhir yang dinyatakan dalam arah berlawanan, sehingga

gabungan vektor-vektor penyusun dengan vektor resultan arah sebaliknya sebagai penggambaran loop tertutup.

Metoda bilangan kompleks merupakan salah satu cara penulisan berbeda untuk posisi-kecepatan-percepatan dalam bilangan kompleks. Sumbu-y mekanisme dimensi-2 dinyatakan sebagai sumbu imajiner. Dengan cara ini, penulisan persamaan menjadi ringkas. Metoda persamaan konstrain atau metoda koordinat kartesian ditinjau dari penulisan persamaan merupakan persamaan vektor dengan loop terbuka. Bentuk persamaan adalah bahwa resultan sama penjumlahan vector-vector penyusunnya, tetapi penulisan persamaan ini menggunakan harga koordinat, misalnya untuk dua dimensi (x,y). Sehingga metoda ini disebut metoda koordinat kartesian. Pada hakekatnya, empat metoda ini dapat dilakukan dan meskipun bentuk persamaan berbeda-beda tetapi hasil perhitungan teoritis sama. Penelitian ini menggunakan metoda persamaan relatif, [6].

2.2 Metoda Persamaan Relatif

Mekanisme torak engkol mempunyai 4(empat) *link* atau batang yaitu batang: tumpuan-silinder (tumpuan untuk sambungan crank disebut titik-O dan silinder untuk sambungan slider dengan torak), crack, batang penghubung, dan torak. Sambungan crank dengan batang penghubung dinyatakan sebagai titik-A, dan sambungan batang penghubung dengan torak disebut titik-B. Posisi titik-A, kecepatan pemutar mekanisme dari torsi poros kincir pada titik-A, dan percepatan normal-tangensial titik-A dapat ditentukan. Begitu juga untuk titik-B dengan menggunakan persamaan relatif dalam penulisan vektor sebagai berikut:

$$V_A = \omega_2 R \quad (1)$$

$$V_B = V_A + V_{BA} \quad (2)$$

ax ab ax

$$A_B^n + A_B^t = A_A^n + A_A^t + A_{BA}^n + A_{BA}^t \quad (3)$$

ab ax ab ab ab ax

Umumnya sebagai pengenalan perkuliahan, 3(tiga) persamaan ini dapat dijabarkan dalam penggambaran vektor sesuai prinsip operasi vektor untuk penjumlahan dimana dalam persamaan hanya harus ada tidak kurang dan tidak lebih dua informasi yang belum diketahui. Penggambaran poligon dapat dipercepat menggunakan antara lain metoda: bayang-bayang, dan bentuk sebangun. Informasi tersebut pada persamaan (2) dan persamaan (3) dinyatakan dengan tanda “x”, [7] dan [8]. Metoda persamaan relatif untuk mekanisme tertentu dapat memunculkan informasi yang belum diketahui lebih dari 2(dua). Apabila dicari jawab, persoalan ini harus *dimanipulasi* sedemikian hingga persamaan relatif menjadi bertambah. Metoda manipulasi ini dikenalkan misalnya metoda: mekanisme kompleks, goodman, titik bantu, percepatan normal, coreolis, dan metoda kerja semu.

Notasi yang digunakan untuk 3(tiga) persamaan ini adalah: “V” untuk kecepatan, “A” untuk percepatan, *subscript* menyatakan penamaan titik, huruf kecil “a” dan “b” singkatan dari “arah” dan “besar”, huruf “n” untuk “normal” dan “t” untuk “tangensial”, panjang crank notasi “R”, panjang batang penghubung notasi “L”, kecepatan sudut notasi “ω”, dan percepatan sudut “α” dari crank (dari angin menerpa kincir).

Masukan untuk mekanisme ini adalah harga: “R”, “L”, “ω”, dan “α”. Perhitungan selanjutnya mengikuti prosedur yang diberlakukan untuk setiap sudut input crank, [9] yaitu: menentukan sudut input crack, menentukan posisi ujung gerakan crank, menghitung harga kecepatan normal ujung crank, menentukan *posisi* torak, dengan persamaan (2) menghitung harga dan arah kecepatan batang penghubung, menghitung harga dan arah *kecepatan torak* sesuai gerakan sliding, menghitung percepatan tangensial crank, dengan persamaan (3) menghitung harga dan arah percepatan batang penghubung, menghitung harga dan arah *percepatan torak*. Posisi, kecepatan, dan percepatan torak merupakan parameter kinematika yang menunjukkan kinerja mekanisme.

3. Aspek Desain Kincir

Penelitian sebaiknya dilakukan dengan semboyan *hari-hari tanpa ada akhir* bukan berarti tidak ada atau hanya sedikit hasil. Setiap tahapan penelitian yang menghasilkan sebaiknya dipublikasikan agar tidak menimbulkan duplikasi juga untuk aplikasi hasil penelitian paling akhir (sebetulnya penelitian belum berakhir) agar tidak mengejutkan atau menjadi hasil yang asing. Salah satu hasil tahapan penelitian ini adalah desain kincir garam. Desain ini memerlukan perangkat penunjang antara lain adalah asumsi dengan perhitungan mekanisme torak engkol yang dinyatakan dalam prosedur desain.

Desain kincir ini bertujuan untuk mendapatkan *blue print* dari: sistem kincir, mekanisme torak engkol, konstruksi pompa, sistem penyanggah, dan sistem fondasi. Kecepatan dan arah angin pada ketinggian tertentu dari studi lapangan sebagai energi angin dikonversikan menjadi torsi pada poros, dan gerakan torak dengan klep pengatur naik-turun berfungsi sebagai pompa untuk memindahkan air garam dari permukaan laut menuju permukaan tambak. Metode persamaan relatif digunakan untuk memperoleh parameter kinematika mekanisme torak engkol.

Yang harus diperhatikan antara lain adalah: menentukan harga diameter kincir yang proporsional dengan kecepatan angin sebagai energi angin, memilih bentuk *airfoil blade* misalnya jenis *NACA* tertentu dan apabila tidak melakukan pilihan *NACA* maka sebenarnya dapat melakukan pembuatan profil dan menguji untuk mendapatkan gaya gesek dan gaya putar sudu kincir tetapi percobaan perlu waktu dan biaya sedang dari *NACA*-seri gaya tersebut diperoleh, memilih jenis standard bantalan dan poros untuk tumpuan kincir agar kincir kokoh dan putaran kincir aman dan hal inipun mempunyai alasan sama seperti pemilihan *NACA*, menghitung parameter kinematika mekanisme torak engkol sesuai bahasan bab sebelumnya, menghitung parameter dinamika untuk mendapatkan kontribusi gaya mekanisme pada torak yang cukup menaikkan air dari permukaan laut ke permukaan tambak, dan menentukan dimensi struktur penyanggah poros kincir dan mekanisme torak engkol sesuai kriteria kekuatan yang dipertanggungjawabkan.

4. Hasil dan Pembahasan

Operasional kincir umumnya digolongkan 3(tiga) variasi sesuai ada atau tidak kecepatan sudut notasi " ω " dan percepatan sudut " α " yaitu kondisi kincir: mulai berputar " $\omega = 0$ " dan " $\alpha > 0$ ", berputar *steady* " $\omega > 0$ " dan " $\alpha = 0$ ", mau berhenti " $\omega = 0$ " atau " $\omega > 0$ " dan " $\alpha < 0$ ". Dalam penelitian ini, parameter kinematika mekanisme torak engkol ditentukan untuk kondisi awal dengan " $\omega = 1$ " sampai 10 rad/detik dengan 4 harga, " $\alpha = 1$ " sampai 6 rad/detik² dengan 4 harga, panjang crank notasi " R " antara 0.5 sampai 1 meter dalam 3 harga, dan panjang batang penghubung notasi " x " 1.5 meter sampai 2.5 meter dalam 3 harga. Simulasi untuk kombinasi 4 parameter ini dilakukan dalam 144 perhitungan dengan asumsi diameter silinder 0.2 meter dan asumsi gesekan torak-silinder 0.3. Hasilnya adalah harga torsi maksimum (2754.945 Nm) dan gaya torak maksimum (2698.45 N) diperoleh pada kondisi: $\omega = 10$ rad/detik, $\alpha = 6$ rad/det², $R = 1$ meter, dan $x = 2.5$ meter. Percepatan torak maksimum 166.186 m/det² diperoleh dari kondisi bukan maksimum seperti kondisi dua yang lain ini, melainkan pada: $\omega = 10$ rad/detik, $\alpha = 2$ rad/det², $R = 1$ meter, dan $x = 1.5$ meter.

Pengamatan lapangan menggunakan kincir angin sumbu horizontal, diameter kincir 2(dua) meter, sudu 18, bahan sudu komposit fiber tebal 4 mm, dan ketinggian penyanggah 3.5 meter. Pengujian dilakukan di daerah Segoro Tambak, Sedati, Sidoarjo, Februari sampai April 2008. Hasil yang terukur adalah: kecepatan angin rata-rata 4.4 m/detik, kecepatan naik air garam 3 m/det, daya berguna untuk menaikkan muka air garam sama dengan 7.5 Watt, volume air garam per detik hampir sama dengan 2 m³, dengan asumsi diameter bambu rata-rata 20 cm. berat kincir 19 kg, dan panjang langkah torak 50 cm, [10].

Analisa kondisi lapangan dengan perhitungan teoritis dilakukan, dan langkah pertama adalah dengan membuat tren kurva parameter daya berguna dari kondisi 144 perhitungan. Ekstrapolasi dilakukan dengan fokus pada harga kecepatan torak (3 m/det). Kecepatan torak ini sudah menggunakan data yang sama untuk: diameter kincir, diameter torak, dan debit. Perhitungan teoritis untuk parameter yang sama lainnya diperoleh: daya berguna 5.148 Watt, dan berat kincir 21.384 kg. Hasil perhitungan teoritis lain untuk penunjang presentasi kinerja kincir teoritis antara lain adalah: torsi torak 414.52 Nm, dan percepatan torak 85.42 m/det². Hasil teoritis menggunakan asumsi

parameter lain antara lain adalah: Masa jenis kayu 250 kg/m^3 , radius profil batang mekanisme 10 cm, panjang crank 25 cm dan panjang batang penghubung 2.5 meter yang diasumsikan penampang keduanya sama, kecepatan sudut 17.6 rad/detik , percepatan sudut 19.36 rad/det^2 , dan koefisien gesek torak 0.3.

5. Kesimpulan

Parameter hasil pengamatan operasional kincir garam dapat dijadikan acuan dalam menentukan parameter lain, tetapi perhitungan ulang untuk verifikasi harga parameter pengamatan selalu tidak mendapatkan harga yang sama dengan sebelumnya. Menentukan satu atau lebih parameter dari pengamatan yang tidak berubah sebagai langkah awal analisa, menjadi penting. Meskipun demikian, semua harga parameter dapat digunakan untuk langkah penelitian selanjutnya. Setelah melakukan analisa kincir air garam menggunakan torak engkol dan persamaan relatif, penelitian selanjutnya adalah merumuskan desain kincir kemudian melakukan sampai kincir diproduksi.

6. Daftar Referensi

- [1] G. L. Johnson, *Win Energy Systems*, 4th ed.1, Kansas City, Amerika Serikat, Prentice Hall, 2001.
- [2] K. Abbas, "Kebijakan Terkait Pengembangan Energi Angin", Seminar Nasional Teknologi dan Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Peluang Usaha Baru, *The Heritage Foundation*, Bogor, Maret, 2007.
- [3] H. H. Hanafie, "Kincir Angin Untuk Pompa Air Sebagai Solusi Kebutuhan Air Untuk Pedesaan", Seminar Nasional Teknologi dan Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Peluang Usaha Baru, *The Heritage Foundation*, Bogor, Maret, 2007..
- [4] Y. W. Widodo, "Analisa Hubungan Kecepatan Angin Dengan Putaran Poros Kincir Sumbu Horizontal Tipe Multi Blade Dengan Regresi," ST. Skripsi, *Jurusan Teknik Mesin - ITATS*, Surabaya, Februari, 2008.
- [5] A. Setiyono, "Analisa Kinematika Crank Shaft Shogun 125CC Pengganti Crank Shaft Shogun 110CC Menggunakan Program Matlab," ST. Skripsi, *Jurusan Teknik Mesin - ITATS*, Surabaya, Nopember, 2007.
- [6] D. Suharto dan R. Kemas, *Aanalisa Kinematika Dengan Bantuan Komputer*, Bandung, Indonesia: Jurusan Teknik Mesin – ITB, 2013.
- [7] R. Y. Hutahaean, *Mekanika dan Dinamika Mesin*, edisi pertama, Yogyakarta, Indonesia: Andi Offset, 2005.
- [8] A. R. Holowenko, *Dinamika Permesinan*, terjemah Cendy Prapto, cetaran kedua, Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1985.
- [9] G. H. Martin, *Kinematika dan Dinamika Teknik*, edisi kedua, terjemahan, Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1985.
- [10] Y. W. Widodo, "Analisa Hubungan Kecepatan Angin Dengan Putaran Poros Kincir Sumbu Horizontal Tipe Multi Blade Dengan Regresi," ST. Skripsi, *Jurusan Teknik Mesin - ITATS*, Surabaya, Februari, 2008.